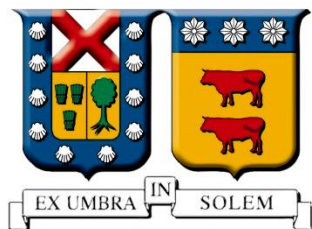


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL
VALPARAÍSO – CHILE



**“ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA EL PLAN DE
GESTIÓN INTEGRADA DE RESIDUOS SÓLIDOS
MUNICIPALES PARA LA ILUSTRE
MUNICIPALIDAD DE VALPARAÍSO”**

GABRIEL ALBERTO VALLEJO PAEZ

Como requisito para optar al título de

INGENIERO CIVIL QUÍMICO

Y al grado académico de

MAGISTER EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA QUÍMICA

Profesor guía: **MBA. DANIEL RAMIREZ.**

Co-referente: **M. SC. CRISTOPHER DA SILVA.**

Co-referente externo: **PHD. JOSE LUIS CAMPOS.**

Valparaíso – Enero de 2020

Agradecimientos

Es difícil encontrar las palabras adecuadas para poder sintetizar 6 años de estudio, más aún cuando el tiempo está en mi contra y la defensa se acerca a gran velocidad (Y aparecen los nervios).

No quiero exagerar cuando digo que es algo para lo que me estuve preparando desde chico. Ser profesional siempre fue un anhelo que tenía, y es que el ejemplo que tenía en casa era tremendo. Siendo el menor de 3 hermanos y, más aún, el primo más pequeño de la generación, me daba la sensación de que, más temprano que tarde, sería un adulto. Por lo mismo, no estoy seguro si alguna vez me sentí “verdaderamente” niño, quizás siempre quise tener las responsabilidades de adulto y poder ser un aporte para la sociedad como profesional.

Me considero un privilegiado por la formación que recibí en casa, por ello quiero agradecer a mi hermana Loreto, mi hermano Roberto, mi madre Maribel y mi padre Roberto (QEPD). También, resaltar el sacrificio y la perseverancia de mis abuelas Gricelda (QEPD) y Mercedes (QEPD), de quienes tengo las mejores referencias y recuerdos de tierna infancia. Decir que me formé solo sería pasar por alto todo el apoyo que mis más cercanos me han brindado, entregándome una formación integra como persona, algo que no se puede conseguir en cualquier parte.

Los que me conocen saben que, así como me tomo muy en serio mis estudios, también lo hago con las relaciones humanas. Agradezco a esta Universidad por haberme permitido conocer y tener el apoyo de tantos compañeros y amigos, futuros profesionales con los que me formé y compartí momentos de estrés y también de mucha alegría. Sin ellos nada hubiese sido lo mismo.

Por todo el tiempo que me entregaron, quiero agradecer a: Javier, Tamara, Mario, Martina, Consuelo, Exequiel, Martín, Gonzalo, Paula, Manuel, Roberto, José Pablo, Stefano, Camila, Moira, Constanza, Rodrigo, Michael, Philip, Virginia, Omer, José Luis, Felipe, Esteban y muchos otros.

Quiero agradecer al grupo de ayudantes de calor por haberme recibido y brindarme no sólo un gran equipo de trabajo, si no humano. Gracias a ustedes aprendí que las ganas de enseñar, transmitir conocimientos y seguir aprendiendo son parte de las cosas por las que vale la pena vivir. En ese contexto, retribuyo a: Alfonso, Camila, Juan, Ismaela, Erik, Ivania, Álvaro, Claudio, Andreas, Santiago, Graciela, María-Ignacia, Natalia, Simón, Rocío y Catalina.

Mención especial a los chicos de “Jazz & Blass”: Camilo, Andrés y Matías. Desde hace poco más de un año que nos juntamos a ensayar, tocamos covers, bromeamos, carreteamos, etc. Créanme que ese ansiado ensayo semanal fue una parte muy importante del camino para llegar hasta aquí.

También agradecer a los chicos de “ABIO”: Vasco y Francisco. El verano pasado para mí fue una etapa extraña producto del egreso, así que poder compartir y tocar un poco de metal con ustedes me permitió liberar las presiones que sentía y volver a mis raíces musicales.

Finalmente, agradecer a Valentina por ser mi compañera, mi pareja y también mi amiga. Lo que siento ya lo sabes, pero no está de más demostrar lo mucho que te admiro, adoro y valoro muchísimo el tiempo que compartes conmigo.

Creo que, aunque acumulé muchos conocimientos y herramientas a lo largo de la carrera, elegí un tema que se sale del molde típico de tesis porque, de otra manera, no me hubiese sentido yo mismo. Muchas veces me han dicho que, como buen *sansano*, me gusta complicarme la existencia y enfrentar cosas difíciles y engorrosas. Pero creo que de eso se trata, de embarcarse en desafíos y seguir aprendiendo.

Pienso que no hay valentía en no sentir miedo, si no en enfrentarlo con todo lo que tenemos.

Dedicado a mi familia, especialmente a mis padres.

Resumen

Se presenta un estudio técnico-económico de las alternativas para la gestión de residuos en la comuna de Valparaíso.

La investigación se realiza centrada en la situación actual de la comuna en el ámbito de la disposición de Residuos Sólidos Municipales (RSM). En este contexto, es necesario considerar el estado en el que se encuentra el país y contrastarlo con los referentes mundiales.

El panorama nacional indica que el uso de vertederos y, en el mejor de los casos, rellenos sanitarios, son los sitios de disposición final que predominan. A nivel regional, son cerca de 800 mil toneladas anuales de desechos sólidos municipales producidos, donde cerca de 500 mil toneladas son dispuestas en el relleno sanitario “El Molle” de la comuna de Valparaíso. Este último tiene vida útil al 2028, aunque con una licitación próxima a caducar el año 2021. Esta situación es de suma urgencia ya que, si se generan desacuerdos con el licitante, la salud de las personas podría estar en riesgo debido al cese temporal de la recogida y disposición de los residuos. Respecto a la región, la tendencia durante la década del 2000’s indica un alza en la generación de basura en un 30%. Por el contrario, una disminución en el uso de vertederos y botaderos controlados, bajando de un 40% en 2009 hasta 25% el año 2011.

Para enfrentar la potencial crisis detectada en la comuna, se exponen las técnicas disponibles para la gestión de RSM, las cuales permiten atender diferentes fracciones de desechos tratados a través de múltiples enfoques, siendo el paradigma sostenible más simple el 3R: reducir, reutilizar y reciclar. Se destacan como referentes mundiales países desarrollados, principalmente de Europa.

En aquellos países el vertido controlado es mínimo, surgiendo técnicas como la incineración, procesamiento mecánico-biológico y compostaje. Además, respecto al contexto nacional, existen referentes en innovación de gestión de residuos, donde se consideró a aquellos que se han sometido voluntariamente al Sistema de Certificación Ambiental Municipal (SCAM).

Luego, se describen las condiciones en las que se desarrolla la gestión de RSM en la comuna en términos legales y las consecuencias que ha traído la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor.

A raíz del estudio previo, se propone construir una planta de gestión de la fracción orgánica compostable de los RSM. El proceso seleccionado corresponde a una planta de compostaje en pilas por volteo mediante minicargador, ubicada en el centro de tratamiento de residuos “El Molle”, más específicamente sobre la celda 1 y 2 (vertedero clausurado). Considera una capacidad de procesamiento anual de cerca de 6.700 toneladas y una producción de 2.000 de compost. El área de compostaje rondaría las 0,86 hectáreas.

La planta operaría el año completo, con jornada de lunes a viernes con sólo un turno, alimentándose de los residuos domiciliarios orgánicos previamente segregados en origen por parte de los habitantes de la comuna. El plan piloto del primer año involucra poco más de 3.000 viviendas, quienes recibirán una bolsa compostable semanal y contenedores, siendo recolectados por los mismos camiones y rutas actuales una vez por semana. Luego, se pondría en marcha a una escala superior, superando las 30.000 viviendas involucradas. Se describe un programa de educación ambiental previo, segregación de residuos y recolección diferenciada en etapa piloto, para luego incrementar la cobertura y alcanzar la tasa de procesamiento de residuos deseada. A cambio de participar en estos programas, la comunidad recibiría el mejoramiento de los espacios públicos, apuntando a la recuperación de 50 plazas comunales mediante la aplicación de compost con fines paisajísticos y la construcción de nuevos espacios verdes en la comuna.

Posteriormente, el estudio económico del proceso de compostaje arroja resultados favorables en lo que respecta a indicadores económicos. Se utilizó una tasa de descuento del 10% y como ingresos sociales el ahorro en costos de disposición de los RSM y el precio de mercado del compost, generando un Valor Actual Neto (VAN) de \$58.574.748, una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 11,46 %, una inversión de \$315.119.491 y un plazo de Recuperación de 17 años dentro de un horizonte de 20 años. Bajo el mismo contexto, se aplica un análisis de sensibilidad conservando la tasa de descuento pero que modifica lo siguiente: el financiamiento, la perspectiva privada en vez de municipal, el alza de costos fijos y descenso de la producción de compost.

El caso más favorable corresponde al financiado al 50%, con un crédito con tasa fija del 5% de interés compuesto, donde se alcanza un VAN de \$108.497.494, TIR de 13,77% y Recuperación en 14 años. Respecto al caso de proyecto privado, se analiza el caso base y caso con financiamiento al 50%, donde sólo es posible obtener recuperación de la inversión para la situación con financiamiento parcial, en un lapso de 18 años.

El estudio del caso con alza de costos arroja que, al aplicar un factor entre 10 y 50%, el proyecto sólo recuperaría la inversión para el caso con financiamiento parcial con 10% de incremento en un lapso de 17 años.

Finalmente, un descenso en la producción de compost con un factor entre 10 y 50%, indica que no es posible recuperar la inversión en el horizonte de 20 años. En este mismo análisis, se obtiene un TIR negativo a partir del 30% para ambos casos de financiamiento, lo que se traduce en pérdidas.

Abstract

A technical-economic study of the alternatives for waste management in the commune of Valparaíso is presented.

The research is carried out focusing on the current situation of the commune in the subject matter of the disposal of Municipal Solid Waste (MSW). In this context, it is necessary to consider the state in which the country is located and contrast it with the world references.

The national framework indicates that the use of landfill and, in the best case, sanitary landfills, are the predominant final disposal sites. At the regional level, there are about 800 thousand tons per year of municipal solid waste produced, where about 500 thousand tons are disposed in the sanitary landfill "El Molle" of the commune of Valparaíso. The latter has a useful life to 2028, although with a tender nearing expiration in 2021. This situation is very urgent since, if disagreements are generated with the bidder, people's health could be at risk due to the temporary cessation of the collection and disposal of waste. Regarding the region, the trend during the 2000's indicates a 30% increase in garbage generation. On the contrary, a decrease in the use of landfills and controlled dumps, down from 40% in 2009 to 25% in 2011.

To address the potential crisis detected in the commune, the techniques available for the management of RSM are exposed, which allow to address different fractions of waste treated through multiple approaches, the 3R being the simplest sustainable paradigm: reduce, reuse and recycle. World countries, mainly in Europe, stand out as world references.

In those countries the number of sanitary landfills is decreasing, emerging techniques such as incineration, mechanical-biological processing and composting. In addition, regarding national context, there are references in waste management innovation, where those who have voluntarily submitted to the Municipal Environmental Certification System (SCAM) were considered.

Then, the conditions under which the MSW management is developed in the commune are described in legal terms and the consequences that the Producer's Extended Responsibility Law has brought.

Following the previous study, it is proposed to build a management plant for the compostable organic fraction of the MSW. The selected process corresponds to a composting plant in dump batteries by means of a mini loader, located in the waste treatment center "El Molle", more specifically on cell 1 and 2 (closed landfill). It considers an annual processing capacity of about 6,700 tons and a production of 2,000 compost. The composting area would be around 0.86 hectares.

The plant would operate the entire year, with a day from Monday to Friday with only one shift, feeding on organic household waste previously segregated in origin by the inhabitants of the commune. The first-year pilot plan involves just over 3,000 homes, who will receive a weekly compostable bag and containers, being collected by the same trucks and current routes once a week.

Then, it would be launched on a higher scale, exceeding 30,000 homes involved. A program of previous environmental education, segregation of waste and differentiated collection in pilot stage is described, and then increase coverage and achieve the desired waste processing rate. In exchange for participating in these programs, the community would receive the improvement of public spaces, aiming at the recovery of 50 communal places through the application of compost for landscape purposes and the construction of new green spaces in the commune.

Subsequently, the economic study of the composting process yields favorable results in terms of economic indicators. A discount rate of 10% was used and as social income the savings in disposal costs of the MSW and the market price of the compost, generating a Net Present Value (NPV) of \$ 58,574,748, an Internal Rate of Return (IRR) of 11.46%, an investment of \$ 315,119,491 and a payback of 17 years within a 20-year horizon. Under the same context, a sensitivity analysis is applied preserving the discount rate, but which modifies the following: financing, private rather than municipal perspective, rising fixed costs and decreasing compost production.

The most favorable case corresponds to that financed at 50%, with a credit with a fixed rate of 5% of compound interest, where a NPV of \$ 108,497,494, IRR of 13.77% and payback in 14 years is reached. Regarding the case of a private project, the base case and case with 50% financing are analyzed, where it is only possible to obtain recovery of the investment for the situation with partial financing, in a period of 18 years.

The study of the case with rising costs shows that, by applying a factor between 10 and 50%, the project would only recover the investment for the case with partial financing with an increase of 10% over a period of 17 years.

Finally, a decrease in the production of compost with a factor between 10 and 50%, indicates that it is not possible to recover the investment in the 20-year horizon. In this same analysis, a negative IRR is obtained from 30% for both cases of financing, which translates into losses.

Índice

Agradecimientos	2
Resumen.....	5
Abstract	7
Índice	9
Índice de Figuras	12
Índice de Tablas	13
Capítulo 1.....	16
Objetivos	16
Objetivo General	16
Objetivos específicos.....	16
Hipótesis	16
Alcances	16
Capítulo 2 Antecedentes.....	17
2.1 Conceptos de generación de residuos	17
2.2 Situación RSM Chile.....	18
2.3 Situación de RSM en Valparaíso	19
2.4 Gestión RSM de la comuna:.....	22
2.4.1 Política local.	22
2.4.2 Logística.	24
2.4.3 Microvertederos urbanos.	26
2.5 Discusión de antecedentes recabados.	28
Capítulo 3 Estado Del Arte.	29
3.1 Gestión de RSM.	29
3.2 Técnicas para el procesamiento de residuos.	33

3.2.1 Compostaje.....	33
3.2.2 Tratamientos térmicos	38
3.2.3 Relleno Sanitario	39
3.2.4 Reciclaje	45
3.3 Referentes mundiales.	46
3.4 Referentes Nacionales.	47
3.4.1 La Pintana.....	48
3.4.2 María Pinto	51
3.4.3 Peñalolén	51
Capítulo 4 Conceptos Legales.	52
4.1 Tipo de residuos	52
4.2 Situación actual de RSM nacional.....	53
4.2.1 Legislación aplicable	53
4.2.2 Consecuencias de la nueva legislación	60
4.3 Discusión de conceptos legales.	63
Capítulo 5 Alternativas propuestas.	65
5.1 Planta de Compostaje	67
5.1.1 Estimación de demanda de compost.....	67
5.1.2 Dimensionado	70
5.1.2.1 Selección de tecnología	70
5.1.2.2 Calidad de producto.....	72
5.1.2.3 Disposición de Pilas	74
5.1.2.4 Capacidad planta.	75
5.1.2.5 Maquinaria	80
5.1.2.6 Área requerida	80
5.1.2.7 Ubicación de la planta.	82
5.2 Control del proceso y calidad de producto final	83

5.2.1	Condiciones de operación.....	83
5.2.2	Control de olor.....	85
5.2.3	Verificación de calidad y madurez.....	85
Capítulo 6 Análisis económico.....		94
6.1	Mercado objetivo.....	94
6.2	Criterios de selección económica	94
6.3	Precios.....	95
6.4	Costos de Capital.....	96
6.4.1	Costos fijos.....	96
6.4.2	Costos indirectos	98
6.4.3	Capital de trabajo.....	98
6.5	Costos de operación.....	99
6.5.1	Costos de producción.....	99
6.5.2	Depreciación.....	101
6.5.3	Gastos generales	101
6.6	Flujo de Caja	101
6.7	Análisis de sensibilidad	104
6.8	Evaluación económica.....	104
6.8.1	Financiamiento parcial.....	104
6.8.2	Perspectiva privado: Caso Base y Caso parcialmente financiado.	105
6.8.3	Alza de los costos fijos.	106
6.8.4	Descenso en la producción de compost.	107
6.9	Análisis económico obtenido.....	108
Conclusiones y recomendaciones.....		109
Referencias.....		111
Anexos.....		117
Anexo 1.....		117

Anexo 2.....	119
Anexo 3.....	119
Anexo 4.....	120
Anexo 5.....	120
Anexo 6.....	121
Anexo 7.....	121

Índice de Figuras

Figura 1: Porcentaje del flujo másico de RSM anual en el relleno sanitario “El Molle”, (SGS, 2018).	21
Figura 2: Relleno Sanitario “El Molle”, Ruta 60Ch, Camino La Pólvara, vista satelital de Google Maps.	22
Figura 3: Masa de basura dispuesta por la municipalidad de Valparaíso entre el año 2014 y 2018. Fuente: Ilustre Municipalidad de Valparaíso.	22
Figura 4: Mapa de cobertura de los Cuarteles de Aseo de la Comuna de Valparaíso. Fuente: Ilustre Municipalidad de Valparaíso, 2019.....	26
Figura 5: Microvertederos en la comuna de Valparaíso. Fuente: Ilustre Municipalidad de Valparaíso, 2012.	27
Figura 6: Pila estática con aireación pasiva.	36
Figura 7: Pila estática con aireación forzada.	36
Figura 8: Eisenia foetida, lombriz en proceso de lombricultura	37
Figura 9: Relleno sanitario por celda excavada, vista en perspectiva.	40
Figura 10: Relleno sanitario por método de zona.	41
Figura 11: Relleno sanitario por método de depresión.	41
Figura 12: Fases de descomposición de materia orgánica en relleno o vertedero. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1993).....	43
Figura 13: Granja solar de 1,48 MW sobre el relleno Box Canyon, base Marina campo Pendleton, California.	44
Figura 14: Proyección RSM comuna de Valparaíso hasta el 2035.	67
Figura 15: Diseño de pila, sección transversal trapezoidal.	74
Figura 16: Posicionamiento de pilas y pasillos.....	75
Figura 17: Esquema planta de compostaje.	76

Figura 18: Esquema propuesto a nivel de ingeniería conceptual.	82
Figura 19: Prueba del puño para humedad de compost.	84
Figura 20: Porcentaje de las inversiones del proyecto respecto al total.	99
Figura 21: Comparación entre flujo de caja caso base y parcialmente financiado.	104
Figura 22: Comparación entre flujo de Caja 50% financiado.	105
Figura 23: Comparación entre flujo de Financiamiento total.	106
Figura 24: proyección IPC por 20 años.	119

Índice de Tablas

Tabla 1: Situación anual de sitios de disposición final en la Región de Valparaíso, junio de 2018 (SGS, 2018).	20
Tabla 2: Cantidad de desechos domiciliarios dispuestos por la municipalidad de Valparaíso entre el 2014 y 2018. Fuente: Ilustre Municipalidad de Valparaíso.	23
Tabla 3: Composición residuos domiciliarios en la comuna de Valparaíso. Fuente: (CEARS, 2011)	23
Tabla 4: Servicios de aseo de los Cuarteles de cerros, Fuente: Ilustre Municipalidad de Valparaíso.	25
Tabla 5: Servicios de aseo de COSEMAR, Fuente: Ilustre Municipalidad de Valparaíso.	26
Tabla 6: Regulaciones que influyen en el ámbito de los RSD con descripción.	53
Tabla 7: Cantidad de puntos verdes por tipo de residuos. Fuente: (Ministerio del Medio Ambiente, 2018).	61
Tabla 8: Capacidad de puntos verdes por tipo de residuos. Fuente: (Ministerio del Medio Ambiente, 2018).	62
Tabla 9: Capacidad de Puntos Limpios por tipo de residuo. Fuente: (Ministerio del Medio Ambiente, 2018).	62
Tabla 10: Áreas verdes de la comuna de Valparaíso, Fuente: Ilustre Municipalidad de Valparaíso.	67
Tabla 11: Cantidad de compost requerido.	68
Tabla 12: Resumen Iniciativas de PLADECO 2019-2030. Fuente: Ilustre Municipalidad de Valparaíso.	69
Tabla 13: Resumen de tecnologías de compostaje.	71
Tabla 14: Influencia de las propiedades en calidad de producto.	72

Tabla 15: Geometrías típicas para pilas de compostaje. Fuente: (Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service; US Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service, 1999)	74
Tabla 16: Balance de Masa global.....	77
Tabla 17: Descripción y composición de cada corriente.	78
Tabla 18: Descripción y composición de cada corriente (continuación).....	79
Tabla 19: Dimensiones de pila trapezoidal de compostaje. Elaboración propia.	80
Tabla 20: Detalles de capacidad productiva.	81
Tabla 21: Superficies asignadas a compostaje.....	81
Tabla 22: Resumen sustancias compostables y sus características físico-químicas (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1993).....	84
Tabla 23: Análisis para la determinación de la madurez del compost.	86
Tabla 24: Estudio de inocuidad de microorganismos en compost de acuerdo con NCh 2880:2015. 86	
Tabla 25: Concentración metales pesados en compost Clase A con NCh 2880:2015.....	87
Tabla 26: Concentración metales pesados en compost Clase B con NCh 2880:2015.....	87
Tabla 27: Precios de compost según la forma de venta.	95
Tabla 28: Inversión de equipos de proceso.....	97
Tabla 29: Inversión de implementación de terreno.....	97
Tabla 30: Inversión de construcciones.	97
Tabla 31: Costos Directos del proyecto.....	98
Tabla 32: Salarios de mano de obra.....	100
Tabla 33: Costo anual en servicios.	100
Tabla 34: Depreciación Acelerada de activos físicos.	101
Tabla 35: Indicadores Económicos del Proyecto.....	101
Tabla 36: Flujo de Caja Neta.....	102
Tabla 37: Flujo de Caja Neta (Continuación).....	103
Tabla 38: Indicadores Económicos del Proyecto con financiamiento parcial.	105
Tabla 39: Resumen indicadores económicos proyecto municipal y privado.	106
Tabla 40: Financiamiento total: Análisis de sensibilidad de alza costos fijos.....	107
Tabla 41: Financiamiento parcial: Análisis de sensibilidad de alza costos fijos.	107
Tabla 42 Análisis de sensibilidad de descenso en producción: Financiamiento total.	107
Tabla 43: Análisis de sensibilidad de descenso en producción: Financiamiento parcial.....	107
Tabla 44: Lista Europea de Residuos, actualizada por la Decisión de la Comisión 2014/955/UE..	117
Tabla 45: Descripción proceso batch.....	119

Tabla 46: Estimación volumen de balsa de lixiviados.....	120
Tabla 47: Composición típico de lixiviados de planta de compostaje.	120
Tabla 48: Costo energético estimado, basado en (O'Brien, 2015).	121
Tabla 49: Estimación volumen de balsa de agua lluvia, basado en (Agència de Residus de Catalunya, 2019).....	121

Capítulo 1

Objetivos

Objetivo General

- Generar la evaluación técnica y económica de la instalación de una planta de compostaje en la comuna para el tratamiento de residuos sólidos municipales de Valparaíso.

Objetivos específicos

- Analizar las características demográficas actuales de Valparaíso en materia de gestión de residuos, de manera de proyectar la situación a largo plazo.
- Desarrollar un diagnóstico de la gestión de los residuos sólidos municipales de la comuna, permitiendo tomar decisiones favorables para su tratamiento.
- Analizar las alternativas que ofrece el estado del arte, pudiendo distinguir la aplicabilidad que estas tienen dadas las características de la comuna.

Hipótesis

- Es posible tratar la fracción orgánica de residuos sólidos municipales de Valparaíso de manera económicamente viable.

Alcances

La información recabada tiene la finalidad de obtener una perspectiva amplia de la situación actual en tema de manejo de residuos sólidos municipales en la comuna de Valparaíso, tomando en cuenta antecedentes desde las aristas tecnológicas, legales, políticas, sociales y ambientales. Sin embargo, en lo que respecta a este trabajo, se enfocará en tomar estas diferentes perspectivas y entregar una serie de alternativas técnicas, teniendo un acercamiento ingenieril para satisfacer la demanda creciente de gestión de residuos, de manera de dar solución a una comuna cuyo relleno sanitario le resta menos de una década para su cierre. La meta es entregar alternativas para gestionar los RSM buscando acercarse al modelo OCDE actual, con miras en tener una comuna donde se genere una economía circular, sostenible, protegiendo la vida de las personas y el medioambiente. La evaluación técnico-económica realizada a estas alternativas permitirá obtener el costeo desde una ingeniería conceptual, permitiendo tomar decisiones y comprender de mejor manera cuán sensibles son estas opciones a las cantidades de residuos a procesar. Este trabajo se enfoca en reducir los desechos que terminan en relleno sanitario al interior de la comuna.

Capítulo 2 Antecedentes.

2.1 Conceptos de generación de residuos

Para realizar un análisis de manera estándar, se acude a la fuente de referencia en el ámbito de gestión de residuos, siendo seleccionada la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico. En este contexto, la OCDE define lo siguiente:

Residuo: sustancia u objeto que: (i) se elimina o valoriza, (ii) está destinado a ser eliminado o valorizado, o (iii) debe, por las disposiciones de la legislación nacional, ser eliminado o valorizado.

Residuos sólidos domiciliarios (RSD): residuos generados en los hogares.

Residuos sólidos municipales (RSM): residuos generados en los hogares y sus asimilables, como los residuos generados en vías públicas, el comercio, oficinas, edificios e instituciones tales como escuelas entre otros. Estos residuos son considerados residuos no peligrosos.

Residuo inerte: residuo o mezcla de residuos que no genera, ni puede generar ninguna reacción física, química o biológica.

Residuo peligroso: residuo o mezcla de residuos que presenta un riesgo para la salud humana y/o al medio ambiente, ya sea directamente o debido a su manejo actual o previsto, como consecuencia de presentar alguna característica de peligrosidad

Residuo no peligroso: residuo o mezcla de residuos que no presentan ninguna característica de peligrosidad y genera o puede generar alguna reacción física, química y/o biológica.

Valorización: conjunto de acciones asociadas cuyo objetivo es recuperar un producto, uno o varios de los materiales que lo componen y/o el poder calorífico de los mismos.

Por otro lado, es importante considerar los matices que puedan existir para el ámbito nacional, donde se considera como residuos sólidos domiciliarios y asimilables a todos aquellos que son recolectados por el municipio, los que involucran residuos comerciales, comunales, industriales asimilables (dependiendo del tamaño) y domiciliarios. Esta función de vital importancia se les asigna a los municipios a través de la Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades y Código Sanitario. Estos se encuentran controlados por la autorización de su Secretaría Regional Ministerial de Salud pertinente.

En términos prácticos, la municipalidad también incluye en sus residuos sólidos municipales a los que provienen del quehacer de limpieza de la vía pública, parques y jardines.

2.2 Situación RSM Chile.

Al año 2018, en nuestro país se generaron anualmente 7.487.559 toneladas de basura de tipo residuos sólidos municipales. De ello es posible afirmar que existe un incremento del 9,98% con respecto al 2012 (SGS, 2018). Por otro lado, en el mismo intervalo de tiempo la cantidad de personas cuya basura es gestionada municipalmente fluctuó desde 16.238.555 personas hasta 20.072.015 personas, ya que esta considera la población flotante promedio por temporada. A partir de lo anterior, es posible estimar una disminución de la razón de producción de basura per cápita desde 1,15 (kg/hab/día) el año 2012 hasta 1,02 (kg/hab/día) el año 2018. Cabe destacar que la estimación de población atendida se hace a partir del porcentaje de cobertura de servicios de aseo en las zonas urbana y rural, considerando también la población flotante.

En Chile, los sitios de disposición final residuos sólidos municipales se clasifican en:

1. Vertederos: sitios donde los residuos sólidos son depositados por períodos prolongados de tiempo. Puede que no cuenten con sistemas de captación de lixiviados ni gases, pero cuentan con cobertura diarias e infraestructura básica sanitaria, cumpliendo con la resolución N°2.444/80.
2. Basural: También denominados vertederos ilegales, son lugares que operan sin los permisos de las autoridades respectivas, tanto para sus instalaciones, uso de suelo, alcantarillado, entre otros. Por tanto, no cuentan con la autorización para ser, al menos, vertederos.
3. Relleno Sanitario: sitio que cuenta con las medidas para mitigar emisiones, riesgos a la salud e impactos ambientales al entorno. Posee sistemas de captación de gases y lixiviados, contemplando también una cobertura final. Desde el 1996 se han sometido al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), lo que se traduce en obtención de una Resolución de Calificación Ambiental (RCA). Un caso particular lo constituyen los rellenos sanitarios manuales, donde se permite la construcción de celdas manuales siempre que se trate de territorios insulares o localidades aisladas bajo los 20.000 habitantes. Estos últimos deben estar a más de 50 km de cualquier otro relleno sanitario y siempre que no se haya formulado un plan de manejo de residuos sólidos urbanos.

Respecto al tema anterior, se detectan 56 sitios que han terminado su funcionamiento y 128 puntos que están activos. Estos se identificaron como 52 vertederos, 39 basurales, 30 rellenos sanitarios y 8 rellenos manuales (SGS, 2018).

Por otro lado, también se detectan sitios de disposición intermedia: 6 estaciones de transferencia y 2 puntos de trasvasije.

En términos nacionales, la disposición de RSM se realiza en su mayoría en relleno sanitario. En lo que respecta a cifras, el destino final se distribuye nacionalmente en un 78,2% a relleno sanitario,

19,0% a vertedero, 2,4% a basural y 0,5% en relleno manual. En particular, para la región de Valparaíso la disposición final se distribuye en 91,3% a relleno sanitario, 8,3% vertedero y 0,4% basural (SGS, 2018).

Otro aspecto por mencionar corresponde a la administración nacional de los sitios, donde la mayoría es de carácter municipal, alcanzando un 63%. Por otro lado, los sitios de operación privada corresponden al 24% y un 13% a los de administración mixta (concesión de una propiedad municipal) (SGS, 2018).

En paralelo a esa gestión, existen también múltiples puntos de recepción y almacenamiento, e instalaciones de valorización de residuos en Chile.

2.3 Situación de RSM en Valparaíso.

En la actualidad la región de Valparaíso cuenta con 10 sitios activos de disposición final, 3 sitios cerrados, 2 de trasvase y un último sitio en proyecto en Isla de Pascua, denominado “Ecoparque Vía a Ori” (cuya resolución fue rechazada). Específicamente, en la comuna de Valparaíso, se encuentra activo el relleno sanitario “El Molle” desde el año 2013 y tiene prevista una vida útil hasta el 2028. La empresa “Stericycle Urbano Spa” está encargada de su funcionamiento, sin embargo, su licitación caduca el año 2021.

En la Tabla 1 se muestra información del panorama general de la región (SGS, 2018). Esta permite comprender de mejor manera el comportamiento en la disposición final de la región, reconociendo la cantidad de personas atendidas por cada sitio y la tasa estimada de producción per cápita (PPC).

Tabla 1: Situación anual de sitios de disposición final en la Región de Valparaíso, junio de 2018 (SGS, 2018).

Sitio disposición	Tipo	Población total atendida por sitio	RSD recibidos por sitio [ton]	PPC corregido [kg/persona/día]	% población total atendida por sitio	% RSD recibidos por sitio
Relleno Sanitario El Molle	Relleno Sanitario	1.414.830	494.153	0,96	62,26	60,58
Relleno Sanitario San Pedro	Relleno Sanitario	423.449	172.905	1,12	18,64	21,2
Centro de Tratamiento Integral La Hormiga	Relleno Sanitario	237.155	77.969	0,9	10,44	9,56
Vertedero de Quintero	Vertedero	83.171	28.409	0,94	3,66	3,48
Vertedero de Puchuncaví	Vertedero	58.451	19.275	0,9	2,57	2,36
Vertedero Cabildo	Vertedero	19.388	9.416	1,33	0,85	1,15
Vertedero Tabolango	Vertedero	15.241	7.462	1,34	0,67	0,91
Vertedero Vai A Ori	Basural	10.169	2.988	0,8	0,45	0,37
Vertedero Chicolco	Vertedero	9.483	2.876	0,83	0,42	0,35
Botadero de Juan Fernández	Basural	970	312	0,88	0,04	0,04
Total		2.272.307	815.765	0.98	100	100

Al observar la Figura 1 es posible afirmar que la mayoría de los desechos que recibe el relleno proviene de la comuna de Viña del Mar, seguido por Valparaíso y luego Quilpue, siendo el resto de los aportes individuales menores al 10%. Además, de la Tabla 1 se aprecia que el 60,58% de los RSM de la región son depositados en su interior, siendo el sitio de mayor disposición en la región.

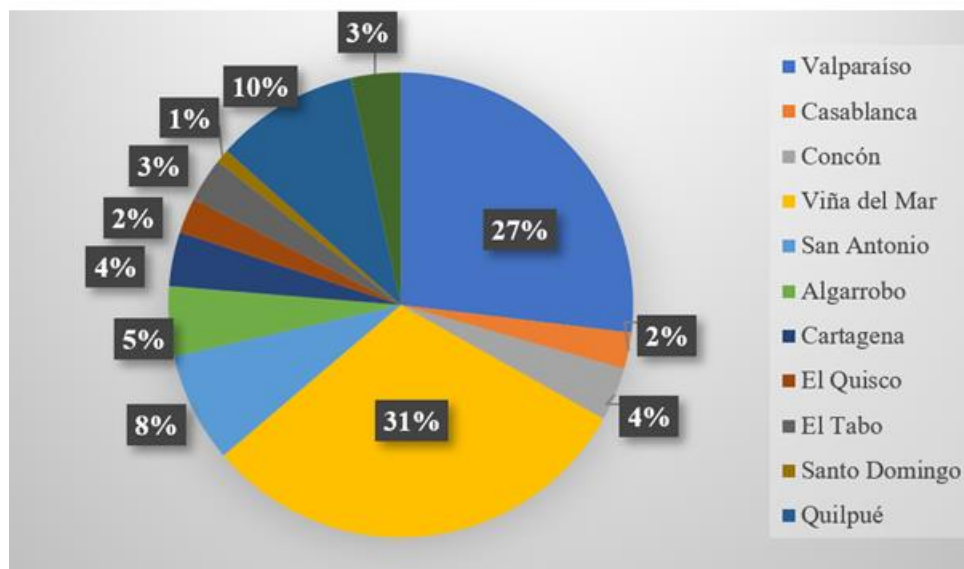


Figura 1: Porcentaje del flujo másico de RSM anual en el relleno sanitario “El Molle”, (SGS, 2018).

El relleno sanitario posee autorización sanitaria desde el año 2013, con una vida útil estimada de 15 años y con fecha de cierre el año 2028. Como se observa en la Figura 2, cuenta con un vasto terreno, teniendo una superficie de relleno de 35 hectáreas. Cabe destacar que está ubicado en un predio municipal de Quebrada Verde de 86,1 hectáreas, el cual también contiene una planta de plásticos, vertedero (ya clausurado), el acueducto de la empresa ESVAL S.A. y una planta de quema de biogás del vertedero. Esta última ocupa alrededor de 0,5 hectáreas y recibe un flujo de biogás de cerca de 4.500 Nm³/h, el cual utiliza equipos generadores de electricidad a partir de la combustión interna, realizando un despacho mediante transformadores a la red eléctrica de 12 [kV] de ChilQuinta S. A. Esta central de generación eléctrica recibió su Resolución de Calificación Ambiental (RCA) el año 2015, ejecutando el proyecto mediante un sistema de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), permitiendo que los Gases de Efecto Invernadero (GEI) que se dejan de emitir al ambiente gracias al proyecto sean transados en el mercado de Carbono como bonos de carbono (Gobierno de Chile, 2019). El predio total en su Resolución de Calificación ambiental declara en que este posee 2 sectores: “Seis hijuelas” de 46 hectáreas y “El Molle” de 40 hectáreas (del cual se encuentran 35 hectáreas intervenidas por el relleno). Un detalle por considerar es que las celdas 1 y 2 corresponden al antiguo vertedero (del cual se extrae el gas), con sistema de sello, líneas de lixiviados y de gas, respectivamente.



Figura 2: Relleno Sanitario “El Molle”, Ruta 60Ch, Camino La Pólvara, vista satelital de Google Maps.

2.4 Gestión RSM de la comuna:

2.4.1 Política local.

A contar del año 2013 existe una oficina administrativa municipal como agente fiscalizador del contrato con el relleno sanitario “El Molle”. A partir de lo obtenido a través del municipio, se plasma los valores de disposición mensual de los últimos 5 años en la Figura 3. Al observar la Tabla 2 es posible indicar que se encuentra dentro de un margen muy reducido de variación anual (inferior al 5%). Al ser una cantidad de datos bajos, no es posible realizar mayores proyecciones al respecto.

Tabla

2

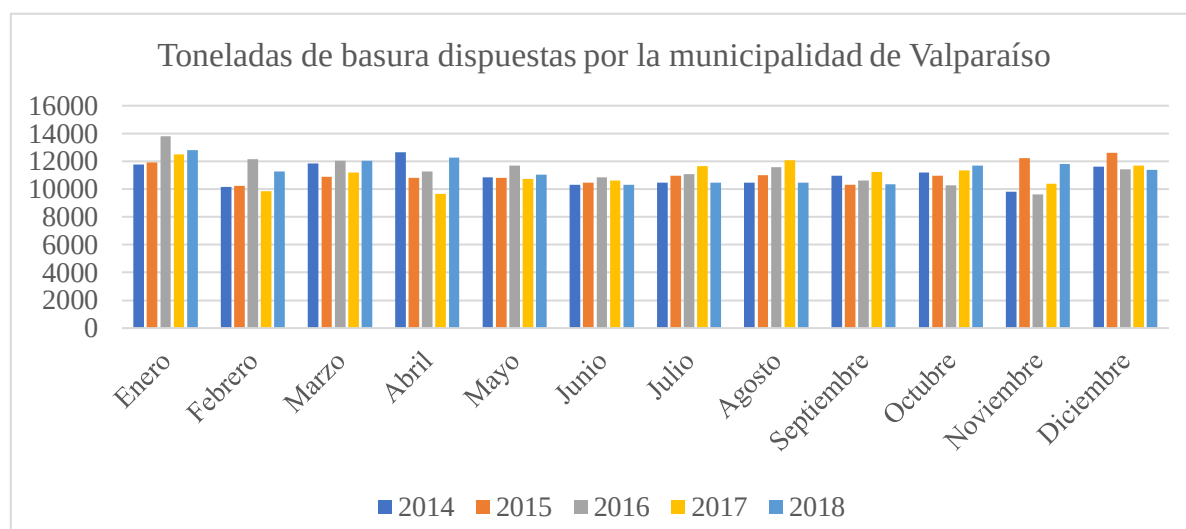


Figura 3: Masa de basura dispuesta por la municipalidad de Valparaíso entre el año 2014 y 2018. Fuente: Ilustre Municipalidad de Valparaíso.

Al observar la Tabla 2 es posible indicar que se encuentra dentro de un margen muy reducido de variación anual (inferior al 5%). Al ser una cantidad de datos bajos, no es posible realizar mayores proyecciones al respecto.

Tabla 2: Cantidad de desechos domiciliarios dispuestos por la municipalidad de Valparaíso entre el 2014 y 2018. Fuente: Ilustre Municipalidad de Valparaíso.

Año	Toneladas	Variación anual
2014	132.092	-
2015	133.172	0,82%
2016	136.421	2,44%
2017	132.981	-2,52%
2018	135.921	2,21%

Dentro de la categoría de residuos sólidos municipales surgen diferentes fracciones, siendo estas clasificadas por las características de su contenido.

Tal como muestra la Tabla 3, el componente mayoritario en los residuos domiciliarios de la comuna corresponde a la fracción orgánica. Este lleva relación con el consumo de alimentos, siendo esta una de las actividades más básica a realizar en los hogares, además de ser un reflejo de la situación socioeconómica de la comuna.

Tabla 3: Composición residuos domiciliarios en la comuna de Valparaíso. Fuente: (CEARS, 2011)

Componente	%	Componente	%
Materia Orgánica	72,37	Celulosa Sanitaria	1,53
Plásticos (otros)	8,92	Tetrapack	1,02
Papel	4,21	Metales	0,96
Cartón	3,37	Especiales	0,2
Textil	2,99	Plásticos (PET)	0,15
Otros	2,32	Inertes	0,11
Vidrio	1,83		

De forma particular, en materia de ordenanzas municipales de Valparaíso, se cuenta con la siguiente información:

Ordenanza N°8236 del 29 de diciembre de 1995 “Ordenanza sobre condiciones generales para determinar tarifas de aseo, cobro y exenciones”: tal como su nombre lo indica, regula y explica la estimación de costo real del servicio de aseo domiciliario correspondiente a establecimientos dentro

de la comuna de Valparaíso, fija la metodología para la tasa de cobro a los usuarios del servicio de aseo, expone los casos excepcionales donde la recogida debe ser especial. Adicionalmente, realiza algunas aclaraciones para locales comerciales, la fecha de comunicación de la tarifa del servicio y los afectos al pago respectivo. Finalmente, realiza el desglose los periodos y método de cobros especiales.

Ordenanza N°1702 del 02 de mayo de 2018: Modifica la ordenanza anterior para adecuar las regulaciones que estas han dictaminado, de manera de actualizar su contenido. Principalmente corrige el apartado relativo a las exenciones parciales o totales, siendo estas relativas a los usuarios propietarios que cumplan ciertos requisitos del avalúo fiscal de su propiedad única, grado de vulnerabilidad según el Registro Social de Hogares, jubilados con ciertos regímenes mensuales, discapacidad, enfermedad catastrófica, principalmente. Cabe destacar que estas características son no excluyentes.

Según el informe emanado por la OCDE el año 2016 (OECD, 2016), la generación de basura incrementó alrededor de un 30% en la década del 2000's. El año 2009 los vertederos y botaderos descontrolados recibieron cerca del 40% de la basura del total que va a relleno sanitario, mientras que en el período 2010-2011 esta cifra descendió hasta el 25%, aproximadamente. La proyección al año 2020 es lograr duplicar los rellenos sanitarios (con respecto al 2010). Esta organización detecta incentivos limitados para la reducción y reuso de desechos, lo que trae consigo un debilitamiento para la industrialización del reciclaje. Un 20% de los domicilios pagan por su gestión de residuos a su respectiva municipalidad y un 20% de los municipios cuenta con algún plan de gestión y recursos para la adecuada aplicación de los programas asociados.

2.4.2 Logística.

El servicio de aseo presta servicio a locales comerciales, industrias y residencias mediante “cuadrillas”. Estas últimas se encuentran compuestas por vehículos recolectores, poncheros, choferes y equipamiento. La recolección es “puerta a puerta”, lo que pone en responsabilidad de quien entrega la basura de dejar sus desechos en el exterior de su vivienda o en la acera.

El servicio de aseo puede distinguirse en 3 diferentes tipos:

1. Servicio Ordinario: Retiro de residuos sólidos domiciliarios o comerciales con un volumen de hasta 60 litros diarios. Este se realiza tanto en el plan como en el cerro.
2. Servicio Extraordinario: Este se compone por aquellos retiros que quedan fuera del servicio ordinario debido a que: exceden los 60 litros, los que requieran frecuencia adicional de retiro y requieran tiempo excesivo. Se realiza principalmente a instituciones y empresas, lo que conlleva un cobro adicional por su retiro. Además, indicar que no se emplean vehículos adicionales para recolectar estos desechos, pudiendo hacerse a primera hora o simplemente sobre la ruta normal.

3. Servicio Especial: Corresponde al retiro de residuos no establecidos tanto en cantidad ni clasificación con respecto a los otros 2 servicios, lo que se da en casos como eventos masivos. Producto de su naturaleza, se generan en 2 opciones de recolección: Mediante las mismas cuadrillas de servicio ordinario o a través de una cuadrilla especialmente diseñada para estos efectos.

La recolección de desechos comienza a las 6:30 desde el Cuartel Cárcel, donde el encargado de camiones entrega por escrito el destino de cada chofer con un camión respectivo. Normalmente cada chofer tiene asignado un camión, y una ruta para cada día de la semana. Además, se realizan intercambios de maquinaria y recorrido cuando los turnos lo requieren.

Posterior a la primera instrucción, se dirigen a cargar combustible a la bomba de la respectiva licitación pública.

Luego, cada camión acude a su respectivo cuartel a buscar a su cuadrilla y recorrer la ruta asignada. Los *poncheros* barren primero calles por cerca de una hora y luego recolectan puerta a puerta los desechos. Al terminar el recorrido cada chofer va a dejar a su cuadrilla al cuartel de origen, luego se marcha al relleno sanitario donde debe registrar la carga depositada, indicando hora de llegada, número de camión y su chofer, emitiéndose un ticket y registrando diariamente en planilla su paso por la disposición final. Una vez descargado el camión se retorna al Cuartel Cárcel.

Al interior del cuartel los trabajadores se duchan y cambian de ropa, dando fin a su jornada laboral. Cabe señalar que las “cuadrillas” están distribuidas en Cuarteles, los cuales atienden diferentes sectores de la misma comuna. Los cuarteles son: Cárcel, Barón, Lúcumos y Francia.

Los Cuarteles contienen múltiples servicios, cada uno en tres rutas (generalmente), ejerciendo su labor cada 3 días hábiles. Por tanto, se generan las rutas: lunes-jueves, martes-viernes y miércoles-sábado. Estos toman lugar en los turnos de mañana.

Para mejor comprensión del aseo comunal, en Tabla 4 se detalla el actuar de los cuarteles de los cerros, mientras que en la

Tabla 5 se describen los horarios para los servicios de COSEMAR.

Para comprender la cobertura que entregan los servicios de aseos, tanto de COSEMAR como directamente el municipio, observar la Figura 4.

Tabla 4: Servicios de aseo de los Cuarteles de cerros, Fuente: Ilustre Municipalidad de Valparaíso.

Cuartel	Servicios	Frecuencias /semana
Barón	15	2
Cárcel	9	2 – 3 – 6
Lúcumos	9	2
Total Cerros	33	

Tabla 5: Servicios de aseo de COSEMAR, Fuente: Ilustre Municipalidad de Valparaíso.

Cuartel	Turno	N° servicios
Francia	Mañana (07:00 a 15:00)	3
	Tarde (15:00 a 23:00)	6 + Mercado Cardonal + Subida y Bajada de Cerros
	Noche (23:00 a 07:00)	3 + Subida y Bajada de Cerros
Placilla de Peñuelas	08:00 a 16:00	4

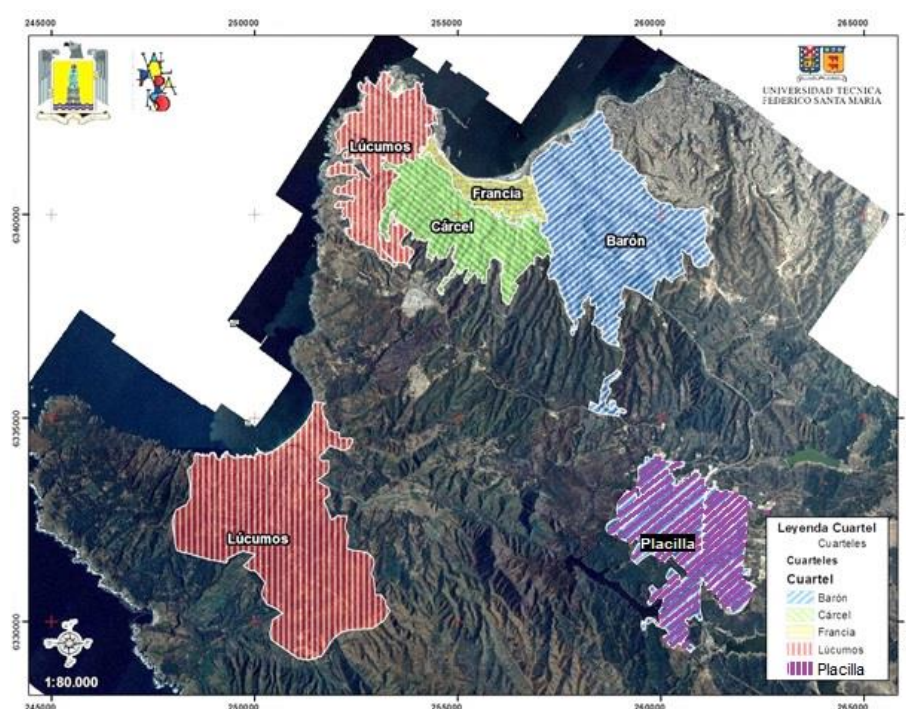


Figura 4: Mapa de cobertura de los Cuarteles de Aseo de la Comuna de Valparaíso. Fuente: Ilustre Municipalidad de Valparaíso, 2019.

2.4.3 Microvertederos urbanos.

Dentro de la realidad comunal, se detectan microvertederos. Estos están al interior de la ciudad, provocando olores, percolados, material en suspensión y vectores sanitarios.

Mediante el uso de un camión plano junto a cuadrillas, la Dirección de Aseo busca mermar la problemática de los microvertederos. Para mayor comprensión de la posición de estos focos de desechos, observar la Figura 5.

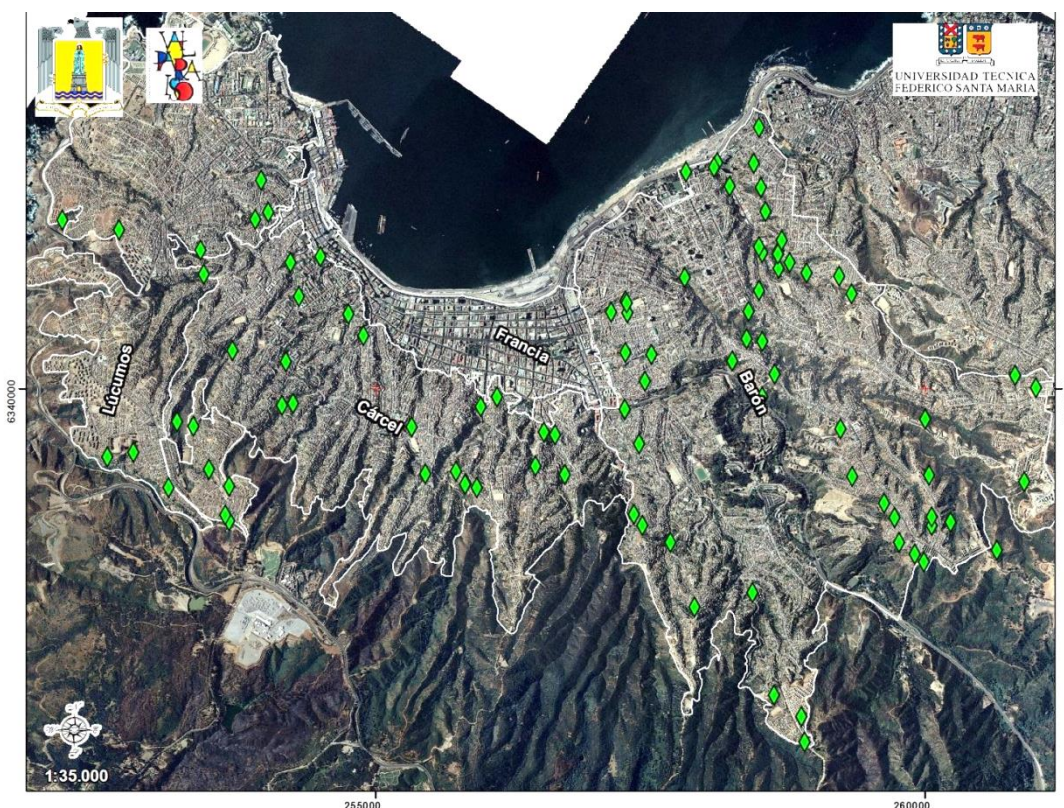


Figura 5: Microvertederos en la comuna de Valparaíso. Fuente: Ilustre Municipalidad de Valparaíso, 2012.

El incendio vivido en la comuna el año 2014, resultando en la devastación de 1000 hectáreas, tiene como antecedente la situación de los microbasurales que aquejan la ciudad.

Al año 2019 esta condición sigue siendo detectada, donde se observan quebradas repletas de desechos. Esto ocurre producto de que fleteros de obras de construcción o residentes de otros sectores vierten objetos como muebles o electrodomésticos (La Estrella de Valparaíso, 2019).

En los sectores cercanos al relleno sanitario “El Molle”, más específicamente en el camino “La Pólvara” se presentan basureros clandestinos. Junto a ello, la comuna vive una de las peores sequías de su historia (El Mostrador, 2019), lo que propicia las condiciones idóneas para la propagación de incendios. Juan Atienza, Jefe del Departamento de Protección Contra Incendios Forestales de CONAF Valparaíso, afirma que el material orgánico acumulado en los sectores también puede ser causante de incendios (La Estrella de Valparaíso, 2019).

2.5 Discusión de antecedentes recabados.

Se observa a nivel nacional una distribución, en términos máxicos anuales, 80-20 entre relleno sanitario y vertedero, lo que indica la importancia que tienen los rellenos sanitarios a la matriz de disposición final, donde pese a ser inferior en número son de mayor capacidad de recepción.

El relleno “El molle” es el sitio de disposición final de la mayoría de los residuos sólidos de la región, por lo que su funcionamiento es clave no sólo para la comuna si no para la región.

Respecto a la licitación por parte Stericycle para la gestión del relleno sanitario “El Molle”, producto de la brecha de 6 años, es muy probable que ninguna otra empresa desee adjudicarse la licitación, tanto por el breve horizonte de proyecto como por las dificultades que trae consigo la etapa de cierre (mayores costos que en el resto de la faena).

El municipio de Valparaíso indica que, de acuerdo con la licitación generada, al menos la mitad de la capacidad ocupada anualmente en el relleno debía corresponder a la comuna misma. Sin embargo, esto no es así, ya que apenas el 27% de los RSM son provenientes de Valparaíso. De hecho, el usuario de mayor flujo anual corresponde a Viña del Mar, con un 31%. Esta situación, de manera implícita, acorta la vida útil calculada para el proyecto (15 años), asunto que podría generar una crisis sanitaria en la región.

Respecto a las instalaciones del relleno, este cuenta con tecnología de recuperación de biogas, combustionado el CH₄ generado y entregando energía a la red eléctrica de ChilQuinta. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la captura de estos gases de efecto invernadero (CO₂ y CH₄, principalmente) está sujeta a eficiencias, donde el valor típico de captura es del 60% (AEA Technology, 2001).

La gestión comunal de residuos muestra una leve tendencia a incrementar la disposición en el mes de enero, lo cual es consecuencia del período estival. Los datos de composición tienen casi ya 10 de antigüedad, situación que pone de urgencia un estudio en la composición actual de los residuos.

En materia de ordenanzas municipales, se detecta una propensión a eximir a los habitantes del pago de los residuos, donde apenas un 20% de la población paga por el servicio de aseo. Esta situación es preocupante ya que el financiamiento termina afectando el presupuesto municipal, limitando las opciones a tomar por parte del Municipio, al mismo tiempo que la ciudadanía se desliga de su responsabilidad con la gestión de sus propios residuos.

En alusión al informe de la OCDE (OECD, 2016), esta recomienda generar un marco legal para regular de manera extendida al productor (Ley que ya se encuentra promulgada), realizar actualización y mejora en gestión de desechos peligrosos. Además, impulsa la prevención de la producción de desechos, el reciclaje y recuperación de productos que están fuera del marco REP.

Los incentivos que propone comprenden: Cargos e impuestos para la generación de impuestos, incentivos fiscales para productos reciclados, generar una revisión del financiamiento y mecanismos de incentivo a la gestión de pequeñas municipalidades y generar consciencia en la ciudadanía.

Desde esta perspectiva, se recomienda generar nuevas ordenanzas municipales que pongan como condición de eximición del pago la segregación de residuos, dándole la responsabilidad a los usuarios con el servicio de aseo.

En lo que respecta a logística, se detecta un sistema de mixto de recolección, donde la cobertura es fragmentada en cuarteles, existiendo municipales y particulares licitantes, respectivamente. Existe clasificación en los tipos de servicio según la capacidad y circunstancias en las que se genera, lo que permite organizar de mejor manera la distribución y cobertura de los servicios. No fue posible obtener más información respecto a la optimización de las rutas y sus recorridos en los cerros.

Finalmente, la formación de microvertederos es una situación ambientalmente riesgosa, ya que provoca la generación vectores sanitarios, actuando como transmisores de enfermedades. Además, la acumulación de material tiene relación con los incendios que han afectado a la comuna, lo cual agrega otra arista a la problemática, siendo urgente su erradicación. En este contexto, se propone aumentar la severidad en el control de estos puntos a través de un sistema de multas, siendo el trabajo conjunto con los vecinos como agentes de cambio una condición que propiciaría el éxito de estas medidas.

Capítulo 3 Estado Del Arte.

3.1 Gestión de RSM.

A nivel histórico, la calidad de vida, la salud y la gestión de residuos han estado íntimamente relacionadas, por lo que su estudio ha ido tomando relevancia con el contar de los años ya que se ha comprobado la correlación entre estas condiciones.

En el contexto de la revolución industrial, se genera una expansión en ciudades europeas y americanas, aproximadamente 1790. (Wilson, 2007)

En 1830, Londres comienza a tomar preocupación por la contaminación que sufren producto de las cenizas en los desechos domiciliarios debido al uso del carbón como medio calefactor y de cocina. En consecuencia, a fines de 1830, surge la comisión de salubridad (Wilson, 2007). Al poco andar, esta descubre una correlación entre las enfermedades y las malas condiciones sanitarias al interior de la ciudad. En consecuencia, se promovieron la generación de un marco regulatorio legal, de aplicación e inversión infraestructura mediante políticas públicas. Una de las medidas generadas fue la disposición de desechos domiciliarios en receptáculos móviles, cuyo vaciado semanal compete a las autoridades locales. De manera análoga, en EE. UU. sufre el incremento de las densidades de sus ciudades, provocando interés gubernamental en la salud pública. Esto condujo a mejoras en la gestión

de residuos sólidos (Louis, 2004). Además de recolectar y remover desechos, comienza la proliferación de rellenos sanitarios (Seadon, 2006). Una de las situaciones que caracterizan la primera mitad del siglo XX fue el descontrol de vertederos y quemado de basura de manera indiscriminada. Posterior a la segunda guerra mundial, el relleno sanitario continúa siendo uno de los principales métodos de disposición final. Un incremento en el consumo de plásticos se tradujo en una mayor cantidad de desechos de este tipo (Wolsink, 2010). Como consecuencia, en los años 60's surgen movimientos ambientales que llevaron la disposición de basura a la agenda política en países industrializados. La nueva legislación impulsa la gestión de residuos sólidos y contaminación de aguas. En primera instancia, se enfoca en la disminución de vertederos y basurales descontrolados. Luego, la legislación se dirige al incremento de los estándares medioambientales y disminuir la contaminación de tierra, aire y agua. Uno de los temas de mayor preocupación respecto a los rellenos sanitarios es el debido alzamiento de los estándares técnicos, donde se controlen los lixiviados y los gases de vertedero, reducción de dioxinas e incineración de gases.

Desde los años 90's se hizo latente la idea de que la política integral requiere perspectivas técnicas, ambientales, políticas, sociales, financieras, institucionales y económicas.

Si bien, la salud pública y la modernización han actuado como fuerzas impulsoras del cambio en los sistemas integrados, también es válido reconocer el concepto de la escasez de recursos y valorización de desechos.

Al posicionarnos antes de la revolución industrial, los recursos tenían un grado de relativa escasez, lo que provocaba que los desechos fuesen reutilizados y reparados en vez de ser desechados de forma directa. Junto al crecimiento de las ciudades también se generan los recolectores informales, también llamados "Cartoneros". Pese a lo mencionado, el crecimiento de las ciudades provocó que las cifras de reciclaje disminuyeran a menos de un 10% rondando los años 1970's (Wilson, 2007). Una política que permitió reavivar el reciclaje fue la "jerarquía de los desechos", instaurado en el panorama europeo en los años 70's, fundando las bases de la política actual de la Unión Europea. En su origen, esta idea brotó en Países Bajos en el contexto de los rellenos sanitarios, sin embargo, esta proliferó en el área medioambiental.

En el año 1977, el Segundo Programa de acción medioambiental de la Unión Europea impulsó un modelo de gestión de residuos basado en la "Escalera de Lansink", el cual consiste en una jerarquía de técnicas de manipulación de desechos. El recorrido de esta escalera, en este orden, es: prevención, el reuso, reducción, reciclaje, recuperación energética, tratamiento y disposición final. Un antecedente que gatilla la búsqueda de alternativas al relleno sanitario corresponde a la escasez de terrenos disponibles, lo que desvió la trayectoria a técnicas que involucren tratamiento de los residuos (Wolsink, 2010).

Uno de los fenómenos que se detectan en Europa indican que el incremento del reciclaje no necesariamente tiene que ver con el hecho de que existe valor económico al recuperar los materiales, en realidad se hace porque “es lo correcto” (Hirschhorn, Jackson, & Baas, 1993).

La principal debilidad de la perspectiva antes mencionada es que no se hace espacio a la combinación de técnicas, tomando en cuenta restricciones y costos asociados, además de no contar con un fundamento científico o técnico, siendo clave una evaluación al contexto específico en el que se aplica el sistema (McDougall, White, Franke, & Hinde, 2001).

Recientemente, el cambio climático se ha convertido en otra fuerza impulsora para dejar de verter la basura biodegradable de manera indiscriminada, ya que constituye una fuente de emisiones de metano. Por tanto, se ha impulsado el uso de recuperación energética desde los desechos (UN-HABITAT, 2010).

El Cambio climático impulsó, a nivel mundial, la generación de políticas que enfatizan en prevención de los desechos, cumplimiento de objetivos y diversas medidas preventivas. Las principales corresponden a: compostaje, metas de reciclaje, evitar uso de vertederos, prohibición de vertido de materiales reciclables y responsabilidad extendida del productor.

Respecto a los rellenos y vertederos, debido a la descomposición de materia orgánica en condiciones anaeróbica y aeróbica, son la principal fuente de emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Estos últimos aportan al calentamiento global y la degradación de la capa de ozono. En términos aproximados, 1 tonelada de RSM sin clasificar contiene alrededor de 0,3 toneladas de carbono. De esta fracción, 0,2 toneladas se convierten en gases de vertedero, constituidos en su mayoría por CO_2 y CH_4 , aportando cada uno casi la misma cantidad de masa (Serrano-Silva & Sarria-Guzman, 2014). Este aporte de metano a la atmósfera constituye casi la mitad del proveniente de fuentes antropogénicas. Cabe indicar que el CH_4 como GEI tiene un potencial de alrededor de 20 veces por unidad de masa con respecto al CO_2 .

Bajo el mismo contexto, la política de la Directiva de vertederos de la Unión Europea indica disminución en los niveles de materiales biodegradables enviados a los rellenos sanitarios para obtener materiales recuperables y disminuir emisiones de metano (Wilson, 2007). Pese a ello, el impacto que tienen estas medidas a nivel global en el cambio climático es discutible, ya que no se obtiene una ganancia inmediata para la nación al minimizar las emisiones de GEI.

Eliminar el metano de las emisiones de rellenos sanitarios puede tener un efecto sustancial en la disminución del efecto invernadero, sin embargo, de estas emisiones se reporta una filtración de hasta un 60% del metano al ambiente producto de fugas. Por tanto, la prevención del depósito de orgánicos en rellenos es clave para mitigar la generación de metano hacia el ambiente.

La última arista por considerar está constituida por la consciencia pública, especialmente en países de alto nivel económico. Las antiguas estrategias en materia de gestión de residuos, tales como vertederos, botaderos e incineradoras descontroladas, les han dado mala fama a las instalaciones de gestión de residuos. Una consecuencia directa a este fenómeno es el surgimiento de una opinión pública de rechazo, generándose el “no en mi jardín” (Del inglés *Not In My Backyard*, NIMBY). Lo que ha generado un rechazo tal, que provoca un prejuicio que afecta a cualquier método de gestión sin importar la tecnología o grado de sostenibilidad que esta ofrezca. Por tanto, se afirma que cualquier estrategia de gestión de residuos debe ir acompañada del respectivo cambio de comportamiento por parte de la ciudadanía. Las principales barreras que presentan las sociedades involucran el cambio de hábitos, conocimientos, institucionalidades y valores culturales; condiciones que tienen relación con desigualdades de acceso a nivel social (McKenzie-Mohr & Smith, 1999). Cabe destacar que también existen barreras propias a cada método de gestión de residuos, por lo que la transferencia tecnológica de casos exitosos no es sencilla de replicar. Una de las estrategias para mejorar la comunicación y el entendimiento público de los proyectos considera la inclusión de apoyo a los proyectos antes de su implementación, generando diálogos con quienes se oponen, buscando conciliar diferencias mediante la educación de estos actores; de esta forma lograr corregir los malentendidos y desconfianzas que puedan estar sucediendo.

Pese a que la gestión de residuos se reivindicado recientemente, siendo tomada en cuenta cada vez más, el valor de los residuos toma importancia en países en vías de desarrollo ya que genera un medio de vida para los más pobres en sectores urbanos a nivel mundial (UN-HABITAT, 2010). Un recurso clave es el surgimiento del Mecanismo de Desarrollo Limpio bajo el alero del protocolo de Kyoto, este consiste en el desarrollo de proyectos en países en vías de desarrollo, generando créditos de carbono, los cuales son adquiridos por países desarrollados y compensar sus emisiones de CO₂ (Wilson, 2007).

En términos generales, los desechos sólidos generan múltiples problemas en las áreas urbanas.

Los problemas que genera una mala gestión de residuos incluyen:

1. Olores fétidos en sectores cercanos a basurales.
2. Incremento de insectos, microorganismos nocivos y moscas, generando potenciales vectores de enfermedades, agravándose esta situación durante periodos lluviosos, lo que perjudica el ciclo del agua.
3. Animales callejeros buscan comida entre la basura, generando vertido de basuras cerca de contenedores.
4. Sectores con mala higiene se devalúan debido al mal mantenimiento y estética perjudicada (Singh & Ramanathan, 2010).

5. Descomposición de materia orgánica en condiciones anaerobias, formando CH_4 , contribuyendo al efecto invernadero.

3.2 Técnicas para el procesamiento de residuos.

A nivel de técnicas establecidas de tratamiento de residuos sólidos, existe un abanico de opciones. Las técnicas principales son: Compostaje, Tratamientos térmicos, Relleno Sanitario y Reciclaje.

3.2.1 Compostaje.

Los desechos sólidos municipales están compuestos en su mayoría de sustancias orgánicas como desechos de jardín y cocina, siendo estos principalmente de origen vegetal. Esta técnica permite evitar que desechos de la naturaleza antes mencionada acaben en un relleno sanitario. Además, permite obtener a un costo bajo un compost que es útil para la agricultura.

En términos generales, el proceso permite la disminución del volumen de residuos, matando patógenos, reduciendo la posibilidad de brotes de malezas y descompone sustancias malolientes (Jakobsen, 1995).

A nivel general, los procesos biológicos implicados convierten los desechos orgánicos heterogéneos en una sustancia denominada compost o humus, además de generar CO_2 y calor. Una población microbiana realiza su trabajo en condiciones de aireación, humedad y temperatura determinadas. Esta población está compuesta por bacterias, hongos y actinomicetos, los cuales se encuentran en la naturaleza y no requieren ser inoculados. Los desechos admitidos incluyen estiércol, hojas, frutas, vegetales, lodo y cantidades de cáscaras de huevo, entre otros. El compost generado puede ser utilizado como fertilizante natural.

El compostaje más ampliamente conocido corresponde al aerobio, donde los reactivos corresponden a: materia biodegradable, O_2 y H_2O . Se obtienen como productos: calor, CO_2 , H_2O y NH_3 . La mezcla de desechos debe cumplir con una razón másica C/N de 25-30:1 y una humedad entre 40 y 60%. En términos generales, materias celulósicas suministran carbono, mientras que los lodos y desechos alimenticios entregan nitrógeno.

Por otro lado, también existe un tipo de compostaje anaerobio, este genera CH_4 , NH_3 , CO_2 , además de pequeñas cantidades de ácidos orgánicos y gases. Esta técnica se aplica a estiércol animal y lodos de depuradora (Chynoweth, Bosch, Earle, Legrand, & Liu, 1991).

En términos nacionales, el compostaje se encuentra regulado por la NCh 2880, donde define el compost como el producto de este proceso, el cual está constituido en su mayoría por materia orgánica estabilizada, donde no se reconoce su origen debido a la degradación, lo que resulta en partículas negras y finas.

Esta sustancia estabilizada y sanitizada es benéfica para el crecimiento de las plantas, permitiendo que este sea guardado sin más tratamiento, siendo aplicado en la tierra sin daño al cultivo habitante. Si bien se observan emisiones de gases invernadero como el CO₂, esto es parte de lo que considera el ciclo natural del carbón, donde el compost permitirá dar sustento y nutrir vegetales que son capaces de fijar carbón al suelo desde su entorno, lo cual potencia estos ciclos biológicos.

3.2.1.1 Etapas del proceso.

En esta técnica actúan principalmente microorganismos como bacterias, actinomicetos y hongos, funcionando en condiciones aerobias con comportamientos térmicos mesofílicos, termofílicos y termotolerantes.

1. Etapa mesofílica: La materia prima inicia a temperatura ambiente y con pH levemente ácido, ocurriendo la degradación de las fuentes de carbono más biodisponibles tales como azúcares y proteínas, además de los lípidos. El pH se acidifica producto de la descomposición con el paso de días u horas. La actividad microbiana utiliza las fuentes de C y N para crecer, alcanzando temperaturas alrededor de los 40°C. Las primeras sustancias en consumirse son las solubles en agua, alcanzando un pH de 4. En términos de tiempo suele durar de 1 a 3 días, con un máximo típico de una semana. (Keener, Dick, & Hoitink, 2000)
2. Etapa termofílica: Con el incremento de temperatura debido a la actividad de los descomponedores mesofílicos, organismos más adaptados a estas temperaturas comienzan a incrementar su actividad de crecimiento. Los microorganismos termófilos degradan los sustratos disponibles, donde el consumo de las proteínas causa la formación de amoníaco, provocando alza en el pH. Se incrementa el ritmo de crecimiento de la población de microorganismos termofílicos, alcanzando cerca de 60°C. La microbiota corresponde a actinomicetos como *Streptomyces spp.*, bacterias como *Bacillus subtilis* y hongos como *Aspergillus fumigatus*. La higienización toma lugar destruyendo bacterias y contaminantes fecales tales como *Salmonella spp.* y *Escherichia coli*, además de degradar esporas de fitopatógenos (Hassen, 2002). Debido a la convección con el ambiente, ya sea natural o forzada, se logran temperaturas inferiores en el contorno de las pilas de compostaje, por lo que mediante el volteo regular se busca mover el sustrato a degradar al centro de la pila, zona de mayor temperatura.
3. Enfriamiento: Después de que las fuentes de carbono más fáciles de degradar han sido consumidas en su mayoría, polímeros orgánicos más grandes como la lignina y la celulosa son degradados. Los organismos mesófilos vuelven a activarse, con la respectiva disminución del pH pero leve. Esta etapa dura típicamente hasta 12 semanas (Martinez, Gutiérrez, & Novo, 2011).

4. Maduración final: A temperatura ambiente toman lugar polimerizaciones y condensación de compuestos carbonados, formando complejos lignino-húmicos: aldehídos fenólicos, ácidos, polifenoles y quinonas. Luego, debido a la actividad principalmente de hongos, se obtienen productos como humus insoluble en agua, ácido fúlvico de solubilidad acuosa a cualquier pH y ácido húmico que es soluble en agua en condiciones básicas. (Martínez, Gutiérrez, & Novo, 2011)

Siempre existirán sustancias que, en bajas cantidades, no han sido degradados al terminar el proceso, lo que provoca (Román, Martínez, & Pantoja, 2013):

- Baja concentración de oxígeno disponible para las plantas: causada por microorganismos que consumen oxígeno, perjudicando a las plantas debido a la madurez incompleta de esta enmienda de suelos.
- Escasez de nitrógeno: producto de una alta relación C-N, los microorganismos incrementan su crecimiento debido a la disponibilidad de carbono, al mismo tiempo que utilizan el poco nitrógeno consumible, empobreciendo los suelos.
- Toxicidad: concentraciones elevadas de amonio pueden dar lugar a emisión de amoníaco. Este producto genera un medio que perjudica el crecimiento de las plantas y provoca malos olores. Además, la alta cantidad de amonios y nitratos son potenciales contaminadores de aguas. La mayor concentración de nitrato provoca frutos de calidad inferior, presentando malos tiempos de postcosecha y ablandamiento de estos frutos.

3.2.1.2 Sistemas disponibles

3.2.1.2.1 Pila con volteo

Se vierten los desechos en pilas largas y delgadas de 1,8 m de alto y 3,6 m de ancho mientras sea necesario, convirtiéndose en una de las técnicas más sencillas. La humedad y porosidad del material son factores que pueden condicionar el flujo de oxígeno que requiere esta técnica. Para favorecer estas condiciones, se tritura la materia prima. De esta forma se consiguen pilas de volteo más grandes, siempre que se controle la humedad y densidad en valores bajos. Por el contrario, pilas muy pequeñas pueden causar pérdidas de calor considerables, impidiendo la eliminación de semillas de malezas y patógenos.

Como su nombre lo indica, se realiza volteo del material con la finalidad de mejorar la oxigenación de la pila, junto con liberar calor mediante la evaporación de agua y vapores, además de permitir un mejor mezclado y liberación de gases, favoreciendo los poros que van mermando debido al asentamiento y descomposición.

Con esta técnica se alcanza un fertilizante final en cerca de 6 semanas.

3.2.1.2.2 Pila aireada estática

Permite la formación de grandes pilas de desechos mediante la inyección de aire por medio natural o forzado, siendo tan grandes como 3,6 m de alto. Es posible crear una pila e ir instalando otras de manera individual y secuencial, así como celdas simultaneas que trabajan en un compostaje por lotes. Para el caso de aireación forzada, el control de temperatura se utiliza un sensor que controla un soplador, permitiendo obtener una aireación regulada por este recurso.

Para facilitar la comprensión, si se observa la Figura 6, se puede apreciar las cañerías que están instaladas dentro de la pila, permitiendo un mayor ingreso de flujo aire y oxigenación, permitiendo reducir los tiempos de compostaje.



Figura 6: Pila estática con aireación pasiva.

Al observar la Figura 7, se aprecian cañerías que desembocan el aire al interior de las pilas, con la diferencia de presentar un soplador que inyecta aire desde el ambiente, favoreciendo aún más la oxigenación para el compostaje. Mediante un sistema manual o temporizador se activa el soplador, permitiendo la aireación de las pilas sin necesidad de voltearlas, requiriendo menos cuidados en términos de mano de obra y maquinaria pesada.



Figura 7: Pila estática con aireación forzada.

3.2.1.2.3 Compostaje sistema cerrado

Existen múltiples sistemas de contenedores o reactores, permitiendo la aceleración del procesos de descomposición. La principal ventaja es la capacidad que tienen de satisfacer tanto el mezclado, control de temperatura, olores y aireación. Como desventaja, requiere un dominio técnico a nivel de operación y mantenimiento, por lo que suele ser una de las tecnologías más costosas. Cabe mencionar que también ofrece un mayor rango de calidad a obtener en el producto, según la calidad de control que se ejerza en las variables de proceso ya indicadas.

En términos generales, se detectan 2 tipos principales: Lecho agitado y flujo pistón. Estos presentan tiempos de retención de entre 1 y 2 semanas, con un periodo de madurez de entre 4 y 12 semanas (Henao & Márquez, 2008).

3.2.1.2.4 Lombricultura

Esta técnica adiciona el uso de lombrices, estos invaden los lodos de depuradora y otros desechos orgánicos. En particular, la especie *Eisenia foetida* ha sido considerada una de las más versátiles, adaptándose a estiércol, papas, desechos de porcinos y ganado. Esta puede ser observada en la Figura 8. La perspectiva tradicional involucra la generación de suplementos de suelos, también se usan como fuente de proteína para cerdos, aves y peces. La especie de lombrices indicada previamente trabaja a temperatura inferiores a 35°C, pH de 5 y no consume desechos con alto contenido de amoníaco. Requiere mayor área que el compostaje tradicional y mayor cantidad de mano de obra para gestionar el crecimiento de las lombrices (Rorat & Vandembulcke, 2019).



Figura 8: *Eisenia foetida*, lombriz en proceso de lombricultura

Una planta de compostaje debe considerar una serie de áreas para su instalación, tanto para el preprocesamiento, tratamiento como para la clasificación final (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1993). Las secciones por considerar son:

1. Recepción: Zona donde se regulan el ingreso de los camiones, los cuales pueden ser alimentadores de materia prima y repartidores de producto final.
2. Báscula: Equipo que permite estimar la cantidad de residuos que ingresan a la faena y el compost entregado como producto. Existen alternativas digitales y análogas.
3. Patio de Recepción y clasificación: Zona donde se vierten los residuos por parte de los camiones de aseo.
4. Patio de Compostaje: Zona donde la materia prima reacciona biológicamente.
5. Tratamiento final y almacenamiento: Lugar donde se tamiza el producto final con el objetivo de discriminar las calidades obtenidas, para luego generar acumular los inventarios según su respectiva clasificación en un lugar techado, permitiendo preservar las características obtenidas.
6. Otros: Oficinas, casinos, camarines y sanitarios para el personal que trabajará al interior de las instalaciones. Esta contará con una unidad de laboratorio para estudiar las características de la materia prima a lo largo del proceso.

Respecto a la gestión de lixiviados, existen estudios que comprueban el uso de lixiviados provenientes de compostaje como fertilizantes minerales (Romero, Ramos, Costa, & Márquez, 2013). Sin embargo, existen también reportes que indican fitotoxicidad (Caceres, Magri, & Marfà, 2015). De esta evidencia se desprende que para utilizar este líquido es necesario mayor investigación.

3.2.2 Tratamientos térmicos

3.2.2.1 Incineración

Esta técnica involucra combustionar los desechos a alrededor de 1000°C, generando una recuperación energética, disminuyendo hasta en un 90% los volúmenes depositados. La mayor disminución se observa en desechos constituidos por materiales de envases, celulosa, desechos orgánicos y plásticos. Esta técnica es preferible siempre que se recupere energía, ya que de lo contrario el costo y contaminación no logran compensar con respecto a un relleno sanitario. Nótese que la quema de basura de manera indiscriminada, a cielo abierto o de manera descontrolada es totalmente desaconsejable debido a la contaminación que generan al ocurrir a una temperatura baja.

Los costos de inversión dependen de la cantidad anual de toneladas a tratar, siendo el valor mínimo cercano a los 600 U\$ por tonelada (Waste to Energy International, 2019).

3.2.2.2 Pirólisis y gasificación.

Tecnología que involucra el calentamiento a condiciones controladas de presión y temperatura con bajas cantidades de oxígeno, obteniendo según el punto de operación y la composición de los desechos una fase de combustibles gaseoso, sólido carbonizado y alquitranes (Basu, 2010).

En particular, la gasificación transforma los desechos orgánicos en gas de síntesis (H_2 y CO , principalmente). Por otro lado, la pirólisis obtiene productos sólidos, líquidos y gaseosos. Una de las razones por las que son difíciles de realizar, especialmente en países en vías de desarrollo, es el alto costo del equipamiento, alcanzando un costo de inversión por capacidad de procesamiento anual de entre 120 y 400 euros por tonelada (Ringer, Putsche, & Scahill, 2019). Además, en ambos procesos se emiten gases de efecto invernadero, generando la pirólisis también efectos como desertificación, acidificación y pérdida de biodiversidad.

3.2.3 Relleno Sanitario

Es habitual que las ciudades desarrollen de manera casi espontánea botaderos y vertederos con una mala gestión y control, causando condiciones precarias y de riesgo para la salud de la ciudadanía. Uno de los fenómenos detectables en ciudades costeras es la lixiviación de metales a las aguas de sus mares (Gupta, Krishna, Prasad, Gupta, & Kansal, 1998). Por ello surge la idea de generar un sistema que ofrezca mayor control en los gases y lixiviados emanados por parte de los desechos acumulados, para ello se utilizan sistemas para sellar estos rellenos, monitorear y captar los contaminantes emanados. El objetivo principal de estos es no contaminar el medio, para ello se aísla la basura en celdas impermeables.

Es importante tener en cuenta que es una técnica indispensable, ya que el resto de las alternativas suelen generar nuevos residuos, aunque en menor cantidad. Además, la promoción de la reducción de origen no garantiza la desaparición total de los residuos. Su aplicación debe minimizar el impacto ambiental, espacio físico y los vertidos, además de maximizar el aprovechamiento de los residuos.

La falta de seguridad y hermeticidad en los sistemas pueden generar una serie de problemas, similares a los de un vertido incontrolado, tales como:

- Peligros sanitarios: vectores de enfermedades.
- Riesgo de incendios: Gases de vertedero, Compuestos orgánicos volátiles, disolventes y otros puede resultar combustibles a temperatura ambiente.
- Contaminación de aguas subterráneas: la percolación de lixiviados hacia aguas superficiales mediante escorrentías puede causar que metales pesados contaminen nuestras aguas. Estos pueden provenir desde productos tóxicos, baterías y otros artefactos electrónicos.
- Impacto ambiental: La dispersión de contaminantes por el aire puede resultar en acumulación de gases de efecto invernadero, además de malos olores.
- Desplazamientos de terreno: producto del acomodamiento de los terrenos y basura vertida, es posible que existan desplazamientos que podrían resultar o no en accidentes.

4.2.3.1 Sistemas disponibles

El vertido controlado a través de relleno contempla múltiples métodos, a continuación, se nombran los más importantes:

3.2.3.1.1 Celda o zanja excavada.

Se emplea en lugares donde se dispone de profundidad adecuada para cobertura y donde el nivel freático se encuentra alejado de la superficie. Se ubican los residuos sólidos en celdas o zanjas que han sido excavadas en el suelo. Posteriormente, se utiliza la misma tierra para cubrir de forma diaria. Se suelen sellar con alguna arcilla de baja permeabilidad y/o membrana sintética, de manera de obstaculizar el paso de líquidos y gases nocivos hacia el medioambiente. En la Figura 9 es posible observar un ejemplo de una celda de este tipo, mostrando su estado final.

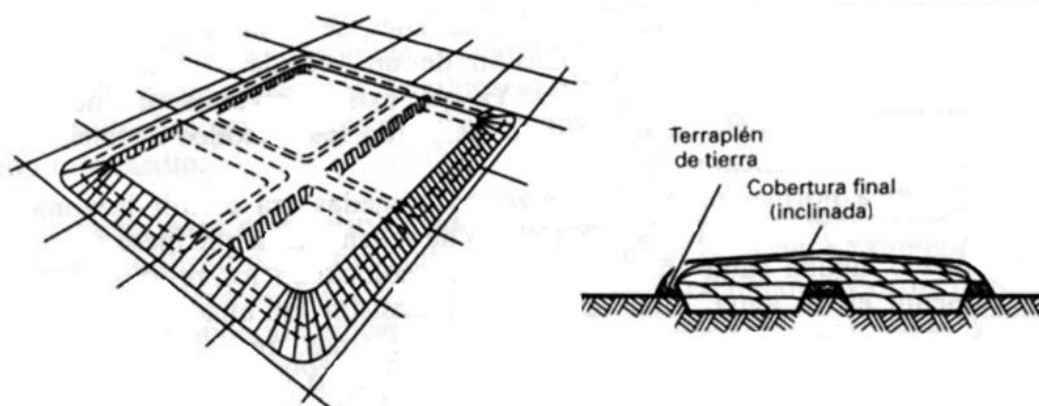


Figura 9: Relleno sanitario por celda excavada, vista en perspectiva.

3.2.3.1.2 Método de zona.

Debido a las condiciones del terreno no siempre es posible excavar, por lo que se instala un revestimiento para el control del lixiviado y se vierte los desechos sobre ellos, formando una capa celda que debe ir cubierta con material desde relleno suplementario o adyacente. En la Figura 10 se observa la geometría que posee este tipo de relleno.

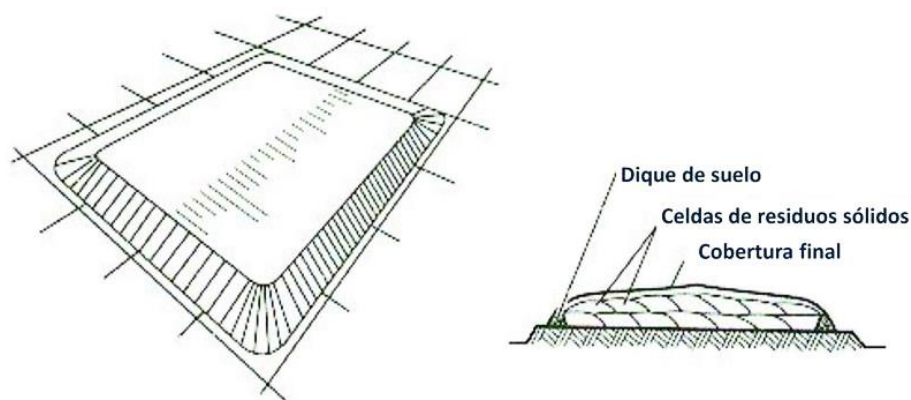


Figura 10: Relleno sanitario por método de zona.

3.2.3.1.3 Método de depresión o vaguada.

En esta metodología se emplean barrancos, vaguadas, fosas de relleno suplementario y canteras para el vertido. Esta técnica se adapta a diferentes tipos de terreno e hidrología. Para facilitar la comprensión, observar la Figura 11.

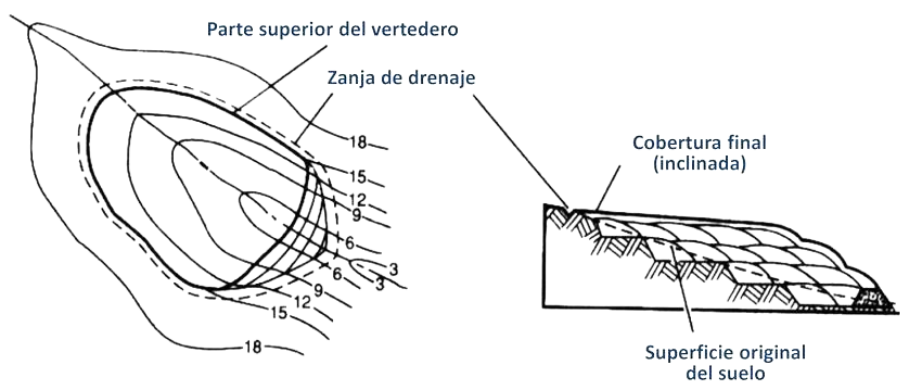


Figura 11: Relleno sanitario por método de depresión.

3.2.3.2 Elementos de un relleno sanitario

En términos globales, un relleno sanitario se divide en volúmenes de material depositados por un periodo de explotación, generalmente diarios, denominados celdas. Estos poseen una capa de cobertura diaria de 15 o 30 cm que le permite aislar la celda del exterior en términos de minimizar el impacto al medioambiente. El material seleccionado generalmente se transporta de un lugar cercano para reducir costos.

3.2.3.2.1 Cubertura diaria.

Aplicación de una capa de material natural o alternativo al término de un periodo de operación. Esta debe cumplir los siguientes objetivos:

- Regular el vuelo de materiales residuos.
- Evitar y prevenir el flujo de vectores sanitarios.
- Controlar el afluente de lixiviados hacia el ambiente.

3.2.3.2.2 Nivel

Una vez que se completa una capa de celdas se obtiene un nivel, siendo la conformación de múltiples niveles, siempre considerando un último nivel capa de cobertura.

3.2.3.2.3 Terraza o Berma

Al tener un relleno sobre 125 cm, se vuelve necesario estabilizar la pendiente del relleno, localizando canales para drenar el líquido acuoso y la instalación de tuberías para la recuperación del gas de vertedero.

3.2.3.2.4 Capa final de cobertura

Una vez terminadas las operaciones de vertido es necesario generar una capa de cobertura en toda la superficie del vertedero. Para ello se seleccionan materiales que incluyen tierra y geomembranas, la idea es drenar la superficie, interceptando las aguas filtradas, aplicando múltiples capas.

3.2.3.2.5 Recubrimiento de vertedero.

Materiales de múltiple naturaleza se ocupan para impermeabilizar el fondo y superficie lateral al relleno. Para ello, se utilizan geomembranas y arcillas compactadas.

3.2.3.2.6 Lixiviados

Corresponde al líquido que resulta de la precipitación y flujos acuosos que ingresan al relleno. Además, pueden estar constituidos por agua subterráneas o incluso aguas contenidas en la humedad de los residuos depositados. La composición presente se ve afectada por los compuestos solubles disponibles en las sustancias vertidas, junto con las reacciones químicas y biológicas que toman lugar dentro del relleno. A nivel de estudios de residuos biológicos, una de las mediciones habituales corresponde al análisis de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO). Estudios indican que la relación entre DBO_5/DQO varía desde 0,7 a 0,04, donde va decreciendo a medida que el relleno envejece (Renou, Givaudan, & Poulain, 2008). Por el contrario, la concentración de nitrógeno amoniacal incrementa.

3.2.3.2.7 Gas de vertedero

El gas formado está constituido en su mayoría por CH_4 y CO_2 , siendo la fuente de estos la descomposición anaerobia de la materia orgánica biodegradable que está contenida dentro del relleno. La Figura 12 muestra cualitativamente el comportamiento de las concentración de la especies químicas más significativas dentro de un vertedero a lo largo del tiempo.

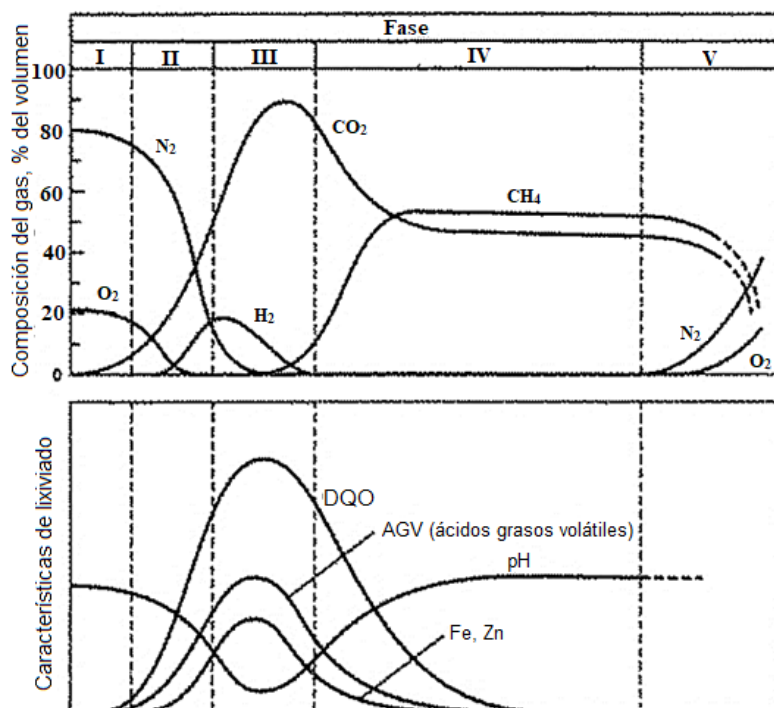


Figura 12: Fases de descomposición de materia orgánica en relleno o vertedero. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1993)

Las fase de descomposición de la fracción orgánica al interior del relleno sanitario se agrupan en cinco etapas, que se describen:

1. Ajuste inicial: Debido a la cantidad de oxígeno atrapada en los intersticios del relleno es que ocurren descomposiciones microbianas aeróbicas.
2. Transición: Al disminuir la concentración de oxígeno comienzan a desarrollarse condiciones anaerobias; sulfatos y nitratos se reducen a gas nitrógeno y sulfuro de hidrógeno, el pH decae debido a la formación de ácidos grasos volátiles (AGV) y la generación de CO_2 .
3. Fase ácida: La actividad microbiana va al alza, incrementando la producción de AGV, mayor cantidad de CO_2 es producido, lo que causa disminución del pH.
4. Fermentación metanoica: los ácidos orgánicos se convierten en CH_4 y CO_2 mediante microorganismos metanogénicos, lo que causa un incremento en el pH del relleno.

4.4.1.1.1 Reinserción de relleno clausurado

Una vez que un vertedero o relleno es clausurado, es clave realizar el correcto plan de cierre que involucre la correcta cobertura final, de manera de asegurar la minimización de la contaminación del medioambiente con las sustancias ahí acumuladas. Estas medidas deben tener en consideración el hecho de que, en el interior del sitios de disposición final, existirá actividad biológica producto de la

degradación de la materia orgánica y otras sustancias, lo que acumulará nuevos compuestos, incluyendo gases de vertedero. Debido a esto último, en múltiples partes del mundo se instalan unidades recuperadoras de gases de vertedero, donde el gas rico en metano es combustionado para obtener energía eléctrica y generando CO₂ (US-EPA, 2019). Esta medida busca reducir el efecto invernadero que trae este gas a uno de menor efecto, al mismo tiempo que se liberan los gases acumulados que podrían constituir un peligro a nivel de estructura como de los alrededores de esta producto de una combustión incontrolada. Además de considerar lo anterior, es necesario tener en cuenta que estos depósitos son hectáreas de suelo que podrían resultar útiles para otro tipo de actividades, por lo que el estudio de las alternativas disponibles para su reinserción a la comunidad son clave.

En el contexto de recuperación de la superficie de los vertederos, es que surgen las coberturas de contacto. Estas consisten en barreras biológicas que impiden la intrusión de animales o vegetación. Suele ser aplicado a zonas donde se ha vertido contaminantes orgánicos o metálicos (Office of Superfund Remediation and Technology Innovation, 2019) . Dependiendo del objetivo establecido, puede ser de concreto, tierra, asfalto u otros.

Otra alternativa es la instalación de centrales eléctricas solares o eólicas. Dependiendo de las condiciones ambientales y de madurez del vertedero, pueden tomarse medidas de cobertura y estabilización estructural para habilitación de algún tipo energía renovable no convencional. En la Figura 13 se muestran paneles solares ubicados sobre un relleno sanitario.



Figura 13: Granja solar de 1,48 MW sobre el relleno Box Canyon, base Marina campo Pendleton, California.

Las coberturas de geomembrana solar son también una opción que permite convertir la energía solar en energía eléctrica. Estos combinan membranas para la gestión de los gases de vertedero, que

también son recuperados para su valorización energética. En su superficie cuentan con paneles fotovoltaicos que están enlazados a la membrana.

Otras alternativas a destacar son:

- Cosecha de semillas para reforestar otros lugares
- Habilitación de espacios verdes para la vida natural, sea preservación o recreación.
- Desarrollo de agricultura.

En términos generales, se recomienda maximizar el uso de materiales del propio sitio en vez de tierras externas, además de considerar el uso de materiales reciclados y biodegradables, según corresponda su función. Finalmente, ser riguroso en términos de la inspección del sistema de cobertura resultante, empleando técnicas de monitoreo a distancia, explorando también posibilidades de alianzas que permitan facilitar esta tarea.

3.2.4 Reciclaje

El reciclaje se define como el proceso de convertir los materiales de desecho en nuevos materiales y objetos. Su aplicación permite aprovechar múltiples materiales como materia prima, disminuyendo el consumo de materiales vírgenes. En consecuencia, se disminuye el consumo de energía, contaminación del aire y contaminación del agua.

El reciclaje constituye uno de los componentes clave en materia de jerarquía de los desechos. Su importancia ha sido impulsada por la política 3R: Reducir, Reutilizar y Reciclar. En el ámbito de estándares, existen ISO para el reciclaje de desechos plásticos (ISO 15270:2008) y control de gestión medioambiental del reciclaje (ISO 14001:2015) (Lienig & Bruemmer, 2017). Cabe destacar que la reutilización de materiales biodegradables y el compostaje también constituyen un tipo de reciclaje. Existe procesamiento de múltiples materias de desecho, tales como cartón, metal, plástico, vidrio y papel.

Captar o recolectar los desechos para su reciclaje no es una tarea simple, pero surgen diferentes corrientes principales para esta función (Murphy, 1993):

1. Centros de devolución: Necesitan que el productor de desechos lleve los respectivos materiales a un centro local, pudiendo ser este móvil, fijo o una planta reprocesadora de forma directa. Una de sus principales debilidades es la dificultad de predecir la cantidad de desechos a recibir.
2. Centros de recompra: En este caso se ofrece un incentivo económico, donde se le paga por unidad a quien trae los desechos, generando una mayor estabilidad en el suministro de estos. Una máquina recibe y acumula los desechos según su tipo para poder vender grandes

volúmenes a una empresa que los reprocese. Generalmente, se generan mediante subsidios del Gobierno, lo que permite la viabilidad económica de estas instalaciones.

3. Recolección en la acera: Esta clasificación es la más amplia, siendo una característica transversal es la clasificación y limpieza de los desechos, pero su posición en el proceso puede ser muy variable. El caso más descuidado sería la recolección tradicional de desechos mediante vehículos sin clasificación alguna de los desechos, lo que requiere una operación de clasificación manual. Otra alternativa sería el sistema de una corriente de todos los reciclables separados del resto de desechos, lo que minimiza la necesidad de limpieza posterior a colección, pero también requiere una fuerte actividad educativa para que la ciudadanía sepa cuales son los materiales reciclables.
4. Separación desde origen: Los materiales son limpiados y clasificados para su recolección. Permite obtener materias de reciclaje más puras, pero involucra mayores costos operacionales al momento de recolectar, además de programas para educar la ciudadanía.

3.3 Referentes mundiales.

En términos globales, desde la OCDE se emana información que afirma que, al año 2017, los países integrantes de este conglomerado generaron un 11% más de residuos urbanos con respecto a 20 años atrás. Respecto al reciclaje, la fuente ya mencionada señala un 36% de reciclaje anual de los 675 millones de toneladas de residuos urbanos. Los países miembros y líderes en reciclaje-compostaje corresponden, de mayor a menor, a: Alemania (68%), Corea del Sur (59%), Eslovenia (58%), Austria (58%), Bélgica (55%), Suiza (51%), Suecia (50%), Países Bajos (50%), Luxemburgo (48%), Islandia (45%), Dinamarca (44%) y el Reino Unido (43%).

Respecto a **Alemania**, en el año 1950 contaban con 50.000 rellenos sanitarios, cifra que en 2016 ronda los 300 sitios, cuya admisión prohíbe la basura sin clasificar. Previamente, en 2005, prohibieron los vertederos. El Instituto de Negocios de Alemania estima un ahorro de hasta 3,7 miles de millones de euros anuales a partir del reciclaje y la energía que generan con sus desechos. El procesamiento de desechos ya les permite ahorrar en un 20% en el costo de metales y 3% en costos de importación energética.

La perspectiva de los inversionistas alemanes es valorar la gestión de residuos como una oportunidad de negocio, el cual ha dirigido al sector a un crecimiento económico (How to Germany, 2019).

Sus alternativas para la gestión de residuos involucran: 70 incineradoras, 60 centros de procesamiento mecánico-biológico y 800 compostadoras.

El sistema de puntos verdes fue propuesto por los alemanes, siendo imitado en el resto de la Unión Europea y considerado un gran ejemplo para la Responsabilidad Extendida del Productor. Este sistema se sustenta en el pago de los productores y vendedores por la gestión de los envases de sus productos, propiciando la minimización del uso de envases, lo que a la larga provocó una disminución en la cantidad de desechos.

Bélgica es otro ejemplo europeo en materia de gestión de residuos. Una de las medidas más novedosas que han impulsado corresponde al “Ecolizer”, este corresponde a una página web que permite realizar una evaluación del impacto ambiental a nivel de diseño y producción de bienes. Este modelo toma en cuenta el procesamiento, transporte, consumo energético y gestión de desechos, permitiendo generar una sensibilización con respecto al uso de los materiales a nivel de diseño de productos.

Otra gran herramienta digital belga es la guía de evaluación de evento verde. Su uso permite estimar el impacto ambiental que tiene un evento, promoviendo el uso de materiales reutilizables y facilitando las prácticas amigables con el medioambiente, fortaleciendo los negocios de este tipo.

Austria también destaca, no sólo en materia de separación de desechos y disminución de rellenos sanitarios, sino además con innovación a través de bio-ingeniería para el reciclaje de plásticos. Mediante el uso de enzimas fúngicas descomponen el PET en monómeros, permitiendo obtener materia prima para nuevos polímeros.

La política de gestión de residuos de **Suecia** es un caso digno de análisis. Reciclan tanta basura que son capaces de procesar la de otros países, disponiendo menos del 1% de sus basura en rellenos sanitarios. Existen 32 plantas de gestión de residuos, produciendo calor mediante incineradoras para alrededor de 800.000 casas a través de la red nacional de calefacción, haciendo frente al crudo invierno que los caracteriza. De lo anterior se afirma que son un país muy centrado en el “Waste-to-Energy”, es decir, combustión de residuos para recuperación energética.

3.4 Referentes Nacionales.

En nuestro país las municipalidades tienen la opción de someterse al sistema de certificación ambiental municipal (SCAM). Este sistema voluntario holístico de tipo voluntario, permitiendo que las municipalidades se certifiquen como modelo de gestión ambiental, lo que involucra aspectos como infraestructura, personal, orgánica municipal, gestión interna, entre otros (Ministerio del Medio Ambiente, 2014).

Cabe destacar que el desarrollo de la Certificación Ambiental Municipal se relaciona con la construcción de un proceso cuyas bases están en el gradualismo y realismo, lo que implica la toma de medidas y cumplimientos de manera de ir alcanzando metas en el largo plazo con el objetivo satisfacer los requisitos de certificación, lo que les permite ser distinguidos según lo amerite su gestión.

La certificación ISO 14.001 y EMAS establecen los parámetros ambientales que buscan incentivar la instalación de la Gestión Ambiental Local en las municipalidades, entregándole validez a su desempeño, desde el inicio de su carrera ambientalista en vías de alcanzar la certificación de excelencia. Por lo tanto, SCAM permite fomentar la participación pública y la transparencia de los actos de la administración municipal.

Este proyecto inició el año 2009 con tres municipios piloto: María Pinto, Melipilla y Calera de Tango. Al año 2014 más de 130 municipios se encontraban participando, con 103 que ya han recibido alguna certificación. Las certificaciones recibidas pueden ser: básicas, medias o de excelencia.

3.4.1 La Pintana

Desde el año 1995 adoptan un modelo de gestión ambiental a nivel local, generando en primera instancia el Plan de Desarrollo Comunal Sustentable, también denominado Plan Director, cuyo objetivo es generar ordenamiento y planificación ambiental en el territorio, regulando el uso de terrenos de fines habitacionales y produciendo reservas urbanas protegidas. Con la llegada el siglo XXI surge la idea de “Desarrollo Sustentable de la Comuna”, creándose una Dirección de Gestión Ambiental (DiGA). Una de las principales problemáticas que sufría la comuna corresponde a la mala disposición de RSM, llegando a sitios eriazos, perjudicando la salud y la calidad de vida de sus habitantes. Esta comuna se centró en producir una gestión integral de los residuos, abarcando reducción, reutilización y reciclaje, permitiendo que el retorno de las sustancias a la misma comuna. En este contexto, los programas que ejecutó la comuna fueron:

- 1) Programa de separación en origen.
- 2) Programa de recolección diferencial.
- 3) Programa de silvicultura urbana.
- 4) Programa de compostaje y lumbricultura.
- 5) Programa de recuperación de aceite, más la reutilización de restos de poda e inversión de los ahorros.

Debido a lo anterior, La Pintana está dentro del SCAM como una comuna con certificación de excelencia. En lo que respecta a la planta de compostaje, al año 2006 reporta el procesamiento de 900 toneladas anuales de ferias libres, 500 camionadas de residuos de podas y talas de áreas verdes y 300 toneladas anuales de residuos vegetales, alcanzando una producción de compost de 360 m³ al año. Este producto lo aplican para estadios, bandejes y parques.

Mediante el compostaje, son capaces de ahorrar 20 millones de pesos anuales debido a la reducción de desechos que van al relleno sanitario y el ahorro en compra de fertilizantes (Córdova, 2006).

El grado de importancia que ha alcanzado el caso de este municipio metropolitano, que se le destaca a nivel internacional (Altman, 2016).

A continuación, se hace un desglose de las aristas a considerar para la aplicación de la gestión de la Pintana (Altman, 2016):

Métodos:

- ✓ Análisis del sistema de desechos existentes, con la respectiva caracterización de origen, identificando diferentes fuentes de desechos.
- ✓ Generar un programa centrado en las corrientes de desechos más que en las fuentes.
- ✓ Mediante el uso de la infraestructura existente, se impulsa en diciembre de 2005.

Publicidad, educación y concientización:

- ✓ Campañas de comunicación con los habitantes con trabajadores en terreno, tales como estudiantes o recién graduados en el área del medioambiente, haciendo énfasis en la separación en origen. Estas pueden extenderse siempre que se cuente con el financiamiento respectivo.
- ✓ La dirección de medioambiente suministro educación ciudadana, consolidando la relación entre ciudadanos y municipio.
- ✓ Para destacar el papel del proceso de compostaje, se realizan “Eco Tours”, permitiendo transparentar lo que se realiza en las instalaciones, incitando buenas prácticas nivel de hogar.

Recolección de desechos:

- ✓ Se les entrega a los residentes contenedores de 35 litros para sus desechos de frutas y verduras.
- ✓ El sistema de recolección fue modificado, manteniendo colección de desechos 6 días a la semana, pero siendo 3 de los 6 de recolección exclusiva de orgánicos.
- ✓ Se reprograman las rutas de recolección, sin incrementar los costos de colección.
- ✓ Se admiten sólo desechos de frutas y verduras, teniendo esto relación con el bajo nivel socioeconómico de la comuna, donde el resto de los desechos son minoría.
- ✓ Contenedores de 650 litros para los residuos vegetales generados por ferias libres.

Proceso de compostaje:

- ✓ Procesamiento de 44 toneladas diarias de fracción orgánica, lo que incluye mantenimientos diarios de las áreas verdes, residenciales y desechos de ferias libres.
- ✓ La planta de tratamiento está ubicada dentro de la comuna, utilizando 7.500 m².
- ✓ El procesamiento de desechos se realiza a través de 2 instalaciones: sitio de compostaje de 5.000 m², procesando 18 toneladas diarias. Sitio de lombricultura con más de 100 lombrices (*Eisenia Foetida*) que utiliza alrededor de 2.000 m², alcanzando 20 toneladas diarias.

Calidad y uso de producto:

- ✓ Las impurezas alcanzan un valor de 0,04%, constituidas por bolsas plásticas y restos animales.
- ✓ Compost y humus de alta calidad son producidos dentro de la planta.
- ✓ Compost gratuito es entregado a los residentes, además de suministrar fertilizante a los viveros comunales, favoreciendo las áreas verdes.

Aspectos financieros:

- ✓ Los residentes deben pagar mediante un sistema de impuestos locales, los negocios pagan en proporción a las cantidades desechadas, las ferias libres deben gestionar sus propios sistemas de colección.
- ✓ El 80% del presupuesto de la Dirección de Gestión Ambiental para transportar y disponer los desechos sólidos.
- ✓ La planta original involucraba pequeñas pilas que contenían lombrices. Luego, al desarrollarse el programa se adicionaron nuevas pilas y las lombrices se reproducen normalmente.
- ✓ Producto del cambio de recorrido en el transporte de los desechos, los desechos orgánicos se ahorran 22 km de distancia con respecto al vertido en relleno. La distancia es disminuida, en consecuencia, se disminuyen los costos.
- ✓ Uso de biodiesel fabricado por la municipalidad como combustible de sus camiones permite un ahorro diario de cerca de 100 dólares.
- ✓ La Alianza Global para las Alternativas a la Incineración estima un ahorro diario de cerca de 750 dólares en costos de disposición mediante un nuevo sistema.

Inconvenientes:

- ✓ La participación es baja, ya que alrededor del 20% de los desechos orgánicos es revalorizada, con énfasis en incrementar participación mediante la contratación de más trabajadores involucrados.
- ✓ Malas experiencias disuaden a los vecinos de reciclar. Además, la falta de espacio requerida para múltiples contenedores termina por agotar los esfuerzos.

Beneficios adicionales:

- ✓ El incremento de las áreas verdes disponibles a la comunidad mejora la calidad de vida.
- ✓ La Pintana posee también una planta de acolchado, vivero y un programa “silvicultor urbano”.

- ✓ Diariamente se recolectan cerca de 1000 litros de aceites usados, los que son convertidos en biodiesel y empleados en los camiones existentes.
- ✓ El municipio ha recibido reconocimientos por sus logros, obteniendo el premio “AVONNI” el año 2010, el cual retribuye la innovación.

Lecciones aprendidas:

- ✓ Las evaluaciones previas a nivel municipal llegaron a que la mayoría de los desechos corresponden a orgánicos, lo que resaltó la idea de aprovechar un recurso para obtener un ingreso o reducir costos. Luego, se centraron los esfuerzos en identificar el tipo de desecho más que en identificar al productor.
- ✓ La localización de la planta de compostaje no tan alejada para minimizar inconvenientes en el transporte.
- ✓ El análisis del contexto comunal permitió llegar de manera eficiente a los recursos disponibles, fijando metas claras.

3.4.2 María Pinto

María Pinto es una comuna rural de la región metropolitana de alrededor de 400 km² cuya población es de 12.500 habitantes (INE 2012). Al año 2012 contaban con un sistema de reciclaje que involucra a cerca de 3.000 viviendas, alcanzando una cobertura del 40% de los residuos sólidos municipales. Cuentan con un sistema de recolección segregada de residuos reciclables y orgánicos compostable. Mediante una alianza con una familia comunal con un emprendimiento de plásticos y similares, entregan bolsas para la segregación por parte de los vecinos, distinguiendo 3 categorías: Reciclables, orgánicos y descartables.

La recolección se lleva a cabo una vez por semana, destinando los desechos orgánicos a pilas de compostaje.

3.4.3 Peñalolén

Esta comuna tiene un EcoParque de 2200 m², operando como módulo de Centro de Educación Ambiental e Investigación. Sus orígenes se remontan al año 2010, donde nace inspirado por el sistema ya comentado en La Pintana. Sin embargo, entró en funcionamiento recién el año 2015. El proyecto está bajo la guía de la Universidad Adolfo Ibáñez, contando con la cooperación de Metrogas, Aguas Andinas y COPEC. El año 2016 recibió el Premio Nacional de Medio Ambiente, contando con un sistema de operación de excelencia. Para la UAI este centro constituye un aporte a generar estudios que permitan impulsar la economía circular. Para ello, se emulan condiciones de ecosistemas naturales y se estudian las actividades químicas y biológicas para producir recursos dentro del sistema.

De lo anterior se indica que su funcionamiento ha sido gracias a las alianzas que permiten encaminar y poner en marcha un proyecto de este tipo.

Actualmente cuenta con:

- Huerto orgánico.
- Lombricultura.
- Compostaje.
- Vivero e invernadero.
- Biodigestor y biodiesel.
- Talleres educativos.

Desde la UAI emanan las siguientes proyecciones:

- Cada año se espera la producción de 25.000 plantas, 650 toneladas de residuos tratados, 262 toneladas de compostaje, 3,4 toneladas de humus de lombriz, 9.490 m³ de metano, los cuales equivalen a 51.288 kWh de electricidad y 73.268 kWh horas de calor
- Hasta \$ 68 millones se obtendrán en promedio como ingreso por la venta de compostaje, humus, biogás y biocombustible.
- Unas 43.636 personas por año se educarán en los diversos programas que ofrecerá este centro. Adicionalmente, se ofrecerá educación a más de 15.000 estudiantes de escuelas y colegios de Peñalolén y otras comunas.

Capítulo 4 Conceptos Legales.

4.1 Tipo de residuos

De acuerdo con la normativa chilena, es posible clasificar los residuos según sus características o su origen.

Bajo el criterio de características, existen tres tipos de residuos:

1. Residuos Peligrosos: Presenta riesgo para la salud pública y/o medio ambiente.
2. Residuos No Peligrosos: No presenta riesgo para la salud pública ni medio ambiente.
3. Residuos Inertes: Residuo no peligro que no experimenta variaciones biológicas, físicas o químicas.

Usando el criterio de origen, es posible separar en dos tipos:

1. Residuos sólidos municipales: Residuos que provienen de domicilios, asimilables a domiciliarios y de aseo público.

2. Residuos Industriales: Residuos generados por la actividad industrial.

4.2 Situación actual de RSM nacional

4.2.1 Legislación aplicable

Tabla 6: Regulaciones que influyen en el ámbito de los RSD con descripción.

Fuente: Elaboración propia, consultando normativas en www.leychile.cl

Regulación	Aspecto que dictamina
DS N°4740/1947 "Sobre las normas Sanitarias Mínimas Municipales"	Establece que los municipios tienen que gestionar haciendo colección y tratamientos para higienización de las basuras, desperdicios y residuos que le competen.
DFL 725 del año 1973 "Código Sanitario"	Define el ámbito de protección y recuperación de la salud de los habitantes y regula temas de higiene, seguridad del ambiente y de los lugares de trabajo.
L.O.C N° 18.695/1988, de Municipalidades.	Expone los fundamentos sobre la responsabilidad en los ámbitos de Aseo y Ornato que tienen las municipalidades.
DS N°148/2005 "Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos"	Establece las mínimas condiciones sanitarias y de seguridad bajo las que debe atenderse la generación, reúso, tenencia, almacenamiento, transporte, tratamiento, reciclaje, disposición final y otras formas de eliminación de los residuos peligrosos.
Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos del año 2005	Realizar la gestión ambiental respectiva de los residuos sólidos para un periodo de tiempo bajo inversiones de escala proporcionales a sus características.
DS N°004/2009 "Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas"	Normar la administración de los lodos de depuradoras de aguas servidas enunciando la clasificación sanitaria de los lodos y requisitos sanitarios que debe alcanzar para su manejo, lo que condiciones técnicas, restricciones y requisitos para aplicabilidad de estos residuos en los suelos.
DS N°006/2009 "Reglamento sobre manejo de residuos de establecimientos de atención de salud (REAS)"	Establece las condiciones de seguridad elemental y sanitarias que debe cumplir un establecimiento de atención de salud en materia de gestión de residuos generados.

Ley 20.417, Modificación de la Ley 19.300	Genera y entrega la capacidad el Ministerio de Medio Ambiente para entregar políticas, construir planes, normas y programas en materia de residuos. Permite el acceso a información del área de gestión de residuos.
DS N°1/2013 "Reglamento del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC)"	Formula una base de datos digital con información ambiental con cobertura nacional. Dentro de este se acogen sustancias químicas contaminantes emitidas al agua, atmósfera y suelo que son liberadas para su eliminación o tratamiento.
DS N°29/2013, "Establece norma de emisión para Incineración, Coincineración y Coprocesamiento y Deroga Decreto N° 45, de 2007, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia"	Para la prevención de los efectos negativos sobre los recursos naturales y la salud de la población, producto de las emisiones tóxicas de los procesos de incineración, coprocesamiento y coincineración regulados por el decreto mismo.
Ley 20.920, 2016 "Marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje"	Norma la gestión de los residuos de forma sostenible, enfocada en la reducción del residuo en su generación e incentivar la valorización desde el paradigma de protección al medioambiente. Se generan obligaciones para los productores respecto al procesamiento y valorización de sus productos, según corresponda.

Para este trabajo deben considerarse aquellas reglamentaciones que afecten la gestión de residuos sólidos domiciliarios y asimilables. El Ministerio de Salud, mediante el Código Sanitario (D.F.L. N°725, 1976), en su párrafo III, Artículo 11 define las facultades municipales del ámbito sanitario. En este se expone que debe:

- Proporcionar la limpieza y condiciones seguras para los sitios públicos, de tránsito y de recreo.
- Regular y verificar las condiciones de mantenimiento exterior y limpieza de fábricas, edificios públicos, cuarteles, conventos, viviendas, teatros y demás lugares públicos y particulares.
- Recolección, transporte y disposición final de los residuos considerados como domiciliarios y asimilables que sean depositados, generados en la vía urbana u otros según lo admita el Sistema nacional de Servicios de Salud.

- Suministrar aseo y preservación de acequias, bebederos y canales, tomando en cuenta las condiciones de seguridad que permitan prevenir accidentes en dichas locaciones.

A nivel nacional existen diversas normativas en el aspecto de disposición de residuos industriales no peligrosos, siendo brevemente descritas en los párrafos siguientes.

El Decreto Supremo N°189/2005 del Ministerio de Salud establece las condiciones sanitarias y de seguridad básica y condiciones sanitarias para los rellenos sanitarios.

El Decreto Supremo N°4/2009 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia norma el manejo de lodos generados por las depuradoras de aguas servidas.

Por otro lado, a contar del año 2014 entra en vigor el DS N°1/2013. En particular, los artículos 25, 26 y 27, instaurando obligaciones a los generadores, municipalidades y destinatarios de residuos no sometidos a reglamentos específicos.

Artículo 25: Para el generador de residuos: los establecimientos que generen anualmente más de 12 toneladas de residuos no sometidos a reglamentos específicos estarán obligados a declarar al 30 de marzo de cada año sus residuos generados el año anterior, a través del Sistema de Ventanilla Única del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC). Lo anterior, sin perjuicio, de las obligaciones emanadas de los DS N°148/2003, y DS N°6/2009, ambos del Ministerio de Salud, así como del DS N°4/2009, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, en relación con lo dispuesto al artículo 18 letra d) del presente reglamento.

Artículo 26: Respecto a los Residuos Municipales, las municipalidades deberán declarar, antes del 30 de marzo de cada año, los residuos recolectados por éstas o por terceros contratados por ella, durante el año anterior, a través del Sistema de Ventanilla Única del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC).

Artículo 27: Destinatarios de Residuos. Los destinatarios de residuos, que reciban anualmente más de 12 toneladas de residuos, deberán declarar los residuos recibidos el año anterior a través del Sistema de Ventanilla Única del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), al 30 de marzo de cada año. Lo anterior, sin perjuicio, de las obligaciones emanadas de los D.S. N°148 de 2003, D.S. N°189 de 2005, y D.S. N°6 de 2009, todos del Ministerio de Salud, así como el D.S. N°4 de 2009 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

En consecuencia, surge el Sistema Nacional de Declaración de Residuos (SINADER), cuyo ente administrador es el Ministerio del Medio Ambiente.

Para la estandarización del SINADER es que se emplea la Lista Europea de Residuos (LER), pero solamente acudiendo al apartado de residuos no peligrosos. El Código LER posee la siguiente nomenclatura: Capítulo de dos códigos, subcapítulo de cuatro cifras y código de seis cifras para los

residuos. Esto permite tener una jerarquía para realizar la búsqueda del código apropiado. Los capítulos del código LER se encuentran en el Anexo 1.

En lo que respecta a la Ley N°20.920 se realizan definiciones en materia de gestión de residuos, eliminación, disposición final y, principalmente, valorización de residuos. En este último se involucra las actividades e instalaciones que hagan reciclaje, preparación para la reutilización y valorización energética.

En materia de separación, recepción y almacenamiento, se distingue por definición de Norma NCh 3376:2015 (Instituto Nacional de Normalización, 2015):

- Puntos limpios: Instalación de recepción y almacenamiento selectivo de residuos peligrosos y no peligrosos de productos prioritarios que cuenta con contenedores y un área de acopio y consolidación de carga, donde se reciben y acumulan residuos entregados por los consumidores, para su posterior valorización. En un punto limpio se pueden efectuar operaciones de selección, compactación y enfardado de residuos y pueden ser fijos o móviles.
- Centros de acopio: Instalación de recepción y almacenamiento de residuos peligrosos y no peligrosos de productos prioritarios, provenientes de puntos verdes, puntos limpios, otros centros de acopio o de la recolección selectiva. Estas instalaciones pueden efectuar operaciones de pretratamiento de residuos.
- Puntos verdes: Instalación de recepción selectiva de residuos peligrosos y no peligrosos de productos, donde se reciben residuos de los consumidores y que no corresponda a punto limpio ni centro de acopio. Pueden ser fijos o móviles.

Para la valorización de residuos define preparación para reutilización, valorización energética y reciclaje. Esta última incluye las siguientes:

- Reciclaje de materiales específicos.
- Compostaje.
- Co-procesamiento.
- Aplicación benéfica al suelo.

El término co-procesamiento corresponde a una instalación con horno de cemento que utiliza combustibles distintos a los tradicionales, con el propósito de recuperar energía y recursos y reducir, en consecuencia, el uso de combustibles y materias primas convencionales mediante su sustitución (Ministerio del Medio Ambiente, 2019).

En materia de valorización de residuos, la región de Valparaíso cuenta con el procesamiento de la empresa Melón S.A. en la comuna de La Calera, en Cenizas volantes de carbón y Neumáticos fuera

de uso. Además, la Ilustre Municipalidad de Isla de Pascua cuenta con instalaciones para el procesamiento de metales.

Para el apartado de reciclaje, los datos que entrega RETC al año 2016 informan que, a nivel nacional, existen 81 destinatarios que declaran realizar actividades de reciclaje. Cerca del 50% de las instalaciones se encuentran en la región metropolitana. En la región de Valparaíso existen apenas 3 instalaciones que declaran reciclaje.

En el contexto de la admisión de Chile a la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) el año 2010, el país se encuentra con oportunidades y desafíos en el aspecto ambiental. Producto de la política 3R (reducir, reciclar y reutilizar) a la que debe adaptarse, no sólo surge nueva reglamentación, sino que también políticas en miras de generar conciencia e inclusión.

Una de las consecuencias es la actualización de la Política Nacional de Residuos, generando un nuevo marco de iniciativas y actividades en el campo de la gestión de residuos. Actualmente, a nivel nacional se recicla cerca del 10% de los residuos sólidos municipales generados. De la información que entrega el Movimiento Nacional de Recicladores de Chile, el trabajo de los recicladores base es fundamental, por lo que se identifican como actores muy importantes en el ámbito de valorización.

La Política de inclusión de recicladores de base (PIR) detecta en sus antecedentes que existe una carencia en condiciones jerárquicas y de tecnologías en su quehacer, además de una falta de políticas públicas que valoricen o hagan un catastro del aporte de los recicladores en la disminución de la suma de residuos que terminan en disposición final. La Ley 20.920 reconoce en su nomenclatura al reciclador de base como *“Persona natural que, mediante el uso de la técnica artesanal y semi industrial, se dedica en forma directa y habitual a la recolección selectiva de residuos domiciliarios o asimilables y a la gestión de instalaciones de recepción y almacenamiento de tales residuos, incluyendo su clasificación y pre-tratamiento”*

Esto surge producto de la informalidad o clandestinidad, por lo que se busca generar inclusión de estos actores y generar condiciones que emparejen la competencia que se producirá con los gestores, permitiendo que estos tengan el debido reconocimiento en su labor. De esta manera, se reconoce que la gestión sustentable tiene aristas ambientales, económicas y sociales.

La Ley somete a estandarización formal y certificación para los recicladores de base en plazos de 5 años. Esto requiere trabajo en conjunto entre los Ministerios del Medio Ambiente; Economía; Salud; Social, Trabajo y Previsión Social; Vivienda y Urbanismo. Entre estos y muchos otros entes generaron colaboración, produciendo como resultado la PIR junto a los planes de trabajo, permitiendo el desarrollo e implementación de múltiples instrumentos en miras de ratificar las capacidades económicas y sociales del área. Las cifras que maneja el Ministerio del Medio Ambiente de manera estimativa indican que existen cerca de 60.000 recicladores a nivel nacional y 180.000 personas que

se sustentan de esta actividad. En lo que respecta ingresos, estos varían desde 0,5 hasta más de 3 sueldos mínimos mensuales. Los principales factores que afectan en sus ingresos yacen en la calidad y cantidad de residuos que maneja; duración de su jornada; espacio disponible para recolectar y clasificar los residuos además de las posibilidades de transporte que estén a su disposición.

De esta forma, se detecta un grupo de individuos que han demostrado intenciones de trabajar, incluso, de manera asociativa con el objetivo de reducir la brecha que genera la dependencia con intermediarios que poseen mayores tecnologías, pero inestabilidad e incertidumbre respecto a su condición laboral.

La propuesta política tiene 3 ejes:

- **Eje Ambiental:** Contabilizar el aporte ambiental de cada reciclador, además promover la inclusión y proteger la salud de cada uno de estos trabajadores, con la meta de atender los riesgos que conllevan su labor a nivel sanitario.
- **Eje Económico:** Consolidar la capacidad empresarial de los recicladores entregando certificados de habilidades laborales y competencias, junto con identificar y desarrollar herramientas económicas que inciten el reciclaje inclusivo a través del fortalecimiento de las capacidades técnicas y empresariales. Todo esto siempre promoviendo el trabajo digno en diferentes posiciones de la cadena productiva en la que se desarrolla.
- **Eje Social:** Identificar y caracterizar la situación socioeconómica de los recicladores, con el objetivo de lograr ensalzar socialmente sus trabajos, además de robustecer el capital social de las organizaciones que estos levanten junto con el acceso a políticas sociales. Finalmente, transparentar las opciones de empleabilidad de recicladores de base.

En lo que respecta a la Ley 20.920, existen múltiples actores involucrados, incluyendo a los municipios. En términos generales, en ella se crean: responsabilidad extendida del productor, reconocimiento de la legislación sanitaria existente en materia de residuos y se generan nuevas competencias para la gestión de residuos por parte del Ministerio. Las nuevas competencias son:

- Ecodiseño.
- Certificación, rotulación y etiquetado.
- Sistema de depósito y reembolso.
- Mecanismos para prevenir la generación de residuos.
- Mecanismos de separación en origen y recolección selectiva.
- Mecanismos para gestión ambiental racional de los residuos.

En materia de Artículos, cabe mencionar lo siguiente:

Art.4: “Todo residuo potencialmente valorizable deberá ser destinado a tal fin evitando su eliminación.”

Art.5: “Todo generador de residuos tiene la obligación de entregarlos a un gestor autorizado, excepto si los gestiona él mismo.”

Art.9: “La REP es un régimen especial de gestión de residuos, conforme el cual, los productores de productos prioritarios son responsables de la organización y financiamiento de la gestión de los residuos de los productos prioritarios que se comercialicen en el país.”

Los productos prioritarios (PP) para la Ley son:

1. Aceites lubricantes.
2. Aparatos eléctricos y electrónicos.
3. Baterías.
4. Envases y embalajes.
5. Neumáticos.
6. Pilas.

Además, los diarios, periódicos y revistas se considerarán productos prioritarios no sometidos a metas ni obligaciones asociadas

Actores involucrados en la Ley:

1. Productor de producto prioritario (PPP).
2. Consumidor de PP.
3. Gestor de residuo de PP (Empresas, Municipios y Recicladores de Base).
4. Distribuidor y comercializador.
5. Sistema de gestión.

Las obligaciones generadas involucran:

Para los productores:

- Registro en el catastro público de PPP.
- Organizar y financiar recolección y respectivo tratamiento de los residuos.
- Cumplimiento de metas.

Para los gestores de residuos:

- Tener registro y autorización.
- Declarar: Tipo, cantidad, origen, tratamiento y disposición a través del RETC.

Recolectores Base:

- Registro en un máximo de 5 años antes de la entrada en vigencia de la Ley.

Municipios:

- Convenios con Recolectores Base.
- Convenios con Sistema de Gestión.
- Generar ordenanzas municipales para la obligación de separar sus residuos, además de promover la educación ambiental con respecto a la prevención y valorización.

4.2.2 Consecuencias de la nueva legislación

Según lo señalado por la ministra Carolina Schmidt, la meta a nivel país es incrementar el reciclaje de envases y embalajes domiciliarios desde un 12,5% a un 60% al año 2030, alcanzando a los países desarrollados (Ministerio del Medio Ambiente, 2019).

A partir de febrero del presente año 2019 entra en vigor la Ley 21.100 “Prohíbe la entrega de bolsas plásticas de comercio en todo el territorio nacional”. Con el objetivo proteger el medioambiente a través de la prohibición de las bolsas plásticas del comercio de una manera gradual. En el artículo 4 se enfatiza en que la fiscalización recae en las municipalidades, sobre quien también recae los beneficios de las potenciales multas a cursar (según el artículo 5), pudiendo alcanzar las 5 UTM. El artículo 6 define la multa a ejecutar, la cual es determinada por: el número de bolsas entregadas, conducta anterior y capacidad económica.

En el artículo 7 el Ministerio del Medio Ambiente recibe la tarea de implementar programas de educación ambiental, considerando también los apartados de reutilización y reciclaje.

Pese a lo señalado, las medianas, pequeñas y microempresas tendrán un plazo de 2 años para ponerse al día en lo que respecta a esta prohibición (agosto de 2020). En consecuencia, durante este período de adaptación se admitirán tan sólo 2 bolsas por consumidor, tal como se hizo los primeros 6 meses para los grandes comercios.

El balance obtenido a un año desde la promulgación de la Ley 21.100 indica, según lo estimado por el gobierno, dejaron de fabricarse alrededor de 2.000 millones de bolsas. Un efecto negativo detectado fue el cierre de fábricas, aunque algunas fueron capaces de cambiar y producir bolsas de basura. Cabe destacar que el principal efecto que buscar minimizar es el vertido de las bolsas al mar, llenando los océanos de plásticos que afectan la fauna.

La Ley 21.100 es un hito, siendo el primer país en América Latina en su implementación (Agenda País, 2019). Sin embargo, una de las consecuencias cuyo efecto en el medioambiente aún no ha sido medido es el incremento del consumo de sustitutos como las bolsas de papel. Se ha detectado recientemente que el reciclaje de estas bolsas las va cargando de metales, tales como el Magnesio, pudiendo ser perjudicial al medioambiente (Ojeda G., 2019). Otro inconveniente es el vacío legal para bolsas que no sean a partir de polímeros de petróleo, incrementando el consumo de bolsas de

biopolímeros que, en términos prácticos, generan el mismo impacto ambiental que las tradicionales. Las bolsas de textil no tejido, también llamadas TNT, son otro producto sustituto cuyos efectos en nuestro país pueden ser perjudiciales, ya que aún no se cuenta con un sistema de reciclaje a nivel nacional (Ojeda G., 2019).

En el mismo contexto, surge la estrategia del plástico, la que busca generar conciencia en los plásticos de un solo uso, además de un Acuerdo de Producción Limpia para crear un ecoetiquetado. Este acuerdo es voluntario entre una asociación empresarial de un sector productivo y los organismos públicos competentes en asuntos de condiciones laborales, ambientales, sanitarias, eficiencia y fomento productivo. El objetivo es impulsar sinergias y economías de escala, alcanzando mayor productividad y competitividad a través del cumplimiento de normas ambientales. En términos prácticos, sus directrices se encuentran dadas por cuatro Normas Chilenas Oficiales (NCh).

Recientemente, un informe emanado por la Subsecretaría del Medio Ambiente realiza una recopilación de una treintena de estudios generados en el marco de la implementación de la Ley N°20.920, permitiendo unificar fuentes de información con respecto a la valorización de residuos en Chile (Ministerio del Medio Ambiente, 2018). Este informe indica que, aun faltando datos del 17% de los registros, existen los siguientes registros, observables en Tabla 7, Tabla 8 y

Tabla 9:

Tabla 7: Cantidad de puntos verdes por tipo de residuos. Fuente: (Ministerio del Medio Ambiente, 2018).

Región	Cartón	Cartón para bebidas	Papel	Plástico	Vidrio	Metal	Celulares	Pilas
Puntos verdes Región de Valparaíso	-	2	20	116	554	1	107	228
Puntos verdes Metropolitana	160	160	187	222	1211	133	184	184
Puntos verdes General	966	650	1130	2530	4327	1210	867	991

Tabla 8: Capacidad de puntos verdes por tipo de residuos. Fuente: (Ministerio del Medio Ambiente, 2018)

Región	Cartón	Cartón para bebidas	Papel	Plástico	Vidrio	Metal	Celulares	Pilas
Capacidad de puntos verdes Región de Valparaíso [ton/mes]	-	0,1	5	4,6	1768	0,1	0,6	2,6
Capacidad de puntos verdes metropolitana [ton/mes]	290	61	436	108	3154	25	0,8	3,3
Capacidad de puntos verdes Nacional [ton/mes]	655	202	779	439	10607	184	4,7	19

Tabla 9: Capacidad de Puntos Limpios por tipo de residuo. Fuente: (Ministerio del Medio Ambiente, 2018)

Región	Cartón	Cartón para bebidas	Papel	Plástico	Vidrio	Metal	RAEE	Pilas
Capacidad de Puntos Limpios Región de Valparaíso [ton/mes]	0,3	0,3	0,8	0,1		0,5		0,8
Capacidad de Puntos Limpios Región Metropolitana [ton/mes]	141	51	207	32	211	70	25	30
Capacidad de Puntos Limpios General [ton/mes]	166	53	243	96	359	337	25	31

Es posible afirmar que el tipo de residuo de mayor recogida, tanto en cobertura como en capacidad, corresponde al vidrio. La empresa CristalChile reconoce en su sitio web la instalación de 1300 puntos de recolección en todo el país, identificándose como una labor de tipo ecológica y benéfica, ya que aportan a los niños de Coaniquem (CristalChile, 2019). Además de la compañía ya mencionada, la empresa Cristoro reconoce recuperar cerca de 20.000 toneladas anuales de vidrio (Reciclaje Cristoro, 2019).

Finalmente, en miras de la Conferencia de las Partes (COP25), el Ministerio de Medioambiente está impulsando la Hoja de Ruta de Economía Circular. Esta surge con el objetivo de promover el cambio del paradigma lineal actual que predomina en consumo, producción y negocios, estando íntimamente relacionado con la Ley REP.

4.3 Discusión de conceptos legales.

Se detecta una normativa que controla la emisión de residuos, generando cadenas entre la logística y disposición respectiva de cada tipo de residuo, según sea su naturaleza. El DS N°1/2013 moderniza el sistema de gestión, dando una plataforma digital que permite más transparencia a través del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminante. Esto genera la identificación tanto del generador como del destinatario de estos residuos. Posteriormente, el siguiente paso lo constituye la ley 20.920 (REP), generando un nuevo mercado en la gestión de residuos. Se deduce que esto permitirá disminuir la precariedad y falta de condiciones laborales para los recicladores base, quienes también están considerados dentro de la ley REP. Junto a lo anterior, la Política de Inclusión de Recicladores de Base busca caracterizar en los 3 ejes: ambiental, económico y social. Esto lo hace con el objetivo de mejorar las condiciones laborales que poseen estos actores, reconociendo su importancia en el ámbito ambiental.

La ley REP establece una serie de competencia con el objetivo de reducir, prevenir y gestión la emisión de residuos. Para ello, presenta una serie de productos prioritarios, identificando a cada uno de los actores en la cadena que estos generan, estableciendo las respectivas obligaciones. Si bien, esta ley plantea las bases para la nueva gestión de residuos, no se han planteado aún metas concretas, lo cual le quita efectividad a lo establecido en materia de flujos recuperados anualmente. Sin embargo, la ley indica el establecimiento de metas según el producto en cuestión a través de decretos supremos sujetos a consideraciones demográficas, geográficas y de conectividad.

Adicionalmente, con el surgimiento de la ley 21.100, la erradicación de las bolsas plásticas ha causado la disminución de la producción nacional de estas. Sin embargo, la aparición de sustitutos requiere estudios en su efecto con respecto a la acumulación de metales pesados y otras sustancias producto de su reutilización o reciclaje.

Respecto a la gestión de puntos verdes y puntos limpios, respectivamente, la sustancia de mayor reciclaje es el vidrio. Esto es producto de que su reciclaje se encuentran presentes tanto culturalmente como a nivel de capacidad de reciclaje instalado a nivel nacional, estando relacionados con campañas solidarias.

Las técnicas de disposición de RSM proponen múltiples alternativas, las cuales pueden convivir, siendo clave la segregación de residuos en origen. Esto permite minimizar la inversión en procesamiento de RSM mixtos, lo que incrementa la propensión al surgimiento de este tipo de proyectos al no requerir de maquinaria de gran complejidad para pretratar los residuos recolectados. Por tanto, se vuelve necesario generar un marco legal que exija a los habitantes del país la segregación de residuos de manera inmediata.

Capítulo 5 Alternativas propuestas.

Es importante considerar el hecho de que el relleno sanitario actual está próximo a su cierre, por lo que se debe generar un nuevo proyecto que permita dar solución a los desechos no sólo de la comuna, si no con influencia regional.

Las tecnologías para el reciclaje y revalorización son conocidas y múltiples iniciativas dentro de la región que está realizando esta labor de manera particular, lo cual ha generado un fenómeno caracterizado por la autonomía que caracteriza la región (Karübag, 2019) (Reuso, 2019) (GeoCiclos, 2019). Empresas locales ofrecen planes de recepción de desechos para compostaje, ofreciendo diferentes precios según la capacidad contratada, los que terminan dispuestos en centros de reciclaje y compostaje particulares (Vivelomb, 2019). Al mismo tiempo, se genera un grado de fragmentación que no permite alcanzar las economías de escala que podrían permitir una gestión de cada fracción de desechos de la manera más económica posible, permitiendo alimentar estos procesos con los flujos casi totales de desechos de la región.

Tomando en consideración la información indicada en los capítulos previos, se proponen las siguientes alternativas:

- 1) **Relleno sanitario:** La instalación de un relleno sanitario permitiría la recepción de los residuos sólidos municipales sin clasificación, tal como ya ocurre en “El Molle”. Según información entregada por la Municipalidad de Valparaíso, actualmente tiene un costo que ronda los \$10.000 por tonelada dispuesta. Esta es una alternativa que permite gestionar minimizando el impacto en la salud de las personas retirando desechos de una forma en que estos se alejan de la población y se aíslan para reducir la contaminación de los recursos naturales, sin embargo, desde la perspectiva del Plan Regulador Regional la situación es incierta. Esto se afirma producto de que la comuna sólo tiene permiso para “Infraestructura sanitaria y energética inofensiva y molesta” en el predio de “El Molle”. Si se deseara construir una nueva instalación se requeriría el estudio y modificación del Plan Regulador a nivel comunal y regional, para generar las condiciones tanto a nivel de estudios de construcción y medioambiental. Más específicamente, se deberá llevar un trabajo conjunto con los vecinos y comunidades aledañas al lugar donde se desee instalar para llegar a acuerdos y educarlos respecto a las medidas de mitigación de impacto ambiental con las que cuentan estos proyectos. Es una solución sanitariamente efectiva pero no sostenible a nivel medioambiental, ya que según lo estudiado en el estado del arte, esta alternativa no permite el retorno de nutrientes a los ciclos naturales.
- 2) **Procesos térmicos:** Diseñar y evaluar procesos de incineración y pirólisis involucra la aplicación de tecnologías que ya presentan factibilidad técnica pero que requieren un grado

de segregación de los residuos de alta eficacia, junto con una inversión considerablemente alta, pudiendo ser decenas de veces más costosa por tonelada que la disposición en relleno (AEA Technology, 2001). Este tipo de proyectos se lleva a cabo, generalmente, en países que tienen un costo de terrenos lo suficientemente alto que permite darles viabilidad económica a estas alternativas. Además, debido a que la densidad poblacional junto con los climas fríos que presentan países como los europeos, se vuelve factible económicamente procesar los residuos para alimentar redes de calefacción públicas, junto con entregar energía eléctrica (AEA Technology, 2001). Sin embargo, la falta de este tipo de infraestructuras de distribución energética y la nula segregación de residuos generan un panorama en el que la comuna de Valparaíso no se encuentra preparada para implementar esta clase de proyectos. Se documentan casos en los que, debido a una mala segregación, la humedad de los residuos es tal que se debe gastar en combustibles fósiles para alcanzar las condiciones de operación deseadas, lo que incrementa el costo de operación (Albanna, 2011).

- 3) **Compostaje:** La fracción mayoritaria de los desechos está constituida por materia orgánica, rondando el 70%. Esta opción permitiría que la comuna convierta sus desechos vegetales en una sustancia que fortalece los suelos a nivel de nutrientes, lo que permite que estos se incorporen a los ciclos de carbono y nitrógeno como fertilizante. Además, el mismo municipio sería un potencial consumidor de este producto, ya que requiere fortalecer sus plazas públicas y recuperar espacios verdes.

Para comprender de mejor manera la situación a largo plazo, es necesario realizar una proyección a 15 años en la región de Valparaíso, lo que permitirá estimar la demanda de procesamiento de residuos a partir de la población que habita la región.

Según información interna del municipio de Valparaíso, los últimos 5 años la tasa de producción promedio de desechos es de 1,23 kg por persona-día en la comuna de Valparaíso. Al utilizar este antecedente, junto a la estimación de habitantes (Instituto Nacional de Estadísticas, 2019), se proyecta la producción de RSM hasta el año 2035.

En la Figura 14 se proyecta la producción de desechos de entre 140.000 y 160.000 toneladas anuales para los próximos 15 años. Si se toma en cuenta que cerca del 70% son desechos orgánicos (CEARS, 2011), se estima una producción de residuos orgánicos de entre 98.000 toneladas y 112.000 toneladas anuales.

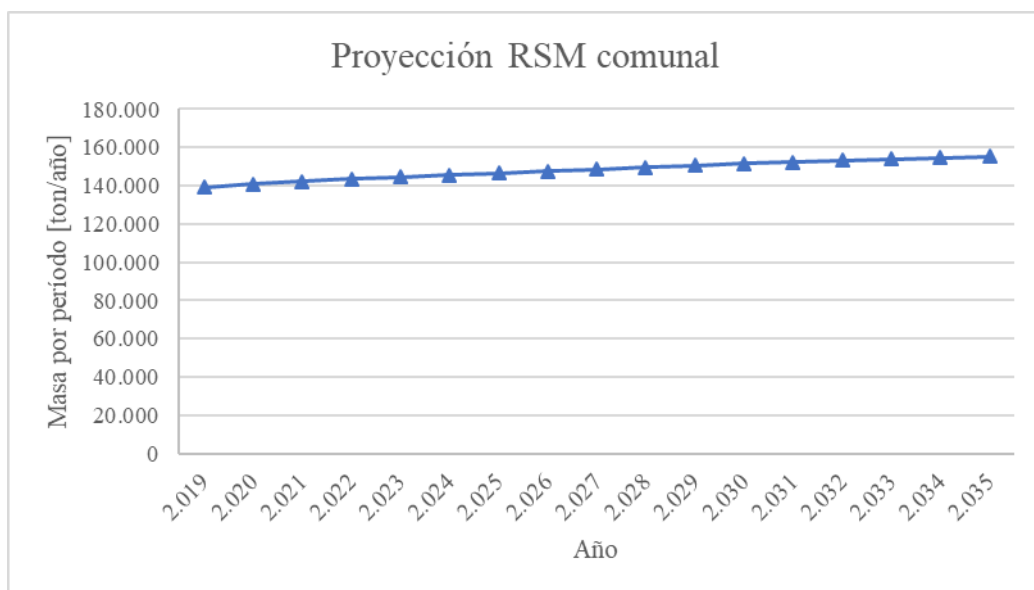


Figura 14: Proyección RSM comuna de Valparaíso hasta el 2035.

5.1 Planta de Compostaje

5.1.1 Estimación de demanda de compost

La comuna de Valparaíso contiene la reserva Peñuelas – La Campana, donde se afirma que el 66% de la superficie de la comuna corresponde a esta reserva.

Ahora, dentro de la misma comuna se detectan áreas verdes de dependencia directa con el municipio, donde actualmente no existen planes ni directivas consistentes respecto a su mantenimiento, lo que deja a la comuna con una cantidad 1,73 m² por habitantes. Esta cifra está muy por debajo del valor que indica la Organización Mundial de la Salud, cuya recomendación es de 9 m² por habitantes. Cabe destacar que este valor es netamente referencial, ya que la comuna cuenta con más espacios considerados como áreas verdes pero que no necesariamente tiene fácil acceso y/o mantenimiento establecido.

Tabla 10: Áreas verdes de la comuna de Valparaíso, Fuente: Ilustre Municipalidad de Valparaíso.

Lugar	m ²
Parque Quebrada Verde	1.200.000
Parque Quintil	40.000
Parque Urbano de Placilla	24.000
Fácil accesibilidad pública	247.419
Bandejones pequeños	82.106
Total	1.593.525

Un detalle que lleva el concepto de área verde es que no necesariamente involucra cobertura vegetal, una cantidad de árboles ni de césped determinado. Ello causa inconvenientes para realizar una estimación del requerimiento de mantenimiento de estos o algún mejoramiento de las condiciones actuales.

Se recomienda aplicar entre 1 o 2 cm de compost como mínimo una vez al año, permitiendo favorecer el fortalecimiento de la flora (McGill Environmental Systems of NC, 2019). Para términos de estimar la demanda de compost se elige un espesor de 2 cm aplicado una vez al año.

Al utilizar el supuesto ya señalado, se obtiene lo siguiente:

Tabla 11: Cantidad de compost requerido.

Lugar	m ³ -anual	m ³ -mensual	ton-anual
Parque Quebrada Verde	24.000	2.000	16.800
Parque Quintil	800	67	560
Parque Urbano de Placilla	480	40	336
Fácil accesibilidad pública	4.948	412	3.464
Bandejones pequeños	1.642	137	1.149
Total	31.871	2.656	22.309

De la Tabla 11 se infiere que, si se deseara aplicar compost a todas las zonas mencionadas en la comuna de Valparaíso, la demanda anual corresponde a 22.309 toneladas de compost. Sin embargo, para diseñar este proyecto también se debe contrastar lo que ocurre en la comuna con otros casos ya llevados a la práctica a nivel nacional.

La experiencia acumulada por parte de la comuna de La Pintana en alrededor de 20 años de trabajo en el eje medioambiental permite afirmar que es un caso de estudio que permite comprender de mejor manera las condicionales que requiere este tipo de implementación, lo que permite a la comuna de Valparaíso tener una base a nivel de programas a considerar.

En el PLADECO 2019-2030 la comuna de Valparaíso manifiesta su interés en mejorar sus condiciones a través de múltiples ejes estratégicos, siendo el de mayor influencia a este trabajo de tesis el de “Desarrollar un proceso de ordenamiento territorial, patrimonial y ambientalmente sostenible para la Rehabilitación urbana, borde costero y repoblamiento de zonas”. En este apartado se reconoce el abandono y deterioro de sectores de la comuna producto de múltiples fenómenos en la población, donde la propuesta busca generar nuevos barrios y recuperar los más vulnerables, haciendo hincapié en los sectores periféricos.

Para comprender las iniciativas de la comuna en el aspecto de las áreas verdes, se realiza un resumen en la Tabla 12.

Tabla 12: Resumen Iniciativas de PLADECO 2019-2030. Fuente: Ilustre Municipalidad de Valparaíso.

Nombre del Plan	Iniciativas	Periodos
"Regularización de asentamientos irregulares y campamentos"	Estudios para recuperación de espacios públicos para lugares que no sean aptos de habitar mediante la implementación de plazas, caminos y/ o áreas verdes.	2019-2030
"Recuperación de barrios y localidades de Valparaíso"	Programas: - Mejoramiento y habilitación de espacios públicos, áreas verdes y miradores barriales. - Mejoramiento y construcción de red de Parques urbanos. Proyectos: - Construcción Mirador sector Waddington Cerro Playa Ancha. - Construcción Parque humedal el Sauce Placilla de Peñuelas.	2019-2030
"Desarrollo del borde costero integrado"	Programas para extensión urbana del Almendral y acceso del borde costero: Soterramiento línea férrea, paseos peatonales, espacios públicos, y áreas verdes	2019-2030
"Prevención de focos contaminantes"	Programas: - Manejo de residuos orgánicos para Ferias libres y mercados ecológicos. - Recuperación de 40 microbasurales y construcción de 40 plazas.	2019 – 2023
"Sostenibilidad ambiental"	Gestión para la incorporación de criterios de eficiencia hídrica en el mantenimiento de las áreas verdes comunales. Programas de Implementación de vivero educativo, compostera demostrativa y de generación de fertilizante natural para las áreas verdes comunales en Parque Quebrada Verde.	2019 – 2023

De la Tabla 12 es posible detectar un potencial requerimiento generar una planta de compostaje que sea capaz de cumplir con las mejores en las áreas verdes que serán implementadas. Como la calidad obtenida en el producto final limite la cantidad y destino del compost, es necesario plantear el

requerimiento de un producto de calidad aceptable para aplicar a las plazas públicas de la comuna, de manera de poder favorecer el mantenimiento de las áreas verdes.

Se detectan 51 plazas que alcanzan 140.359 m², siendo las más grandes: la Plaza O'Higgins con 16.700 m², Plaza Parque Italia 13.000 m² y Plaza de la Conquista de cerro Placeres con 8.523 m² (Ilustre Municipalidad de Valparaíso, 2019).

De lo anterior, mediante el supuesto de aplicación anual de 2 cm de compost a un total de 140.359 m² de plazas, se estima una demanda anual de **1.965 toneladas**. Por tanto, se propone la ejecución de una planta que sea capaz de obtener 2.000 toneladas anuales de compost. Sin embargo, el primer año se buscará producir 100 toneladas anuales, siendo esta la etapa piloto. Para esto último, se requiere alimentar el proceso con poco más de 300 toneladas anuales de desechos domiciliarios, los cuales deberán ser analizados a nivel de composición y humedad. El objetivo es generar un plan piloto donde un número reducido de la población participe de ella, permitiendo rescatar información del comportamiento de las familias porteñas a nivel de residuos junto con detectar fallas, ya sea de parte de la ciudadanía, transporte o procesamiento final.

Tomando en cuenta las alternativas disponibles, se decide diseñar una planta de compostaje que sea capaz de satisfacer la demanda de compost al interior de la comuna empleando la fracción orgánica de RSM junto con los desechos de la poda de la unidad de parques y jardines, permitiendo el reingreso de los nutrientes a sus respectivos ciclos del ecosistema.

5.1.2 Dimensionado

5.1.2.1 Selección de tecnología

Las múltiples tecnologías de compostaje ofrecen diferentes condiciones y características, por lo que, a modo de síntesis, se presenta un cuadro resumen en la Tabla 13.

Tabla 13: Resumen de tecnologías de compostaje.

Técnica	Tiempo de procesamiento	Ventajas	Desventajas
Pilas estáticas	Hasta 12 meses	• Buenos resultados para material homogéneo en tamaño, • Baja Inversión. • Baja mano de obra	• Alta probabilidad de zonas anaerobiosis, Malos olores, requiere mucho espacio
Pilas estáticas aireadas	Hasta 6 meses	• Utiliza menor espacio y lleva a cabo la reacción en menos de 1 año	• Requerimiento de: compresor, tuberías, válvulas y sistema de control de presión de aire, temperatura y humedad. • Alto costo debido a las tecnologías utilizadas.
Pilas de volteo	Entre 3 a 12 meses	• Bajo costo de inversión y funcionamiento	• Requiere mucha superficie disponible
Reactor cerrado	3 días de fermentación. Menos de 1 mes para maduración.	• Alta velocidad de descomposición. • Baja superficie. • Mayor control en la temperatura y humedad. • Menor uso de mano de obra	• Alto costo de inversión y operación

A partir de lo descrito en la Tabla 13: Resumen de tecnologías de compostaje. Tabla 13, se selecciona como tecnología pilas de volteo a través de minicargador.

5.1.2.2 Calidad de producto

Para controlar la calidad del compost obtenido, durante la recepción de materia prima y el proceso de descomposición deben tomarse en cuenta factores clave que tienen relación con condiciones antes y durante el proceso (Zhentong, Hongwei, Lixia, & Li, 2013).

La Tabla 14 describe las condiciones de operación a utilizar para conseguir la calidad de compost deseado.

Tabla 14: Influencia de las propiedades en calidad de producto.

Propiedad	Significado para el proceso	Recurso para su control
Temperatura	Se mide para identificar la actividad microbiana actual de la pila. Fermentación: Se debe alcanzar 60°C por al menos 1 semana, permitiendo la degradación de semillas de malas hierbas y microorganismos nocivos. Maduración: Debido a la humificación, la temperatura debe decrecer hasta los 35°C.	Fermentación: Mezclar las pilas mediante volteo mecanizado, permitiendo que los sólidos que se encontraban en el exterior de la pila llegaran al centro, lugar de mayor temperatura. Maduración: sólo realizar comprobación de la temperatura para detectar la maduración de las pilas.
Relación C/N	El rango recomendado para esta relación másica en los RSM a alimentar al proceso es de 25-30/1, ya que favorece el crecimiento de las bacterias involucradas en el proceso.	Si el valor es muy bajo se recomienda suministrar un flujo auxiliar de residuos de tono marrón y secos: aserrín, papel, chip de madera, hojas secas, entre otros. Para el caso contrario, debe suministrar de desechos húmedos y verdes: frutas, verduras, plantas y pasto.
Humedad	El valor adecuado es entre 50 y 80%, ya que facilita el transporte de nutrientes para el crecimiento microbiano.	Una humedad muy alta en los desechos puede mitigarse mezclando fracciones de residuos más secas, tales como restos de poda.

		En caso de tener un valor muy bajo, realizar riego utilizando los propios lixiviados y agua potable.
Aireación	El suministro de aire permite el crecimiento de los microorganismos al interior de las pilas, pero no se considera la medición directa de la concentración en el interior las pilas. Una forma indirecta de comprobar un flujo insuficiente es la detección de malos olores producto de la descomposición anaerobia	Para incrementar la aireación se deberán realizar volteos mínimo 2 veces al mes por pila e incrementar si se perciben malos olores.
Granulometría	Regula los procesos de transferencia de materia ya que afecta en la cantidad de superficie por unidad de volumen, lo que se traduce en que, a menor tamaño, la descomposición será más veloz. Sin embargo, al disminuir el tamaño de partícula se reducen los intersticios disponibles para la infiltración de aire, afectando la aireación, lo que disminuye la descomposición de los desechos.	Verificar el tamaño obtenido por parte del proceso de triturado en la chipeadora, del orden de los 20mm. El tamaño de partícula final obtenido deberá ser, como máximo, 16mm. Por tanto, se deberá verificar visualmente el estado de la malla del trommel que realiza el tamizaje. Si la fracción de rechazo del tamizaje corresponde, visualmente, a desechos no compostables, deberán ser vertidos al relleno sanitario.
pH	Producto de la naturaleza de los desechos compostados, estos presentan un pH característico levemente ácido, el cual va cambiando debido a la actividad microbiana.	Registra el valor de pH de la pila cada mes, permitiendo detectar la etapa en la que se encuentra, asegurando que el producto alcance la madurez requerida con un pH 7.

5.1.2.3 Disposición de Pilas

Geometría de pilas de compostaje.

La selección de una geometría para una pila de compostaje apela a la creatividad y conveniencia de esta forma respecto a las condiciones ambientales de las instalaciones de compostaje.

De la Tabla 15, se observa que existen 3 formas típicas de pilas, teniendo cada una dimensiones sugeridas. Respecto a las pilas triangulares, sistemas de volteo puede generar la forma casi perfecta, aunque palas cargadoras también pueden generar resultados aceptables. Esta geometría puede ser pasiva o por ventilación aireada, con volteos esporádicos sugeridos.

Tabla 15: Geometrías típicas para pilas de compostaje. Fuente: (Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service; US Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service, 1999)

Forma	Triangular	Trapezoidal	Trapezoidal grande
Altura	1,2 a 2 m	2 a 2,5 m	1,5 a 4 m
Ancho	3 a 4 m	4 a 6 m	6 a 75 m
Largo típico	30 m	30 m	10 m

Pilas trapezoidales son empleadas comúnmente en instalaciones cerradas con volteos automatizados y aireación forzadas.

La geometría trapezoidal más grande se utiliza habitualmente para desechos de jardín con espacios reducidos. Para alcanzar las más grandes alturas requiere materiales estructurales, no siendo recomendada para compostaje estático ya que genera zonas de compactación, causando pobre aireación.

Se realizará volteo a través de minicargador, por lo que se opta por la forma trapezoidal, ya que es la geometría adecuada para la maquinaria. Las dimensiones se encuentran en la Figura 15.

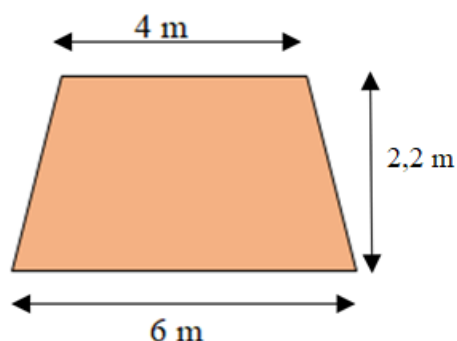


Figura 15: Diseño de pila, sección transversal trapezoidal.

Se vierten capas de desechos orgánicos previamente triturados y tamizados en la etapa de clasificación. La zona superior puede tender a generar una forma semicircular con el paso del tiempo,

ya que esto favorecerá la reducción de acumulación de agua en las épocas lluviosas. Como se observa en la Figura 16, se plantea instalar 2 pilas por cada 1 pasillo, permitiendo que el minicargador pueda verter la materia prima y luego voltear el compost en proceso. Siguiendo el patrón presentado, se busca obtener 28 pilas de fermentación y 14 de pilas de maduración. Estas pilas irán repartidas en 3 filas, quedando 14 pilas en cada una. Para entender la forma en que se distribuyen estas filas, acudir a la sección 5.1.2.7 Ubicación de la planta. .

Pila n:A	Pila n:B	Pasillo n	Pila n+1:A	Pila n+1:B	Pasillo n+1
120 m ²	120 m ²	80 m ²	120 m ²	120 m ²	80 m ²

Figura 16: Posicionamiento de pilas y pasillos.

5.1.2.4 Capacidad planta.

La realización de un balance de masa para una planta de compostaje depende de múltiples factores. La composición y el tipo de desecho para compostar determina la cantidad de sustancias indeseadas a retirar desde el desecho. Además, determina el grado de biodegradabilidad que tiene el desecho. Junto a lo anterior, es necesario determinar la composición del producto final que se desea alcanzar, mientras mayor sea la calidad de este compost menor será la cantidad de producto generado. Se opta por medir a través de ensayos estandarizados para sólidos. La idea de estos es poder realizar un balance de agua, sólidos volátiles y sólidos no volátiles (cenizas), de esta forma poder estimar la capacidad de producción de compost a partir de la materia prima a utilizar en el proceso.

El compost obtenido en las pilas debe pasar por una etapa de tamizaje, donde se obtiene un rechazo constituido por partículas de mayor tamaño, una fracción de estas se recirculan al proceso de compostaje de las nuevas pilas y el rechazo restante es desechado. Una de las principales desventajas de este tipo de procesos es la incerteza que presentan los balances de masa producto de la humedad considerable que presentan tanto las materia primas como el compost. Una situación que puede agravar esto son las condiciones de almacenamiento a las que se exponga el compost.

El compost obtenido como producto final presenta nitrógeno disponible como biomasa microbiana y compuestos húmicos, junto a amonio y limitado nitrato.

Para estimar el tamaño del patio de compostaje, se calcula lo siguiente:

- Capacidad de producción: 2000 toneladas anuales de compost.
- Etapa de producción piloto: 100 toneladas anuales de compost.

Caracterización materia prima

En lo que respecta al tamaño de partícula de los desechos a tratar, los desechos alimenticios orgánicos van en un rango de 2 a 18 cm, con un valor típico 9 cm (Christensen, 2011). Por otro lado, los desechos de jardín varían en un rango de 2 a 30 cm, con un valor típico de 9 cm. El valor de densidad de los desechos dependerá del grado de compresión de las sustancias debido a los camiones, siendo el valor sin compactar a granel de 90 a 150 kg/m³, al interior de contenedores alcanza 180 kg/m³ y el camión al compactar logra hasta 420 kg/m³.

Los desechos por recibir se proyectan, principalmente, como desechos alimenticios. Estos se caracterizan por altamente putrescibles y alta humedad.

El diagrama de proceso se encuentra en la Figura 17. El Balance de masa presentado en la

Tabla 16 está basado en el balance típico de una planta de compostaje de residuos orgánicos domiciliarios separados en origen, adicionando las corrientes de estructurante (Christensen, 2011). La Tabla 17 y Tabla 18 detallan las características y composición másica de las corrientes. Para comprender mejor la secuencia de procesamiento por lotes a realizar, acudir al Anexo 3.

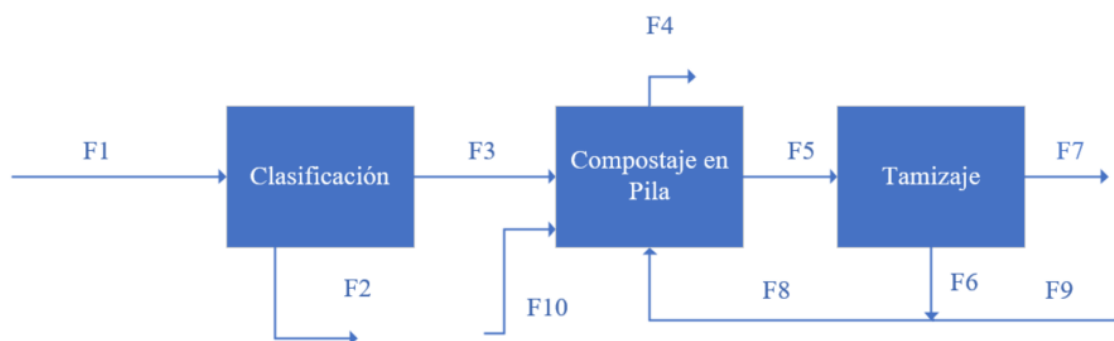


Figura 17: Esquema planta de compostaje.

Tabla 16: Balance de Masa global

Índice de Flujo	Corriente	Flujo anual [ton]	Flujo primer lote [ton/lote]
1	RSM orgánicos	6667	3333
2	Rechazo clasificación	333	167
3	Alimentación compostaje	6333	3167
4	Gases emanados	4200	2100
5	Alimentación a tamizaje	2133	1067
6	Rechazo tamizaje	800	400
7	Compost	2000	1000
8	Agente estructurante recirculado	667	333
9	Rechazo tamizaje no recirculable	133	67
10	Agente estructurante nuevo	0*	333

En la Tabla 16 se hace la diferencia del primer lote respecto al resto ya que se requerirá de adicionar material estructurante para favorecer la formación de las pilas, el cual actúa para estabilizar el material a nivel físico, haciéndolo menos propenso a su desplome

Tabla 17: Descripción y composición de cada corriente.

Índice de Flujo	Corriente	Descripción	% H ₂ O	% Sólidos volátiles	% Cenizas
1	RSM orgánicos	Residuos orgánicos segregados en origen, acumulados en contenedores en la vía pública y trasladados hasta la planta mediante el servicio de aseo.	65	23	12
2	Rechazo clasificación	Se obtiene como rechazo producto de la clasificación manual y chipeadora.	-	-	-
3	Alimentación compostaje	Corriente pretratada que ingresa a pilas de fermentación, sobre un colchón de material estructurante para favorecer la aireación. El proceso es por lotes, donde se estima un tiempo de residencia en fermentación por 4 meses, para luego ser trasladadas mediante minicargador al sector de pilas de maduración. Luego, se estima una duración de 2 meses para la maduración	-	-	-
4	Gases emanados	Obtenidos producto de la descomposición aerobia por acción de los microorganismos a lo largo del proceso de compostaje, lo que se traduce en la conversión de sólidos volátiles en H ₂ O y CO ₂ . Además, contiene compuestos orgánicos volátiles concentración de PPM.	84	16	-
5	Alimentación a tamizaje	Constituida por el compost obtenido en las pilas, requiere la remoción de materia ajena a la enmienda biológica, tales como vidrio, plásticos o desechos cuya relación C/N no es óptima por lo que no sufrió la degradación adecuada. Esta corriente es transportada mediante minicargador al trommel.	-	-	-

Tabla 18: Descripción y composición de cada corriente (continuación).

Índice de Flujo	Corriente	Descripción	% H ₂ O	% Sólidos volátiles	% Cenizas
6	Rechazo tamizaje	Sustancia retirada a través del tamizaje en trommel, equipo que retira partículas por sobre los 16 mm de tamaño. Compuesta principalmente por sustancias no orgánicas o de baja degradabilidad que entraron al compostaje.	-	-	-
7	Compost	Producto obtenido por la clasificación por tamaño del trommel, con un tamaño máximo de 16mm.	33	43	24
8	Agente estructurante recirculado	Compuesta por desechos orgánicos vegetales tales como desechos de poda, hojas secas, ramas, aserrín. Estas se caracterizan por una alta relación C/N, pudiendo ser degradadas en largo tiempo (incluso años) en condiciones de compostaje de pilas. En la práctica, es obtenida por clasificación visual de la corriente F6.	-	-	-
9	Rechazo tamizaje no recirculable	Está compuesta de las fracciones de desechos que no son biodegradables, tales como vidrio y plásticos. Se obtiene como el rechazo de la clasificación visual de la corriente F6, por lo que deberá ser vertida en el relleno sanitario periódicamente.	-	-	-
10	Agente estructurante nuevo	Es la cantidad de estructurante requerida para formar un colchón que favorece la aireación de la pila. Esto permite tener mayor espacio en los intersticios y menor desplazamiento indeseado de sólidos. Cabe mencionar que el primer lote de pilas de compostaje requerirá 333 toneladas para su puesta en marcha, el cual provendrá de las labores de parques y jardines a través de podas, como del mantenimiento de aseo que cuente con cargas similares, previa inspección visual. Si bien se considera que, una vez puesta en marcha las pilas ya no se requerirá agente nuevo, esto en la realidad varía de la composición de los RSM recibidos. Su aparición será dada por cargas de RSM con baja relación C/N y alta humedad, en consecuencia, es clave detectar este requerimiento de manera práctica durante la etapa piloto, de manera de planificar un suministro de agente estructurante a nivel comunal.	-	-	-

5.1.2.5 Maquinaria

El compostaje requiere principalmente la utilización de maquinarias que permita el correcto desarrollo de las etapas de descomposición.

La etapa de clasificación propuesta requiere una chipeadora o trituradora, permitiendo la reducción de tamaño que favorece la acción de los microorganismos, incrementando la velocidad del proceso.

Además, para el compostaje en pila, se requiere invertir en un minicargador.

Finalmente, para la etapa de tamizaje final utiliza un trommel rotatorio, el cual permite realizar clasificación por tamaño de partícula, alcanzando los 16 mm requeridos (basado en la NCh2880:2015).

5.1.2.6 Área requerida

La operación requerirá tanto de espacio para el proceso de descomposición principal como para el resto de las actividades, lo que se denomina superficie auxiliar.

Las dimensiones de cada pila y su respectivo pasillo se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19: Dimensiones de pila trapezoidal de compostaje. Elaboración propia.

Dimensión	Valor	Unidad
Altura	2,2	m
Ancho basal	6	m
Largo	20	m
Área requerida	120	m ²
Ancho pasillo y cima de pila	4	m
Volumen total físico	220	m ³
Volumen Estructurante	20	m ³
Volumen compostable	200	m ³

La geometría para posicionar las pilas tiene como objetivo ubicar 2 pilas en paralelo juntas y luego un pasillo de ancho 4m que permita el ingreso del minicargador, lo que le permite voltear las pilas contiguas.

Luego, a partir de la producción de diseño de la planta y los tiempos de residencia, en la Tabla 20 se estima el volumen formado por lote producido.

Tabla 20: Detalles de capacidad productiva.

Apartado	Valor	Unidad
Producción requerida	2000	ton
Periodo productivo	12	meses
Número de lotes	2	-
Tiempo de total lote	6	meses
Tiempo de fermentación lote	4	meses
Tiempo de maduración lote	2	meses
Producción por lote	1000	ton
Volumen de materia prima por lote	8333	m ³

Las pilas de volteo también requerirán de pasillo para el paso de la maquinaria utilizada, luego, teniendo en cuenta un espaciado de 4 metros, se estima el espacio requerido en la Tabla 21.

Tabla 21: Superficies asignadas a compostaje

Apartado	Nº	m ² individual	m ² totales
Pilas de Fermentación en 2 filas	28	120	3360
Pilas por fila fermentación	14	120	1680
Pasillos por fila Fermentación	6	80	480
Pilas de Maduración	14	120	1680
Pasillos maduración	6	80	480
Área mínima de compostaje			6480

Luego, aplicando un sobredimensionamiento del 12% a las pilas de fermentación y 10% a las pilas de maduración, respectivamente, se tiene como área de compostaje **7216 m²**.

Para el espacio principal, donde ocurre el compostaje, se debe procurar la instalación de tierra preparado, consistiendo principalmente en tierra compactada y grava. Esto permite el manejo de potenciales lixiviados, donde se recomienda un espesor mínimo de 0,2 m a una pendiente de 3 % en dirección hacia las cotas menores, minimizando la contaminación del medioambiente mediante la evacuación de aguas lluvias. Para ello, se debe construir una canaleta auxiliar.

La superficie auxiliar, por otro lado, considera lo siguiente: galpón de maquinarias, galpón de almacenamiento, galpón de chipeadora, acondicionamiento de residuos, administración, caseta de recepción, zona de descanso, zona de harneo y herramientas. Adicionando la superficie auxiliar a la de las pilas, se obtiene como resultado **8609 m²** de planta de compostaje.

5.1.2.7 Ubicación de la planta.

En lo que respecta al posicionamiento de la planta de compostaje, esta se encontrará ubicada sobre la superficie de la celda 1 y 2 del relleno sanitario el molle (antiguo vertedero sellado), cuya ubicación y dimensiones ya fueron descritas en la Figura 15. El proyecto considera aportar una nueva forma de valorizar los desechos orgánicos en un mismo centro de tratamiento de residuos, generando la disminución de los residuos que terminan en el relleno sanitario, lo que a la larga busca extender la vida útil de este. Cabe resaltar que el terreno es de propiedad municipal, por lo que su uso no tendría costo. Una de las principales deficiencias que no fue posible dilucidar a través de esta tesis es el estado en términos de estabilidad del propio suelo de cobertura del vertedero, por lo que se enfatiza en hacer un estudio de resistencia de suelos.

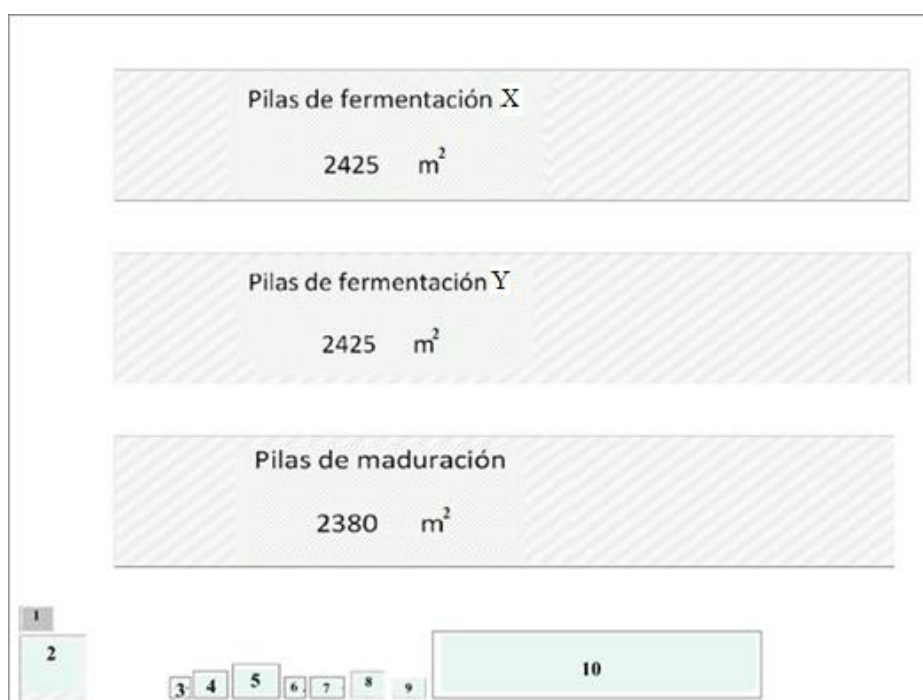


Figura 18: Esquema propuesto a nivel de ingeniería conceptual.

Por temas de escala, se enumeran las áreas complementarias o auxiliares a las pilas de compostaje:

1. Zona de chipeo: ocurre el chipeo o triturado de los RSM obtenidos previa inspección en la zona de acondicionamiento.
2. Zona de acondicionamiento: Lugar de recepción de los RSM traídos por los camiones del servicio de aseo.
3. Portería: caseta donde permanecerá un guardia, actuando como recepcionista de los camiones.
4. Administración: oficina tipo container.

5. Zona de descanso: Lugar donde estarán los servicios higiénicos, espacio de descanso y alimentación.
6. Bodega de herramientas.
7. Laboratorio de analítica: espacio dedicado al estudio de las propiedades físico-químicas de las corrientes críticas de proceso.
8. Galpón de maquinarias.
9. Zona de tamizaje: destinado al trommel.
10. Galpón de almacenamiento: Espacio para acumular el compost obtenido antes de su despacho como producto paisajístico.

5.2 Control del proceso y calidad de producto final

5.2.1 Condiciones de operación.

Para el correcto procesamiento de los desechos es necesario considerar las condiciones de entrada de los residuos vegetales, de manera de ser capaces de hacer acondicionamiento del material. Si se realiza algún tipo de clasificación visual, es posible identificar segregar las carga de desechos en dos tipos: verdes y leñosos. Los primeros están relacionados con desechos de frutas y verduras, los cuales presentan una mayor concentración de nitrógeno, mientras que los leñosos serían hojas, ramas y restos de poda, presentando una mayor masa de carbono.

Se elige una relación C-N de 25, donde se deberá procurar visualmente de alcanzar esta relación con la debida combinación de las materias disponibles. Por otro lado, se recomienda un valor de humedad de alrededor de 65%, esto para permitir el funcionamiento de los microorganismos descomponedores, sin la generación excesiva de lixiviados. El pH deseado está en el rango de 6 a 7, brindando un ambiente idóneo para el compostaje. Producto de esto, se debe tener especial cuidado con sustancias especialmente ácidas, tales como los cítricos

El monitoreo de temperaturas es un indicador prioritario de la actividad microbiana, se deberá controlar la temperatura del centro de las pilas mediante un sensor de tipo termistor, permitiendo tener un registro de este valor, sobre todo en la etapa de compostaje activo (sobre los 50°C), de manera de asegurar las condiciones adecuadas.

Para controlar la humedad de las pilas durante el compostaje se realizará la prueba del puño, como se observa en Figura 19.

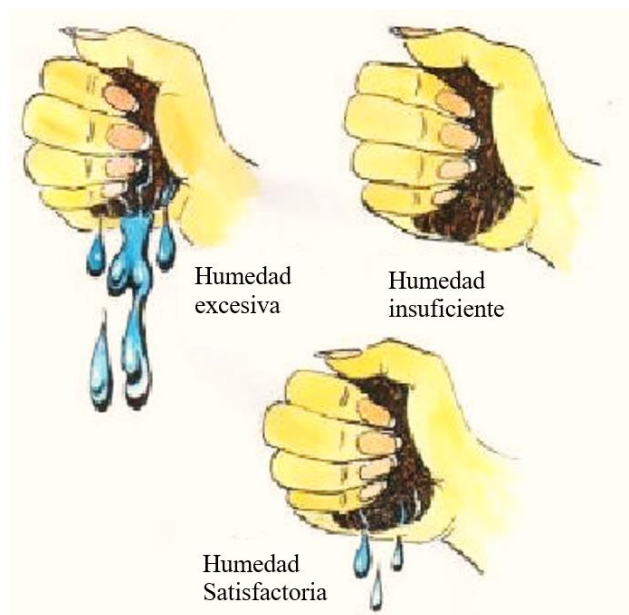


Figura 19: Prueba del puño para humedad de compost.

A continuación, en Tabla 22 se describen las sustancias consideradas como compostables:

Tabla 22: Resumen sustancias compostables y sus características físico-químicas (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1993).

Sustancia	Humedad % a peso humedo	Sólidos volátiles en base seca	C/N	N% en base seca	Estructura
Desechos alimentarios	75	90	22	1,9	Baja
Desechos biológicos					
Zonas céntricas	64-77	56-86	17-27	1,2-2,3	Baja
Zonas residenciales	57-71	45-77	15-23	1,1-2,0	Baja a buena
Cartón	8		563	0,1	Medio
Periódicos	3-8	40-69	23-45	0,06- 0,14	Buena
Papeles	20		127- 178	0,2- 0,25	Medio
Desechos sólidos municipales orgánicos					
Desechos de poda					

Césped	70	60-77	13-16	2,0-2,8	Baja
Hojas	18-49	75-92	35-56	0,9-1,3	Medio
Césped y hojas combinados	32-67	41-77	17-40	0,6-1,4	Medio
Barrido	30-58	33-69	19-41	0,4-1,1	Buena
Mezclado	46-63	44-74	18-41	0,7-1,4	Buena
Astillas		65-85	400-500	0,1-0,4	Buena
Paja	4-27		48-150	0,3-1,1	Buena
Estiércoles de equinos	35-72		20-93	0,5-1,9	Buena
Pura de manzanas	88		48	1,1	Baja

En términos del proceso, el control visual por parte de los operarios resulta clave para minimizar la admisión de sustancias no recomendadas. Cabe señalar que durante el acondicionamiento se realiza un chipeo que permite la reducción de tamaño, siendo el valor máximo deseado de unos 20mm.

5.2.2 Control de olor

Cuando el proceso de compostaje no tiene un buen control de la aireación de la materia prima, reacciones biológicas anaerobias se ven favorecidas, causando la emisión de malos olores. Por ello debe considerarse una pequeña fracción de compost maduro como recirculación para cubrir con una capa no mayor a 15 cm, lo que permite el filtrado de olores, junto con actuar con aislante térmico y reducir la tasa de evaporación en las pilas.

Una consideración importante será verificar la dirección del viento relativa a las pilas de fermentación, buscando obstruir el flujo con la instalación de árboles o aprovechar el apantallamiento de alguna otra estructura. Si las medidas tomadas no consiguen controlar los olores, deberá verificarse la fuente, con su respectiva intensidad y su distancia de influencia, pudiendo esta pila ser desechada como cobertura para el relleno sanitario aledaño.

5.2.3 Verificación de calidad y madurez

El control del compost producido es vital para clasificarlo y proponer el uso que este podría tener como fertilizante natural. En términos biológicos, deberá estar inactivo, es decir, con una cantidad de patógenos dentro de los estándares de la normativa. Si se aplica compost inmaduro a los suelos se corre el riesgo de perjudicar el ciclo del nitrógeno, generando un proceso de maduración tardío que disminuiría la concentración de oxígeno disponible.

A partir de la regulación de NCh 2880, normativa que regula la calidad de compost en nuestro país, se debe cumplir lo siguiente:

1. Rango de pH: entre 5 y 8,5.

2. Proporción másica C/N: mayor o igual a 20.
3. Densidad aparente: menor o igual a 700 kg/m³.
4. Tamaño de partícula: menor o igual a 16 mm.
5. Semillas viables: dos propágulos de malezas por litro de compost, mediante pruebas en una cámara de crecimiento durante 7 días.

Los parámetros reproducción y crecimiento se traducen en la eficiencia de producción y calidad del compost obtenido.

Para medir la calidad del producto final, se utilizan los análisis descritos en la Tabla 23.

Tabla 23: Análisis para la determinación de la madurez del compost.

Ensayo	Rango de aceptación para compost
Temperatura	Menor o igual a 20°C
Relación Amonio/Nitrato	Menor o igual a 3
Concentración de Amonio	Menor o igual a 500 mg/kg
Contenido de ácidos orgánicos volátiles	Menor o igual a 300 mg/kg
Germinación de semillas	Mayor o igual al 80%
Evolución CO ₂	Menor o igual a 8 mg de C-CO ₂ /g de materia orgánica por día
Absorción O ₂	Menor o igual a 3,5 mg de O ₂ /g de materia orgánica por día

Estos parámetros son claramente variables ya que dependen de la metodología utilizada, materias primas alimentadas y condiciones climatológicas. Al ser un proceso aerobio, los microorganismos dependen de oxígeno para su supervivencia, por lo que la aireación adecuada permite reducir la compactación.

Lo que indica la normativa en lo que respecta a parámetros de inocuidad y control de microorganismos en el producto final corresponde a la Tabla 24.

Tabla 24: Estudio de inocuidad de microorganismos en compost de acuerdo con NCh 2880:2015.

Patógeno	Valor admitido	Cantidad estudiada
<i>Salmonella spp</i>	≤3 NMP	4 g de compost en base seca
Coliformes fecales	<1000 NMP	1 g de compost en base seca
Huevos de helmintos viables	≤ 1	4 g de compost en base seca.

Para el apartado de metales pesado, la Tabla 25 y Tabla 26 exponen los valores para compost clase A y B, respectivamente.

Tabla 25: Concentración metales pesados en compost Clase A con NCh 2880:2015.

Metal pesado	Concentración máxima (mg/kg)
Arsénico	15
Cadmio	2
Cobre	100
Cromo	120
Mercurio	1
Níquel	20
Plomo	100
Zinc	200

Tabla 26: Concentración metales pesados en compost Clase B con NCh 2880:2015.

Metal pesado	Concentración máxima (mg/kg)
Arsénico	33
Cadmio	9
Cobre	400
Cromo	100
Mercurio	2
Níquel	80
Plomo	220
Zinc	800

La norma clasifica el compost para fines comerciales como clase A para agricultura orgánico y clase B para el resto de los fines. En el capítulo 4 de la NCh 2880:2015 se describen las características del producto, siendo definidos los parámetros de materia prima, fisicoquímicas y sanitarios.

Las plantas de compostaje a partir de residuos sólidos municipales suelen acumular metales pesados, estando correlacionado este incremento de concentración con la poca segregación y pretratamiento de los residuos al alimentarlos al proceso (Ciavatta, Govi, Simoni, & Sequi, 1993). De todas maneras, la biomasa presenta de forma natural mayores concentraciones de metales que otras tierras orgánicas

(Petruzzelli, 1996). En este sentido, para mitigar estos efectos se emplean agentes quelantes, sustancias que capturan los metales formando complejos, pudiendo actuar en el compost como en los suelos contaminados (Jorgensen, 1993).

Con respecto a la operación y diseño de la planta de compostaje, existe la normativa NCh 3382:2016. Al ser una planta de Residuos Sólidos Municipales segregados en origen entonces se clasifica como instalación Categoría 2, atribuyéndose un impacto ambiental medio. Adicionalmente, como el volumen de diseño gestionado al interior de la planta es superior a 1200 m³ anuales, lo que trae como consecuencia el requisito de cumplir las siguientes condiciones:

Diseño

- ✓ Tipo y cantidad de materia prima permitidos: Categorización de los materiales orgánicos permitidos en cada categoría (descrito en la norma)
- ✓ Características del sitio: debe cumplir con los permisos sectoriales necesarios y debe contar con una pendiente no mayor al 10 %.
- ✓ Accesibilidad: entre otras características, las plantas deben contar con un control de acceso, una vía de acceso transitable, un sistema de registro de materia prima y un sistema de pesaje
- ✓ Áreas de operación a considerar para la recepción de materias primas, la limpieza de contenedores y vehículos, proceso de compostaje y maduración, almacenamiento del compost y almacenamiento de residuos rechazados, espacio para la realización de todas las maniobras
- ✓ Plan de manejo de olores, y sistema de abatimiento de olores en una instalación cerrada.
- ✓ Plan de manejo de plagas y vectores de interés sanitario.
- ✓ Plan de manejo de material particulado, incluyendo condiciones de mantenimiento de humedad adecuada y limpieza.
- ✓ Manejo de aguas residuales del proceso de compostaje a través de la impermeabilización de suelos (mínimo un suelo de 20 cm de espesor y coeficiente de conductividad hidráulica de 10-6 cm/s).
- ✓ Plan de manejo de aguas pluviales.
- ✓ Consideración de las condiciones climáticas y geográficas.
- ✓ Plan de contingencia.

Operación

- ✓ Control de materia prima, de acuerdo con la materia prima establecida en la norma NCh2880
- ✓ Relación carbono/nitrógeno en una escala mayor o igual que 25:1, y pH a mantener entre 5,5 y 8,5

- ✓ Temperatura por respetar según el tiempo transcurrido para asegurar la higienización del producto a través de un proceso de volteo o aireación forzada: 55-59°C durante mínimo 2 semanas, 59-65°C durante mínimo 1 semana, y más de 65°C por lo menos 3 días
- ✓ La mezcla de materiales debe tener un valor inicial de 40 a 60 % de humedad. El nivel de humedad se deberá mantener durante el proceso de compostaje entre 40 y 70 %.
- ✓ Toda planta de compostaje debe contar con un sistema de registro.

Por tanto, el proyecto deberá cumplir las características señaladas en su diseño y operación, respectivamente.

Para la generación de esta experiencia piloto se propone una política ambiental de parte del Departamento de Medio Ambiente de la Ilustre Municipalidad de Valparaíso: “Tratamiento de residuos orgánicos domiciliarios mediante compostaje para el fortalecimiento de las áreas verdes comunales”. Bajo el alero de esta política se proponen los siguientes programas:

1. Programa de educación ambiental: Generar material audiovisual disponible en plataformas web que explique en qué consiste el compostaje y el reciclaje en general, haciendo impulso de este programa a través del sitio del municipio, redes sociales y medios de comunicación masiva. Junto a esto, hacer intervención a nivel escolar, con actividades educativas enfocadas a los estudiantes de enseñanza básica y media, enfatizando en la importancia de la segregación y posterior gestión de residuos.
2. Programa de separación en origen: Cerca de 30.000 hogares participarán de un programa de separación de sus desechos, donde deberán entregar una vez por semana los desechos orgánicos vegetales que hayan acumulado. Junto con ello, se deberá realizar fortalecer el programa educativo mediante la realización de clases o actividades que involucren a estos hogares del programa piloto, priorizando la participación de líderes en el reciclaje a nivel regional, haciendo énfasis las 3R: Reducir, Reutilizar y Reciclar. La segregación en origen genera efectos como la reducción de desechos generados, permite obtener un compost de buena calidad, junto con la sensibilización ambiental de la ciudadanía. Esto contribuye a mejorar el nivel educacional y social de la población, generando nuevos empleos y alargando la vida útil de rellenos sanitarios.
3. Programa de recolección diferenciada: Los hogares participantes del programa de separación en origen contarán con la recogida de sus desechos orgánicos vegetales mediante la misma maquinaria utilizada en la actualidad. Para ello, se dejará un día a la semana para recepción de desechos orgánicos y otro para recepciones de desechos mixtos.

4. Programa de compostaje: El compostaje se llevará a cabo en 2 etapas: etapa piloto y producción a escala comunal. El objetivo es generar una sustancia fertilizante para fomentar la recuperación de las plazas públicas a través del fortalecimiento de las áreas verdes.

Para alcanzar el objetivo de producción de 2.000 toneladas anuales, es que primero se propone realizar un programa piloto que permita detectar las fluctuaciones y el comportamiento de la población a la hora de segregarse sus residuos de fracción orgánica. Por tanto, antes de invertir en la construcción de las instalaciones es conveniente procesar por 1 semestre (como mínimo) un lote productivo de hasta 100 toneladas de compost, para lo que se requiere poco más de 300 toneladas de desechos orgánicos vegetales. Para esto, se propone una captura de desechos durante un mínimo de 6 meses. De esta manera, si se considera un procesamiento del compostaje con un tiempo de residencia de 6 meses, al finalizar 1 año se habrán terminado de procesar las pilas, lo que permitirá estudiar el comportamiento de los usuarios de este nuevo servicio de aseo segregado. Junto a esto, se podrá determinar la calidad del compost mediante las respectivas pruebas de laboratorio, las cuales se encuentran sustentadas en la normativa de calidad del compost: NCh 2880. De esta forma, se pretende comprender las características del producto obtenido, lo cual tiene directa relación con el uso que se puede hacer de esta sustancia. Cabe destacar que, si el producto no cumple con los estándares de calidad, se descartaría la posibilidad de su comercialización. Sin embargo, esta condición no impediría el uso de este remediador de suelos en las áreas verdes de la comuna.

Se recomienda la recogida una vez a la semana de 3.140 viviendas por alrededor de 6 meses, permitiendo comprender la propensión que tienen los habitantes de participar y entregar sus desechos vegetales. Para ello, se propone utilizar 10 servicios de aseo semanales, con 3 rutas diferentes cada uno, lo cual permitiría alcanzar la cifra deseada a procesar.

La metodología socioambiental por proponer considera los siguientes pasos:

1. Publicitar mediante el programa de educación ambiental sobre este proyecto a escala demostrativa: Además de detallar los objetivos de la planta de compostaje, se llamará a las juntas de vecinos a postular mediante la recolección de firmas, tomándose en cuenta a los vecindarios que cuenten con la firma de 100 jefes de hogar o 200 personas (ambas serán contadas como válidas).
2. Una vez recolectada la información, se detectará el grado de interés en la participación de la ciudadanía en la segregación de los desechos, lo que permitirá generar estadísticas de cuantos vecindarios y personas se encuentran interesados. Al ubicar cada junta de vecinos en el mapa podrá detectarse qué servicios o rutas permiten satisfacer la demanda de desechos orgánicos para el pilotaje.

3. Se presentará como aliciente a los vecindarios seleccionados el hecho de poder potenciar las plazas públicas mediante el mantenimiento de sus áreas verdes. Una manera de compensar su interés sería comprometerse a realizar el mantenimiento de las plazas del vecindario, según la disponibilidad de compost lo permita.

A nivel comunal, se plantea un plan intensivo para los vecindarios pilotos, al mismo tiempo que se comienza a involucrar el resto de la comunidad. Para ello, deben abarcarse temáticas que hagan énfasis en:

1. Segregación en origen: Ventajas y casos de éxito.
2. Impacto ambiental que genera este nuevo plan de gestión.
3. Incentivos y resultados favorables para los ciudadanos.
4. Usos del compost y aplicación en la comuna.
5. Bolsas biodegradables y su importancia para producir compost.

Es de suma importancia realizar charlas, principalmente a los sectores de menores recursos (según registro social de hogares). En el caso de los participantes en el programa piloto se les entregará un contenedor y bolsas compostables, acompañado de una guía digital y un tríptico que contenga la información básica para distinguir las sustancias que deben acumular en la fracción orgánica y la frecuencia con que serán recogidos. Cada vivienda recibirá 1 bolsa de 20 litros semanal durante 5 años, donde dispondrán de un contenedor de 240 litros que compartirán con alrededor de 8 viviendas. Otra arista por considerar es realizar actividades al interior de liceos, buscando la mayor difusión de los programas a realizar por parte del municipio.

Finalmente, ver la posibilidad de realizar visitas o exponer filmaciones del trabajo que se logra al interior de la planta en su etapa piloto, lo que se debe complementar con la opinión de expertos que trabajen en viveros o similares, destacando los beneficios y la aplicación real que tiene el compost.

Requerimientos legales para el reciclaje de materia orgánica:

Al acudir a la normativa instaurada por la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, en el reglamento del Artículo N°3, apartado O.5 del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, se indican los requisitos para un centro de reciclaje, debiendo someterse a evaluación de Impacto Ambiental.

Procedimientos exigidos por normativa:

- Recepción de desechos.
- Análisis de compost.
- Gestión de lixiviados.
- Gestión de la planta.

- Respuestas a accidentes e incidentes.
- Notificación de incidentes.
- Administración de registros.
- Información pública.

Gestión de líquidos

Lixiviados.

Se identifica como el desecho líquido obtenido de forma natural en la etapa de descomposición de materia orgánica y las zonas de descarga de residuos. Se propone construir canaletas para la colección del líquido lixiviado alrededor de las pilas. La finalidad es recolectar este líquido en balsas o piscinas, pudiendo ser combinado con los lixiviados de las celdas del rellenos sanitario. La idea es que esta sustancia pueda ser reinyectada a las celdas 1 y 2, favoreciendo el proceso de pervaporación y consecuente generación de gas metano. Si bien el gas generado es de efecto invernadero, este es aprovechado energéticamente en una planta de combustión interna, convirtiendo estos gases en CO₂, reduciendo el efecto invernadero producto de la gestión de residuos. Para el volumen de residuos orgánicos a procesar se requiere una balsa de 21 m³. Sin embargo, debido al bajo índice pluviométrico en la región en la última década (500 mm máximo anual), se presume que la masa de agua a acumular será muy baja, siendo esta evaporada al ambiente o consumida para el riego de las pilas.

El cálculo de la balsa fue estimado mediante valores teóricos generados por tonelada procesada (Centro Nacional del Medio Ambiente, 2019), entregado en el Anexo 4. Además, es posible encontrar los valores de composición típica del lixiviados de compostaje en el Anexo 5.

Además, en lo que respecta a las lluvias que recibe el lugar, se debe considerar un sistema de drenaje principal de aguas lluvias.

Aguas sucias

Este desecho se obtiene en las zonas de maduración y almacenamiento de productos finales, donde se indica su recirculación hacia las pilas de fermentación y maduración. En términos prácticos, se instalará una balsa de 105 m³. El cálculo de esta balsa se encuentra en Anexo 7.

Aguas limpias

Son resultado de la escorrentía de los techos y llevadas hacia la canalización. Es posible verterla a las pilas de compost o liberar para su libre vertido hacia la quebrada.

Gestión de olores

En lo que respecta al apartado de gases generados, se indica que los potenciales malos olores en un proceso de compostaje producidos principalmente por la falta de aireación, causando descomposición anaerobia. Por tanto, se propone el volteo de las pilas para su debida aireación, ya sea con apaleo o maquinaria, según lo amerite la situación. Además, recomendar el vertido de compost maduro sobre

las pilas de fermentación de manera de generar un biofiltro que controle el flujo de gases hacia el ambiente, al mismo tiempo que favorece la retención del calor al interior de las pilas. En términos más detallados, las principales sustancias en términos de olores son:

- Ácidos orgánicos, sulfuros orgánicos y sulfuros de hidrógeno: a causa de la falta de aireación, se presenta descomposición anaerobia, obteniendo estos productos.
- Amoníaco: debido a una baja relación C/N, lo que generalmente ocurre al tratar purines o lodos de aguas residuales (no es el caso de esta instalación).
- Compuesto orgánicos volátiles: corresponden a sustancias orgánicas cuya presión de vapor es al menos 0,01 kPa a los 20°C. Pertenecen a esta categoría compuestos azufrados, aromáticos, terpenos, aldehídos, cetonas, alcoholes, ésteres y otros.

Polvo en suspensión

Para favorecer las condiciones de salud de los trabajadores, deberá minimizarse la generación de polvos, por lo que deberán tomarse la construcción protegida del viento y control de la humedad en los distintos productos y operaciones. En un caso muy extremo, deberá evaluarse la instalación de ciclones o filtros de mangas rodeando el sector afectado por la concentración inusual de polvos.

Requisitos Sanitarios

En materia legal, el Código Sanitario “Decreto con Fuerza de Ley N°725” entrega al Ministerio de Salud la capacidad de autorizar a nivel de proyecto y operación a plantas que involucren recepción y procesamiento de residuos. Además, una vez instalado, deberá cumplir con labores de fiscalización. Los artículos que revelan esta situación son:

1. Artículo 78: el Reglamento fijará las condiciones de saneamiento y seguridad relativas a la acumulación, selección, industrialización, comercio o disposición final de basuras y desperdicios.
2. Artículo 79: Al momento de construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier planta de tratamiento de residuos de todo tipo, es obligatorio contar con aprobación previa del proyecto de parte del Servicio Nacional de Salud.
3. Artículo 80: Servicio Nacional de Salud podrá autorizar la instalación y vigilar el funcionamiento de todo lugar destinado a la acumulación, selección, industrialización, comercio o disposición final de basuras y desperdicios de cualquier tipo. Una vez autorizado, este Servicio establece las condiciones de seguridad y sanitarias requeridas para minimizar riesgos para la salud del personal y comunidad, además de evitar molestias.

En términos prácticos, la Secretaria Ministerial Regional (SEREMI) de Salud es la encargada de autorizar a los destinatarios de residuos peligrosos y no peligrosos.

Capítulo 6 Análisis económico

6.1 Mercado objetivo

El proyecto es de naturaleza social, por lo que busca generar un producto que no será vendido, si no utilizado como enmienda natural de las áreas verdes de la comuna de Valparaíso.

Uno de los principales detalles por comprender es el hecho de que el compost suele venderse en términos “*Ex-Work*”, es decir, el comprador lleva su propio camión y retira el producto a granel o en sacos.

El Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) cuenta con estadística obtenidas mediante el Sistema Informático de Registro Nacional de Certificación Orgánica, la superficie agrícola que ha sido certificada como orgánica en Chile en el año 2016 llegó a 131.973 hectáreas, donde la región de Biobío lidera con 51.830 hectáreas. Para el caso de la región de Valparaíso, esta alcanza apenas 2.832 hectáreas. Al mismo tiempo, el SAG recomienda una aplicación mínima de 20 m³ de compost por hectárea. Luego, la demanda anual de compost a nivel regional corresponde a 56.640 m³, es decir, hasta 40.000 toneladas anuales (con una densidad máxima según norma NCh 2880).

Para este proyecto, el mercado objetivo es el municipio mismo, quien demanda alrededor de 2000 toneladas anuales de compost para poder cumplir sus planes de mejoramiento de parques y jardines. Si más adelante se deseara vender el producto, habría que considerar el proceso de certificación, ya que por Decreto 89/2005 este debe someterse a esa certificación, tanto de la planta como del producto final (Ministerio de agricultura, 2019). Un estudio mediante encuesta físicas, web u otros métodos permitiría estudiar de una manera más certera la demanda de compost en la región de Valparaíso, de forma de comprender si existe espacio para un nuevo productor.

6.2 Criterios de selección económica

- Aunque habrá un precio de venta para el producto obtenido, en realidad son ahorros con respecto a la situación sin proyecto. Esto ocurre porque el objetivo de este tipo de proyectos es mejorar el bienestar social.
- Se proyecta una vida útil del proyecto de 20 años. Una vez culminado este periodo se evaluará el abandono de las instalaciones con un plan de cierre y venta de los equipos.
- La moneda utilizada para la evaluación corresponde al peso chileno, ya que el mercado objetivo es nacional.

- Para el reajuste de valores de pagos, se utilizará la proyección de Índice de Precios al Consumidor.
- La tasa de descuento seleccionada es de 10%. Esto se debe a que el proceso aplica operaciones que son de larga data, por lo que la innovación no radica en el proceso, si no en la integración a nivel comunal de la planta a la cadena de gestión de RSM, siendo una alternativa al relleno sanitario. Por tanto, el riesgo que se corre radica en la capacidad de adaptación de las técnicas seleccionadas al flujo y composición de residuos orgánicos recolectados por los servicios de aseo.
- El proyecto no considera el alza de costos en los procesos de recolección por parte de las unidades recolectoras de RSM, donde solamente se considera la adición de costos en términos de bolsas compostables y contenedores, donde corresponda su uso.
- La estimación de costos recurrió a estimaciones de libro de costos (Timmerhaus, Peters, & West, 2003) (O'Brien, 2015).
- Para indicadores económicos se utiliza el Valor Actual Neto (VAN) con la salvedad de considera el precio del compost análogo a una venta (no se vende realmente), de manera de contrastar la situación con proyecto y sin proyecto al mismo tiempo que se hace una evaluación con perspectivas sociales. Además, se calcula Tasa Interna de Retorno (TIR) y Payback.

6.3 Precios.

La Tabla 27 resume la información publicada por “Vuelta Verde” en su web. (Vuelta Verde LTDA., 2019)

Esta empresa corresponde a una planta de compostaje ubicada en Colina, Región metropolitana. En la actualidad ofrece servicios de retiro y reciclaje de desechos vegetales, además de la venta de sustratos, tierras, compost y equipos de lombricultura.

Tabla 27: Precios de compost según la forma de venta.

Tipo	\$ sin IVA/m ³	\$/Ton Compost	Observación
Compost a granel	28.500	40.714	<i>Ex-work</i> , sobre 5 m ³
Compost saco 37 L	67.568	96.525	<i>Ex-work</i> , sobre 100 sacos
Compost saco 37 L	135.135	193.050	Despacho Santiago, 10 sacos

El negocio del compost suele ser rentable en un radio de no más de 60 kilómetros (O'Brien, 2015), debido a su bajo precio y relativa disponibilidad en zonas productivas de alimentos (como lo es el centro del país).

En lo que respecta a los insumos, se emplea el Índice de Precios del Consumidor (IPC). Este permite detectar la variación mensual de precios de bienes y servicios en el país. La variación anual se presenta como un indicador que permite proyectar el precio de compra de materias primas. En Anexo 2 se encuentra la proyección para los próximos 20 años.

En lo que respecta a energía, se consideran los valores típicos consumidos por fábricas de compost a través de pilas volteadas mediante maquinaria (O'Brien, 2015). La estimación de costo energético por tonelada de compost se encuentra en Anexo 6.

Esta se desglosa en:

- Electricidad: se principalmente en la maquinaria de triturado involucrada en pretratamiento y postratamiento. El valor utilizado corresponde a \$63,5 por kWh (COMISIÓN NACIONAL DE ENERGIA, 2015).
- Combustible maquinaria: se consume diesel para el movimiento de los minicargadores, el cual permite el volteo de las pilas aireadas. El precio ocupado es de \$600 por litro (ENAP, 2019).

En promedio, una tonelada de materia prima consume 29kWh para ser procesada, donde un 70% corresponde a combustible y el resto a electricidad (Van Haaren et al., 2010).

6.4 Costos de Capital

6.4.1 Costos fijos

Corresponden a los costos para la instalación del proceso productivo. Estos se resumen en: equipos, preparación de terrenos y construcciones.

- La inversión de equipos es de cerca de 90 millones de CLP, donde el mayor costo son los vehículos. Se describe este apartado en Tabla 28.

Tabla 28: Inversión de equipos de proceso.

Etapa	Equipo	Precio \$
Pretratamiento	Chipeadora	\$7.953.509
Volteo	Minicargador	\$40.000.000
Tamizaje	Trommel rotatorio	\$19.120.000
Entrega de producto	Camión tipo “turbo”	\$20.000.000
Total		\$87.073.509

- La inversión para la implementación de terreno busca preparar la superficie para que los líquidos generados por las pilas no permean de manera no deseada hacia el interior de suelo (O'Brien, 2015). Este valor se suma al de construcción dentro del desglose de costos directos. Esta inversión está descrita en la Tabla 29.

Tabla 29: Inversión de implementación de terreno

Espacio	Área [m ²]	Precio \$
Suelo de fermentación-maduración	7216	\$42.794.661
Acondicionamiento de MP	100	\$593.052
Zona de chipeo/trituradora	20	\$118.610
Tamizaje	15	\$88.958
Total	7351	\$43.595.281

- La inversión de construcción se enfoca a los espacios que requieren de algún tipo de techumbre para proteger tanto maquinarias como a los empleados (O'Brien, 2015). Los valores respectivos están en la Tabla 30.

Tabla 30: Inversión de construcciones.

Espacio	m ²	$\left[\frac{\$}{m^2} \right]$	Precio \$
Galpón Maquinas	20	7000	\$140.000
Galpón almacenamiento	500	7000	\$3.500.000
Bodega herramientas	9	7000	\$63.000
Portería	9	162.633	\$1.463.700
Administración	20	162.633	\$3.252.667
Zona de descanso	35	162.633	\$5.692.167
Total construcciones principales			\$14.111.533

Finalmente, para el resto de los costos directos de la planta de compostaje, se utilizaron valores de literatura (Timmerhaus, Peters, & West, 2003). Esto se realiza para poder estimar los costos a nivel de ingeniería conceptual, quedando resumido en la Tabla 31.

Tabla 31: Costos Directos del proyecto.

Componente	Porcentaje respecto a costos totales %	Precio \$
Equipamiento	35	\$100.084.884
Instalación de equipamiento	6	\$17.157.409
Instrumentación y control	2	\$5.719.136
Cañerías y balsas	6	\$17.157.409
Sistema Eléctrico	2	\$5.719.136
Construcciones y terreno	20	\$57.706.815
Jardinería	2	\$5.719.136
Instalaciones de servicios	8	\$22.876.545
Emplazamiento	0	0
Total		\$232.140.470

En el ítem de equipamiento, además de considerarse los equipos de proceso, se adiciona la inversión de 393 contenedores de 240 litros para el programa piloto de segregación de residuos, costo que corresponde a alrededor de 13 millones de CLP.

El emplazamiento se considera costoso 0 ya que “El Molle” corresponde a un terreno del municipio de la comuna de Valparaíso, por lo que no requiere de inversión.

6.4.2 Costos indirectos

Se denominan costos indirectos a aquellos que permiten la ejecución de las obras relacionadas con el proyecto. Al ser una ingeniería conceptual, su valor fue estimado netamente con datos de literatura a partir de las inversiones en el ítem de costos directos (Timmerhaus, Peters, & West, 2003).

Costos Indirectos	Porcentaje respecto a costos totales %	Valor CLP
Ingeniería y Supervisión	7	\$20.587.490
Gastos de construcción	6	\$17.646.420
Tarifas legales	1	\$2.941.070
Contratistas	3	\$8.823.210
Contingencias	4	\$11.764.280
Total		\$61.762.471

6.4.3 Capital de trabajo

El capital de trabajo corresponde a una parte de la inversión que asegura a la empresa poder trabajar y ejecutar sus labores, permitiendo continuar la producción. La idea es que la falta de ingresos no sea impedimento para producir.

A partir de la literatura se selecciona un valor de 10% con respecto a la suma de costos directos e indirectos, estimándose un valor de \$29.517.156. Luego, se entrega en la Figura 20 en porcentaje de influencia que tiene el tipo de inversión.

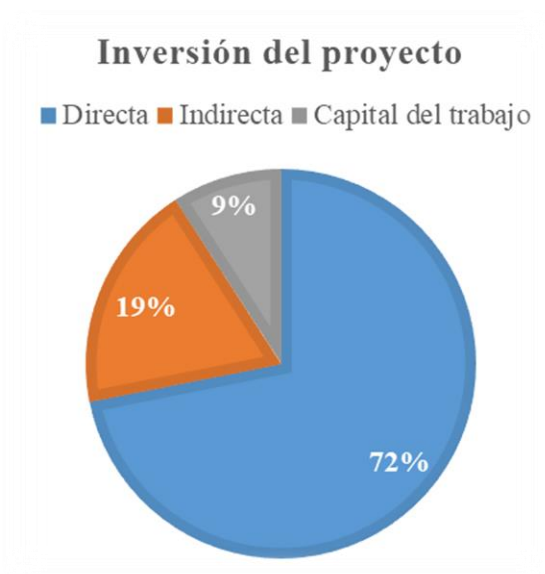


Figura 20: Porcentaje de las inversiones del proyecto respecto al total.

6.5 Costos de operación

Son los gastos en que se incurre para operar como planta productiva. Estos consideran producción y administración.

6.5.1 Costos de producción

Este apartado considera los trabajos de mano de obra directa, materias primas,

Mano de obra:

Según información obtenida a partir de casos de plantas reales, se utiliza la recomendación de tener al menos 2 personas por operación (Yachiyo Engineering Co., 2002). Este número se selecciona en proporción las características y capacidad instalada. Además, se plantea el trabajo en sólo 1 turno (excepto en guardias), siendo la jornada 180 horas mensuales, con capacidad de procesamiento de desechos sólidos municipales de 25 toneladas diarias. Descritos los salarios en Tabla 32.

Tabla 32: Salarios de mano de obra.

Recurso humano	Cantidad	Salario bruto [clp/persona]	Total por cargo [clp]
Operarios	8	\$4.200.000	\$ 33.600.000
Químico analítico y administrativo	1	\$6.600.000	\$ 6.600.000
Conductor maquinaria	1	\$6.600.000	\$ 6.600.000
Guardias	3	\$4.560.000	\$ 13.680.000
Total			\$ 60.480.000

Materia prima:

En términos de materia prima, el proceso considera solamente el uso de agua para el riego de los residuos compostables. Además, se considera a costo \$0 el valor de los residuos al ser recibidos (quedando el costo de recolección fuera del alcance el proyecto). Esto ocurre porque se considerará invariable, respecto al caso base, en lo que respecta a recorridos, servicios de aseo y lugar de disposición (Centro de tratamiento de residuos “El Molle”). Se considera un consumo de 0.2 ton de agua por ton de materia prima tratada, lo que se traduce en 0.67 ton por compost producido.

Servicios

Son los costos relacionados con electricidad y combustible (diesel). Estos fueron estimados en base a valores de demanda típico, con el respectivo reajuste anual por IPC. La estimación de costos de servicio se encuentra en la Tabla 33.

Tabla 33: Costo anual en servicios.

Ítem	Año 1	Año 2	Año 3
Agua	\$102.438	\$2.098.728	\$2.149.904
Electricidad	\$195.145	\$3.998.076	\$4.095.567
Diesel	\$304.491	\$6.238.308	\$6.390.427
Total	\$602.074	\$12.335.112	\$12.635.898

Cabe recordar que el incremento se debe principalmente a la capacidad de procesamiento, donde se apunta a una producción de 100 toneladas de compost, para luego incrementar el procesamiento con metas de producir 2000 toneladas anuales.

Otros

Existen otros gastos considerados en el proyecto que tienen relación con el programa de segregación de residuos municipales. Estos consideran la compra de bolsas compostables para las viviendas involucradas en la etapa piloto, las cuales recibirán 1 bolsa de 16 litros semanal por 5 años.

6.5.2 Depreciación

La depreciación de cada equipo se estima a partir de lo indicado por el Servicio de Impuestos Internos (SII, 2012). A continuación, la Tabla 34 muestra los valores de depreciación de los activos físicos.

Tabla 34: Depreciación Acelerada de activos físicos.

Equipo	Vida útil	Depreciación acelerada	Monto depreciable anual [clp/año]
Chipeadora	15	5	\$1.590.702
Minicargador	9	3	\$13.333.333
Camión turbo (5 toneladas)	7	2	\$10.000.000
Trommel	15	5	\$3.824.000

Cabe señalar que se selecciona el método de depreciación acelerada, sin embargo, dado que, al ser un proyecto evaluado desde la perspectiva del municipio, esta herramienta de escudo fiscal no aporta competitividad en términos económicos ya que no aplica impuesto a la renta.

6.5.3 Gastos generales

Para este proyecto, al ser de una escala tan baja, no se considera personal ejecutivo o de oficina, donde la posición de analista de laboratorio también deberá entregar informes mensuales del funcionamiento de la planta.

En lo que respecta a costos de distribución, se considera el uso del camión tipo turbo, con entrega de compost a granel en un radio de 20 km. El costo asociado al diesel del vehículo para esta distribución se estima en \$850 por tonelada de compost entregado. En el apartado de flujo de caja se entrega el valor anual respectivo.

Los gastos asociados a investigación y desarrollo tienen relación con las labores para mejorar los métodos productiva y la calidad del producto. Este valor se estima como un 5% respecto al costo de producción.

6.6 Flujo de Caja

A raíz de las entradas y salida del proyecto traducidas en dinero, es que el horizonte de evaluación del proyecto permite obtener un flujo de caja anual. Su cálculo permite, bajo una serie de supuestos, estimar los ingresos y egresos que tendrá la empresa, permitiendo realizar una evaluación económica desde una ingeniería conceptual.

Las Tabla 35, Tabla 36 y Tabla 37 entregan los resultados obtenidos.

Tabla 35: Indicadores Económicos del Proyecto

Financiamiento total– Indicadores	
Tasa de descuento	10,00%
Valor Actual Neto	\$ 58.574.748
TIR	11,46%
Payback	17

Tabla 36: Flujo de Caja Neta.

Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Precio de venta* [\$/Ton]		\$40.000	\$41.195	\$42.426	\$43.693	\$44.998	\$46.342	\$47.727	\$49.152	\$50.621	\$52.133
Costo por disposición RSM [\$/Ton]		\$10.000	\$10.299	\$10.606	\$10.923	\$11.250	\$11.586	\$11.932	\$12.288	\$12.655	\$13.033
Ahorro por disposición de RSM [\$/ton]		\$3.100.000	\$31.926.052	\$65.759.534	\$67.723.945	\$69.747.038	\$71.830.565	\$73.976.334	\$76.186.202	\$78.462.085	\$80.805.954
Producción [Ton/año]		\$100	\$1.000	\$2.000	\$2.000	\$2.000	\$2.000	\$2.000	\$2.000	\$2.000	\$2.000
Costo fijo [CLP/año]		\$62.286.697	\$64.147.365	\$66.063.616	\$68.037.110	\$70.069.558	\$72.162.721	\$74.318.411	\$76.538.498	\$78.824.905	\$81.179.613
Costo Variable [CLP/ton]		\$7.156	\$7.369	\$7.589	\$7.816	\$8.050	\$8.290	\$8.538	\$8.793	\$9.055	\$9.326
Ingresos [\$/año]		\$7.100.000	\$73.120.957	\$150.610.546	\$155.109.680	\$159.743.215	\$164.515.166	\$169.429.668	\$174.490.979	\$179.703.484	\$185.071.701
Egresos operacionales [\$/año]		\$63.002.252	\$78.885.979	\$81.242.511	\$83.669.439	\$86.168.866	\$88.742.957	\$91.393.944	\$94.124.122	\$96.935.857	\$99.831.587
Margen operacional		\$-55.902.252	\$-5.765.022	\$69.368.034	\$71.440.241	\$73.574.349	\$75.772.209	\$78.035.724	\$80.366.857	\$82.767.627	\$85.240.114
Costos no operacionales											
Bolsas		\$33.463.363	\$34.463.002	\$35.492.503	\$36.552.757	\$37.644.685					
Costo transporte producto final		\$87.463	\$900.761	\$1.855.339	\$1.910.763	\$1.967.842	\$2.026.627	\$2.087.168	\$2.149.517	\$2.213.729	\$2.279.859
Depreciación		\$24.924.035	\$24.924.035	\$14.924.035	\$1.590.702	\$1.590.702					
Pérdidas del ejercicio anterior			\$114.377.114	\$180.429.935	\$163.333.777	\$131.947.759	\$99.576.639	\$25.831.058			
Utilidad despues de Impuestos netas		\$-114.377.114	\$-180.429.935	\$-163.333.777	\$-131.947.759	\$-99.576.639	\$-25.831.058	\$50.117.499	\$78.217.340	\$80.553.898	\$82.960.256
Pérdidas del ejercicio anterior			\$114.377.114	\$180.429.935	\$163.333.777	\$131.947.759	\$99.576.639	\$25.831.058			
Inversión	\$189.071.695	\$126.047.797									
Inversión directa	\$139.284.282	\$92.856.188									
Inversión Indirecta	\$32.599.077	\$21.732.718									
Capital del Trabajo	\$17.188.336	\$11.458.891									
Depreciación		\$24.924.035	\$24.924.035	\$14.924.035	\$1.590.702	\$1.590.702					
Flujo de caja neto	\$-189.071.695	\$-215.500.875	\$-41.128.786	\$32.020.193	\$32.976.720	\$33.961.822	\$73.745.582	\$75.948.557	\$78.217.340	\$80.553.898	\$82.960.256
Flujo de caja actualizado	\$-189.071.695	\$-195.909.887	\$-33.990.732	\$24.057.245	\$22.523.544	\$21.087.619	\$41.627.458	\$38.973.618	\$36.488.966	\$34.162.716	\$31.984.770
Flujo de caja acumulado	\$-189.071.695	\$-384.981.581	\$-418.972.313	\$-394.915.069	\$-372.391.525	\$-351.303.906	\$-309.676.447	\$-270.702.829	\$-234.213.863	\$-200.051.146	\$-168.066.376

Tabla 37: Flujo de Caja Neta (Continuación)

Periodo	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Precio de venta* [\$/Ton]	\$53.690	\$55.294	\$56.946	\$58.647	\$60.399	\$62.203	\$64.061	\$65.975	\$67.946	\$69.976
Costo por disposición RSM [\$/Ton]	\$13.423	\$13.824	\$14.236	\$14.662	\$15.100	\$15.551	\$16.015	\$16.494	\$16.986	\$17.494
Ahorro por disposición de RSM [\$/ton]	\$83.219.841	\$85.705.837	\$88.266.096	\$90.902.837	\$93.618.345	\$96.414.971	\$99.295.141	\$102.261.349	\$105.316.165	\$108.462.236
Producción [Ton/año]	\$2.000	\$2.000	\$2.000	\$2.000	\$2.000	\$2.000	\$2.000	\$2.000	\$2.000	\$2.000
Costo fijo [CLP/año]	\$83.604.662	\$86.102.153	\$88.674.252	\$91.323.185	\$94.051.250	\$96.860.808	\$99.754.296	\$102.734.220	\$105.803.162	\$108.963.781
Costo Variable [CLP/ton]	\$9.605	\$9.891	\$10.187	\$10.491	\$10.805	\$11.127	\$11.460	\$11.802	\$12.155	\$12.518
Ingresos [\$/año]	\$190.600.281	\$196.294.014	\$202.157.833	\$208.196.821	\$214.416.209	\$220.821.386	\$227.417.903	\$234.211.476	\$241.207.990	\$248.413.509
Egresos operacionales [\$/año]	\$102.813.820	\$105.885.139	\$109.048.208	\$112.305.765	\$115.660.635	\$119.115.723	\$122.674.023	\$126.338.620	\$130.112.687	\$133.999.496
Margen operacional	\$87.786.461	\$90.408.874	\$93.109.626	\$95.891.056	\$98.755.574	\$101.705.664	\$104.743.880	\$107.872.856	\$111.095.302	\$114.414.012
Costos no operacionales										
Bolsas										
Costo transporte producto final	\$2.347.964	\$2.418.104	\$2.490.339	\$2.564.732	\$2.641.347	\$2.720.251	\$2.801.512	\$2.885.201	\$2.971.389	\$3.060.153
Depreciación										
Pérdidas del ejercicio anterior										
Utilidad despues de Impuestos netas	\$85.438.497	\$87.990.770	\$90.619.287	\$93.326.324	\$96.114.227	\$98.985.412	\$101.942.368	\$104.987.655	\$108.123.913	\$111.353.859
Pérdidas del ejercicio anterior										
Inversión										
Inversión directa										
Inversión Indirecta										
Capital del Trabajo										
Depreciación										
Flujo de caja neto	\$85.438.497	\$87.990.770	\$90.619.287	\$93.326.324	\$96.114.227	\$98.985.412	\$101.942.368	\$104.987.655	\$108.123.913	\$111.353.859
Flujo de caja actualizado	\$29.945.672	\$28.036.571	\$26.249.179	\$24.575.738	\$23.008.982	\$21.542.110	\$20.168.754	\$18.882.953	\$17.679.124	\$16.552.042
Flujo de caja acumulado	\$-138.120.704	\$-110.084.133	\$-83.834.954	\$-59.259.216	\$-36.250.234	\$-14.708.124	\$5.460.630	\$24.343.582	\$42.022.706	\$58.574.748

6.7 Análisis de sensibilidad

Al momento de hacer estimaciones de ingeniería conceptual se hacen omisiones y aproximaciones que dan un rango de error a estos cálculos. Debido a lo anterior, es clave notar las variables de costo que pueden afectar el proyecto en términos de su viabilidad económica. A partir de lo generado en este capítulo, se seleccionan los siguientes casos de estudio:

- Financiamiento parcial.
- Estudio del proyecto desde la perspectiva de un privado: Caso base y caso de financiamiento parcial.
- Alza de los costos fijos.
- Descenso en la producción de compost.

6.8 Evaluación económica

6.8.1 Financiamiento parcial.

Para este caso se considera un crédito parcial por el 50% de la inversión total del proyecto con un 5% de interés, pagado en el horizonte de 20 años. La Figura 21 entrega lo obtenido.

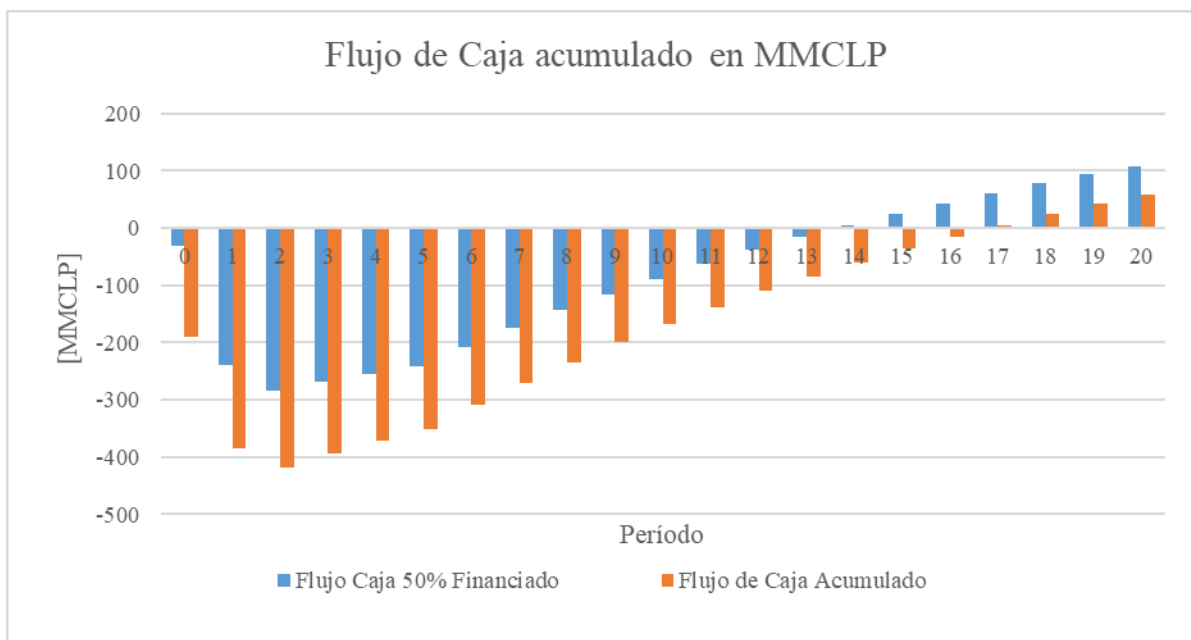


Figura 21: Comparación entre flujo de caja caso base y parcialmente financiado.

Es posible señalar que el financiamiento parcial, en términos del comportamiento anual, presenta una tendencia similar. Sin embargo, la TIR incrementa en alrededor de 2% y el payback disminuye en 3 años. Además, en VAN se duplica, lo cual vuelve mucho más atractivo el proyecto. Observar los resultados en la Tabla 38.

Tabla 38: Indicadores Económicos del Proyecto con financiamiento parcial.

Financiamiento parcial - Indicadores	
Tasa de descuento	10,00%
Valor Actual Neto	\$ 108.497.494
TIR	13,77%
Payback	14

6.8.2 Perspectiva privado: Caso Base y Caso parcialmente financiado.

Una de las dificultades que presenta el ejecutar un proyecto de carácter social para el municipio es que no se tiene certeza de cuanto afecta este al resto de proyectos de la comuna en la perspectiva global. Además, considerar el hecho de utilizar un impuesto a la renta de 0%, ya que una municipalidad presenta más egresos que ingresos. Producto de lo anterior, el municipio como empresa nunca genera utilidades netas anuales (en su conjunto de actividades).

Producto de la situación descrita, se decide cambiar de perspectiva y considerar la opción de generar este proyecto desde la perspectiva privada (licitación), donde los residuos orgánicos compostables sean tratados al mismo costo que se paga en la actualidad a Stericycle (considerado como ahorro para los casos previos), para luego vender el compost al municipio (con precios ya fijados). De esta manera, una empresa interesada en realizar este proyecto podría considerar llevarlo a cabo para la municipalidad. Las Figura 22 y Figura 23 muestran la comparativa entre caso privado y municipal, respectivamente. Se detecta que el cambio de paradigma desde municipal a licitación perjudica el proyecto para ambos tipos de financiamiento, los indicadores económicos así lo indican, siendo el VAN el indicador con un cambio más brusco. Del cuadro resumen de la Tabla 39, es posible afirmar que el caso más favorable es el proyecto municipal con financiamiento parcial.

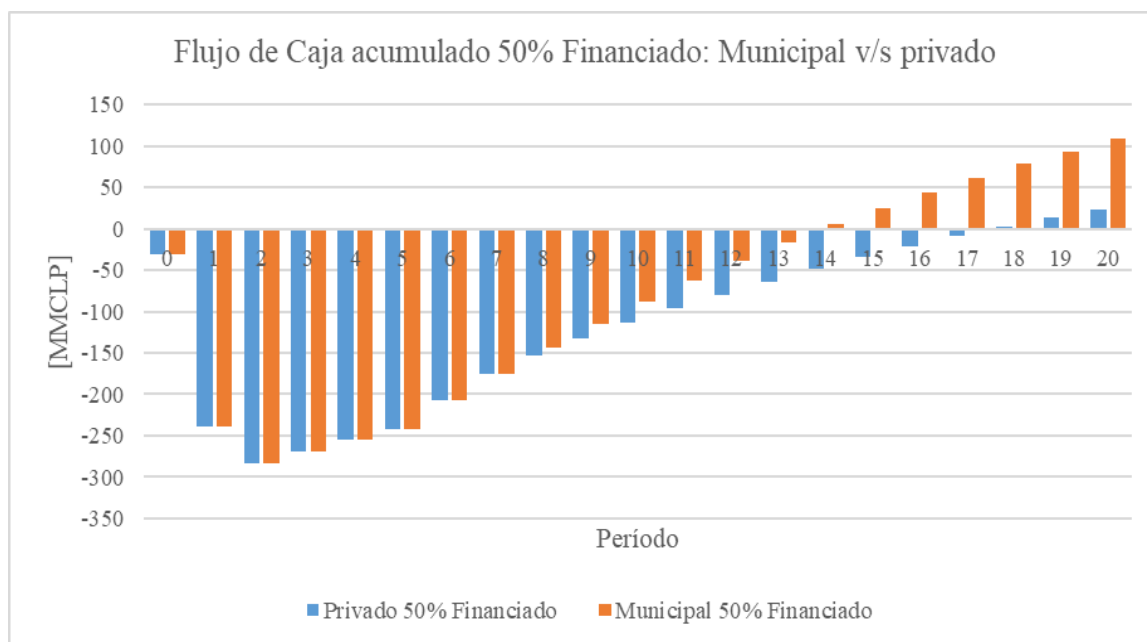


Figura 22: Comparación entre flujo de Caja 50% financiado.

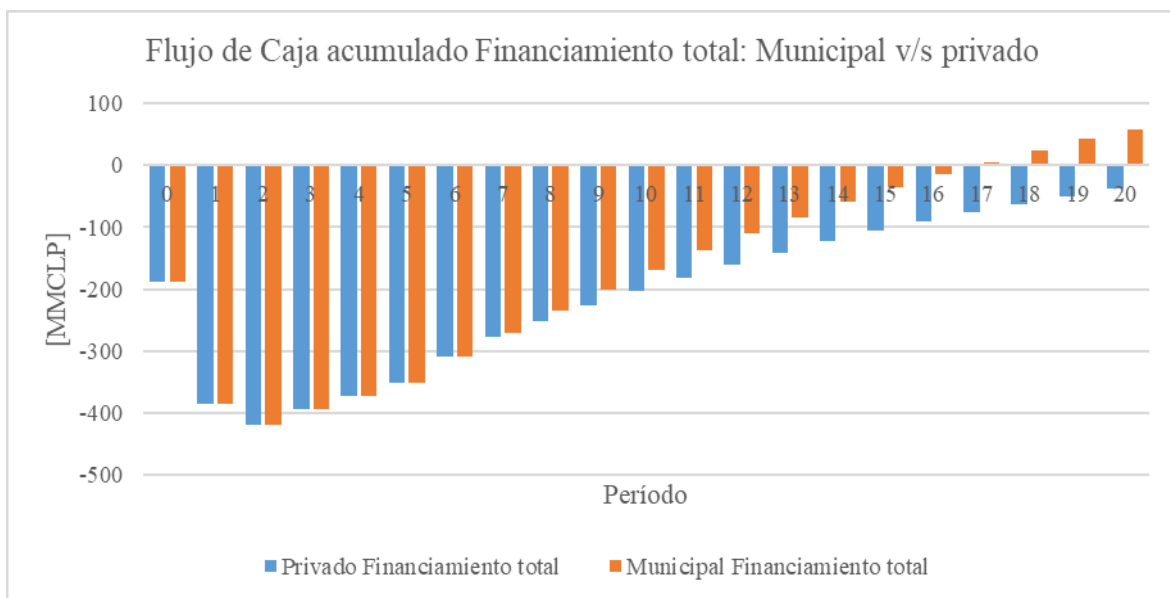


Figura 23: Comparación entre flujo de Financiamiento total.

Tabla 39: Resumen indicadores económicos proyecto municipal y privado.

	Municipal		Privado	
Caso	Financiamiento total	Financiamiento parcial	Financiamiento total	Financiamiento parcial
Tasa de descuento	10%	10%	10%	10%
Valor Actual Neto	\$58.574.748	\$108.497.494	\$-37.274.112	\$23.547.110
TIR	11,46%	13,77%	8,94%	10,95%
Payback	17	14	-	18

6.8.3 Alza de los costos fijos.

El proyecto a nivel de ingeniería conceptual está fundamentado en una gran cantidad de supuestos. Una que se lleven a cabo las inversiones, el factor de mayor influencia son los costos fijos. Cabe la posibilidad de que se requiere una mayor cantidad de personal debido a estacionalidad, limitaciones de capacitación o alguna otra situación que se escape del modelo planteado en esta tesis.

A continuación, las Tabla 40 y Tabla 41 presentan un resumen con lo obtenido con las alzas planteadas. Se observa en la Tabla 40 que el caso de financiamiento pierde la viabilidad económica al recibir un alza de costos fijos, obteniendo VAN negativo en todos los casos, junto con el decaimiento de más de 1% de la TIR con cada 10% de alza de costos.

Al guiarse por la Tabla 41, para el caso financiado parcialmente se detecta un comportamiento en el Payback similar al de financiamiento total. Por otro lado, al comparar el VAN, el caso de

financiamiento parcial es más robusto ante una alza de costos. Su TIR resiste un poco más hasta el 30% de alza, luego decae más brusco que el caso base.

Tabla 40: Financiamiento total: Análisis de sensibilidad de alza costos fijos.

Porcentaje de alza de costos	10%	20%	30%	40%	50%
Tasa de descuento	10%	10%	10%	10%	10%
Valor Actual Neto	M\$-6.458	M\$-71.492	M\$-136.525	M\$-201.558	M\$-266.591
TIR	9,84%	8,15%	6,40%	4,54%	2,52%
Payback	-	-	-	-	-

Tabla 41: Financiamiento parcial: Análisis de sensibilidad de alza costos fijos.

Porcentaje de alza de costos	10%	20%	30%	40%	50%
Tasa de descuento	10%	10%	10%	10%	10%
Valor Actual Neto	M\$43.464	M\$-21.569	M\$-86.602	M\$-151.635	M\$-216.669
TIR	11,52%	9,24%	6,87%	4,38%	1,66%
Payback	17	-	-	-	-

6.8.4 Descenso en la producción de compost.

El proceso de compostaje planteado requiere una segregación de residuos en origen para el correcto funcionamiento de las pilas de compostaje. No se consideró grandes inversiones en equipamiento para el pretratamiento mecanizado de los RSM recibidos, situación que denota un diseño que está pensado para funcionar en pequeña escala (comunal). Una mala segregación de residuos o poca participación por parte de los vecinos de Valparaíso podría causar una caída en la producción de compost. El análisis es presentado en las Tabla 42 y Tabla 43, donde se aprecia que el descenso en la producción de compost perjudica considerablemente el proyecto. Al observar la TIR es posible indicar que ambos casos sufren un decrecimiento, donde pasado el 30% el proyecto es inviable.

Tabla 42 Análisis de sensibilidad de descenso en producción: Financiamiento total.

Porcentaje descenso en producción	10%	20%	30%	40%	50%
Tasa de descuento	10%	10%	10%	10%	10%
Valor Actual Neto	M \$-50.750	M \$-160.075	M \$-269.399	M\$-378.724	M\$-488.049
TIR	8,65%	5,4%	1,3%	-4,4%	-
Payback	-	-	-	-	-

Tabla 43: Análisis de sensibilidad de descenso en producción: Financiamiento parcial.

Porcentaje descenso en producción	10%	20%	30%	40%	50%
Tasa de descuento	10%	10%	10%	10%	10%
Valor Actual Neto	M\$-827	M\$-110.152	M\$-219.477	M\$-328.801	M\$-438.126
TIR	9,97%	5,53%	-0,20%	-10,28%	-
Payback	-	-	-	-	-

6.9 Análisis económico obtenido.

A partir de los supuestos seleccionados y la estructura de costos presentada, es posible deducir lo siguiente:

- La inversión inicial para la planta de compostaje de alrededor de 315 Millones de pesos, siendo tomados en cuenta inversión directa, indirecta y capital de trabajo.
- Al evaluar en un horizonte de 20 años y una Tasa de descuento del 10%, el proyecto es rentable y posee un VAN de MM\$ 58,6 para el caso de financiamiento total y MM\$108,5 para financiamiento parcial, respectivamente.
- Según se observa en los flujos de caja acumulado, el proyecto va alcanzando una situación favorable a medida que avanzan los períodos. Esto obedece a la lógica de invertir solamente al principio de la empresa, sin renovación intermedia alguna de los activos tangibles.
- Si bien el análisis es favorable, se debe tener en cuenta que se usa como ingresos el dinero ahorrado al no tener que comprar compost y por el ahorro del costo de disposición de los residuos sólidos municipales. Cabe señalar que estos valores son basados en la actualidad y proyectados con el IPC anual. Esta condición podría incluso estar perjudicando el proyecto, ya que a nivel mundial la tendencia al alza del costo de disposición es inminente. Esto ocurre por el impulso a políticas que incrementan sus costos de manera directa (impuestos) o porque las condiciones estrictas que deben cumplir las instalaciones de tratamiento y disposición de residuos. De ello se indica que el ahorro por disposición de residuos real, a futuro, podría ser mayor al predicho.
- Del análisis económico obtenido se afirma que el proyecto es rentable desde una perspectiva social, siendo el más favorable el caso municipal con financiamiento parcial (50%). De esto se afirma que el proyecto es viable a nivel técnico-económico, siendo una alternativa real a la disposición de los residuos sólidos municipales orgánicos en la comuna de Valparaíso, Chile.

Conclusiones y recomendaciones

Tomando en cuenta los antecedentes y la evaluación técnica-económica expuesta al interior de esta tesis, es posible enunciar lo siguiente:

- Aunque la disposición de RSM en rellenos sanitarios es lo más económico, en términos prácticos las limitaciones para su uso debido al orden territorial al interior de las ciudades genera, a nivel mundial, disuasión de seguir aplicando su uso. Esto limita la instalación de un nuevo relleno sanitario, situación que pone de urgencia el estudio de alternativas a la matriz de disposición de residuos.
- El estudio económico indica que el proyecto es rentable para la municipalidad con intención social, pudiendo ser un ahorro en términos de disposición de residuos y obtención de producto para remediar suelos, dando soporte a las iniciativas comunales venideras en materia de paisajismo y salud pública. En este contexto, se promueve la erradicación de microbasurales a través de la recuperación de estos espacios como áreas verdes o lugares recreativos.
- Una de las principales incertidumbres que sólo será resuelta mediante la etapa piloto son las composición y flujo actual recibido por vivienda a la planta, lo que permitirá obtener la cifra final de viviendas a cubrir para alcanzar la producción de diseño.
- El estudio de prefactibilidad realizado indica que el control del proceso y la calidad obtenida del mismo serán clave para comprender si su uso paisajístico es viable. En el caso más favorable, podría buscarse la certificación para poder vender el producto a nivel comunal o regional. En la peor condición, si el producto obtenido no es utilizable como enmienda biológica, este puede ser utilizado como capa de cobertura del relleno sanitario aledaño.
- Al combinar los antecedentes legales y la evaluación realizada se afirma que, para propiciar las condiciones adecuadas para este tipo de proyecto, se requiere cambios en las ordenanzas municipales en las que quien no segregue su basura no podrá eximirse de pago mediante las ordenanzas ya establecidas. Esto se debería ejecutar siempre que los programas educativos y las instalaciones o cadenas de reciclaje y revalorización de residuos ya se encuentren prontos a entrar en vigor a nivel productivo. Sin un sitio de revalorización y/o reciclaje a nivel comunal o regional la segregación de residuos pierde su sentido.
- A modo de recomendación, se propone utilizar compostaje descentralizado para promover la gestión de los residuos orgánicos por parte de los habitantes de la comuna en sus propias viviendas, de manera de disminuir el flujo de residuos que es gestionado por el servicio de aseo comunal.

- Se sugiere ampliar el mercado objetivo del proyecto, lo que incrementaría la demanda estimada e impulsaría evaluar una planta de mayor capacidad, reduciendo aún más los residuos domiciliarios que terminan en rellenos sanitarios.
- Con base en la aplicación del programa de segregación de residuos, se recomienda el estudio de otras alternativas para procesar las fracciones inorgánicas disponibles.

Referencias

- AEA Technology. (2001). *Waste management options and climate change*. Luxemburgo: European Communities.
- Agència de Residus de Catalunya. (2 de Diciembre de 2019). *Guía práctica para diseño y explotación de plantas de compostaje*. Obtenido de Agència de Residus de Catalunya: http://residus.gencat.cat/web/.content/home/lagencia/publicacions/form/GuiaPC_web_ES.pdf
- Agenda País. (6 de Octubre de 2019). *Lo que hay que saber sobre la nueva ley que prohíbe la entrega de bolsas plásticas en el comercio*. Obtenido de Elmostrador: <https://www.elmostrador.cl/agenda-pais/2018/08/04/lo-que-hay-que-saber-sobre-la-nueva-ley-que-prohibe-la-entrega-de-bolsas-plasticas-en-el-comercio/>
- Albanna, M. (2011). Solid Waste Management Options and their Impacts on Climate Change and Human Health. En E. Grohmann, & A. Malik, *Environmental Protection Strategies for Sustainable Development* (págs. 499-528). Amsterdam: Springer Netherlands.
- Altman, V. (2016). *Municipal Composting Schemes: International Case Studies*. Hawthorn: Swinburne University of Technology.
- Ambiente, S. d. (2018). *Catastro Nacional de instalaciones de recepción y almacenamiento, e instalaciones de valorización de residuos en Chile*. Santiago.
- Basu, P. (2010). *Biomass Gasification and Pyrolysis*. Halifax: Academic Press.
- Boldrin, A., Christensen, T., Körner, I., & Krogmann, U. (2011). Composting: Mass Balances and Product Quality. *Solid Waste Technology & Management*, 569-582.
- Caceres, R., Magri, A., & Marfà, O. (2015). Nitrification of leachates from manure composting under field conditions and their use in horticulture. *Waste Management*, 72-81.
- CEARS. (2011). *Informe final Consolidado "Plan de Manejo Integral de Valparaíso"*. Valparaíso: Centro de Economía y Administración de Residuos Sólidos.
- Centro Nacional del Medio Ambiente. (10 de Noviembre de 2019). *Definir Estándares de Construcción y Operación de Centros de Acopio e instalaciones de compostaje*. Obtenido de Centro Nacional del Medio Ambiente: http://www.cenma.cl/Pagina%20web-LQA/5-Estudios%20Ambientales/INFORME_FINAL_TDR_11_Barra_26_12_2011.pdf
- Christensen, T. H. (2011). *Solid Waste Technology & Management*. Lyngby: John Wiley and Sons.
- Chynoweth, D., Bosch, G., Earle, J., Legrand, R., & Liu, K. (1991). A novel process for anaerobic composting of municipal solid waste. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 421-432.

- Ciavatta, C., Govi, M., Simoni, A., & Sequi, P. (1993). Evaluation of heavy metals during stabilization of organic matter in compost produced with municipal solid wastes. *Bioresource Technology*, 147-153.
- COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. (2015). ANUARIO ESTADÍSTICO DE ENERGÍA 2005-2015. Ministerio de Energía.
- Córdova, C. (2006). *Estudio de factibilidad técnico-económica para instalar una planta de compostaje, utilizando desechos vegetales urbanos*. Santiago: Universidad de Chile.
- CristalChile. (1 de Septiembre de 2019). *Reciclaje*. Obtenido de CristalChile: <http://www.cristalchile.cl/reciclaje/>
- El Mostrador. (2 de Octubre de 2019). *Sequía golpea a la V Región*. Obtenido de ElMostrador: <https://www.elmostrador.cl/noticias/pais/2019/09/16/sequia-golpea-a-la-v-region-mas-de-un-mes-despues-pinera-extiende-zona-de-catastrofe-a-todas-las-comunas-de-valparaiso/>
- ENAP. (1 de Diciembre de 2019). *Empresa Nacional del Petróleo*. Obtenido de Inversionistas y Mercado: https://www.enap.cl/pag/66/1295/tabla_de_precios_de_paridad
- GeoCiclos. (29 de Diciembre de 2019). *Servicios*. Obtenido de GeoCiclos: <https://www.geociclos.cl/servicios/>
- GFK Adimark. (02 de Enero de 2020). *EL RECICLAJE DE VIDRIO EN CHILE: LA TENDENCIA QUE NO ES TENDENCIA*. Obtenido de Elige Vidrio: <http://www.eligevidrio.cl/sustentabilidad/el-reciclaje-de-vidrio-en-chile-la-tendencia-que-no-es-tendencia/>
- Gobierno de Chile. (1 de Septiembre de 2019). *Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental*. Obtenido de Servicio de Evaluación Ambiental: <http://seia.sea.gob.cl/>
- Gupta, S., Krishna, M., Prasad, R., Gupta, S., & Kansal, A. (1998). Solid waste management in India: options and opportunities. *Resource, Conservation and Recycling*, 137-154.
- Hassen. (2002). Microbial characterization during composting of municipal solidwaste. . *Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Managemen*, 357-368.
- Henao, G. J., & Márquez, L. Z. (2008). *Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en colombia*. Antioquia.
- Hirschhorn, J., Jackson, T., & Baas, L. (1993). Towards Prevention: the emerging environmental management paradigm. En T. Jackson, *Clean Production Strategies: Developing Preventative Environmental Management in the Industrial Economy*. Chelsea: Lewis.
- How to Germany. (1 de Septiembre de 2019). *All About Recycling in Germany*. Obtenido de How to Germany: www.howtogermy.com/pages/recycling.html

- Ilustre Municipalidad de Valparaíso. (28 de Octubre de 2019). *PLADECO*. Obtenido de Munivalpo: https://www.municipalidaddevalparaiso.cl/archivos/2019/PLADECO/PROPUESTA_PLADECO_2019.pdf
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2 de Noviembre de 2019). *Estadísticas por Región*. Obtenido de Estadísticas de la Región de Valparaíso: <https://regiones.ine.cl/valparaiso/estadisticas>
- Instituto Nacional de Normalización. (2015). *Residuos Sólidos Municipales (RSM) - Diseño y operación de instalaciones de recepción y almacenamiento*. Santiago: Instituto Nacional de Normalización.
- Jakobsen, S. (1995). Aerobic decomposition of organic wastes 2. Value of compost as a fertilizer. *Resources, Conservation and Recycling*, 57-71.
- Jorgensen, S. E. (1993). Removal of heavy metals from compost and soil by ecotechnological methods. *Ecological Engineering*, 89-100.
- Karubag. (29 de Diciembre de 2019). *RECICLAJE DESECHOS DE COCINA*. Obtenido de Karubag: <https://www.karubag.cl/planes>
- Keener, H., Dick, W., & Hoitink, H. (2000). Composting and beneficial utilization of composted by-product materials. *Land Application of Agricultural, Industrial, and Municipal By-Products*, 315–341.
- La Estrella de Valparaíso. (9 de Octubre de 2019). *Basurales en Valparaíso: una bomba de tiempo en los cerros*. Obtenido de Soyvalparaíso: <https://www.soychile.cl/Valparaiso/Sociedad/2019/09/18/616049/Basurales-en-Valparaiso-una-bomba-de-tiempo-en-los-cerros.aspx>
- Lienig, J., & Bruemmer, H. (2017). Recycling Requirements and Design for Environmental Compliance. *Fundamentals of Electronic Systems Design*, 193–218.
- Louis, G. (2004). A historical context of municipal solid waste management in the United States. *Waste Management & Research* 22, 306-322.
- Martinez, M., Gutiérrez, V., & Novo, R. (2011). *Microbiología aplicada al manejo sustentable de suelos y cultivos*. Valparaíso: Editorial USM.
- McDougall, F., White, P., Franke, M., & Hinde, P. (2001). *Integrated Solid Waste Management: A Lifecycle Inventory* (2nd ed.). Oxford: Blackwell Science.
- McGill Environmental Systems of NC. (4 de Diciembre de 2019). *Compost Calculator*. Obtenido de McGill Compost: <https://mcgillcompost.com/mcgill-compost-products/compost-calculator>
- McKenzie-Mohr, D., & Smith, W. (1999). *Fostering Sustainable Behavior: An Introduction to Community-Based Social Marketing*. Gabriola Island: New Society.

- Ministerio de agricultura. (28 de Diciembre de 2019). *Decreto 89 Exento*. Obtenido de Biblioteca del Congreso Nacional de Chile: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=235720>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2014). *Manual del sistema de certificación ambiental municipal*. Santiago: Division de educación ambiental.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2018). *Catastro nacional de instalaciones de recepción y almacenamiento, e instalaciones de valorización de residuos en Chile*. Santiago: Subsecretaría del medio ambiente.
- Ministerio del Medio Ambiente. (20 de Noviembre de 2019). *Decreto 29/2013: ESTABLECE NORMA DE EMISIÓN PARA INCINERACIÓN, COINCINERACIÓN Y COPROCESAMIENTO Y DEROGA DECRETO N° 45, DE 2007, DEL MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA*. Obtenido de Ley Chile: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1054148>
- Ministerio del Medio Ambiente. (5 de Octubre de 2019). *Ministra Schmidt anuncia ambiciosas metas de reciclaje y nueva forma de recolección de basura en los hogares*. Obtenido de Ministerio del Medio Ambiente: <https://mma.gob.cl/ministra-schmidt-anuncia-ambiciosas-metas-de-reciclaje-y-nueva-forma-de-recoleccion-de-basura-en-los-hogares/>
- Murphy, P. (1993). *The Garbage Primer: The League of Women Voters*. New York: Lyons & Burford.
- Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service; US Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. (1999). *Field Guide to On-Farm Composting*. New York: Plant and Life Sciences Publishing.
- O'Brien, K. (2015). *Compost Operator Guidebook*. Lansing: Michigan Recycling Coalition.
- OECD. (2016). *OECD Environmental Performance Reviews: Chile*. Paris: OECD.
- Office of Superfund Remediation and Technology Innovation. (28 de Noviembre de 2019). *Green Remediation Best Management Practices: Landfill Cover Systems & Energy Production*. Obtenido de United States Environmental Protection Agency: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-04/documents/gr_factsheet_landfill_covers_and_energy.pdf
- Ojeda G., J. M. (27 de Julio de 2019). Miles de toneladas menos de plástico: Todos los efectos del primer año sin bolsas. *La Tercera*.
- Ojeda, J. M. (27 de Julio de 2019). Miles de toneladas menos de plástico: Todos los efectos del primer año sin bolsas. *La Tercera*. Obtenido de La Tercera: <https://www.latercera.com/nacional/noticia/todos-los-efectos-del-fin-las-bolsas-plasticas/756739/>

- Petruzzelli, G. (1996). Heavy Metals in Compost and their effect on Soil Quality. *The Science of composting*, 213-222.
- Radio Agricultura. (2 de Diciembre de 2019). Año nuevo en Valparaíso: 90 toneladas de basura. Obtenido de Radio Agricultura: <https://www.radioagricultura.cl/nacional/2019/01/01/ano-nuevo-en-valparaiso-90-toneladas-de-basura.html>
- Reciclaje Cristoro. (27 de Noviembre de 2019). *RECICLAJE CRISTORO*. Obtenido de Cristoro: reciclaje de vidrio: <https://www.reciclajecristoro.cl/>
- Renou, S., Givaudan, J., & Poulain, S. (2008). Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials* , 468–493.
- Reuso. (29 de Diciembre de 2019). *Domiciliario*. Obtenido de Reuso - sostenibilidad: <http://www.reuso.cl/services/domiciliario/>
- Ringer, M., Putsche, V., & Scahill, J. (28 de Diciembre de 2019). *Large-Scale Pyrolysis Oil Production: A Technology Assessment and Economic Analysis*. Obtenido de National Renewable Energy Laboratory: <https://www.nrel.gov/docs/fy07osti/37779.pdf>
- Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, ISB.
- Romero, C., Ramos, P., Costa, C., & Márquez, M. (2013). Raw and digested municipal waste compost leachate as potential fertilizer: Comparison with a commercial fertilizer. *Journal of Cleaner Production*, 73-78.
- Rorat, A., & Vandenbulcke, F. (2019). Earthworms converting domestic and food industry wastes into biofertilizer. *Industrial and Municipal Sludge*, 83-106.
- Seadon, J. (2006). Integrated waste management – looking beyond the solid waste horizon. *Waste Management* 26, 1327 - 1336.
- Serrano-Silva, N., & Sarria-Guzman, Y. (2014). Methanogenesis and Methanotrophy in Soil: A Review. *Pedosphere*, 291-307.
- SGS. (2018). *Diagnostico de la situación por comuna y por región en materia de RSD y asimilables*". Santiago, Chile: SUBDERE.
- SII. (2012). Nueva Tabla de Vida Útil de los Bienes Fisicos del Activo Inmovilizado. Obtenido de <http://www.sii.cl>
- Singh, J., & Ramanathan, A. (2010). *Solid Waste Management Present and Future challenges*. Nueva Delhi: IK. International Publishing House.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (1993). *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principle and Management Issue*. New York: McGraw Hill Inc.

- Timmerhaus, K., Peters, M., & West, R. (2003). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers* (Vol. V). McGraw-Hill Chemical Engineering.
- UN-HABITAT. (2010). *Solid Waste Management in the World's Cities: Water and Sanitation in the World's Cities*. Earthscan.
- US-EPA. (18 de Octubre de 2019). *Landfill Methane Outreach Program*. Obtenido de EPA: <https://www.epa.gov/lmop/basic-information-about-landfill-gas>
- Van Haaren et al. (2010). LCA comparison of windrow composting of yard wastes with use as alternative daily cover. *Waste Management*, 2649-2656.
- Vivelomb. (29 de Diciembre de 2019). *Vivelomb*. Obtenido de ¿Quiénes Somos?: <https://www.vivelomb.cl/quienes-somos/>
- Vuelta Verde LTDA. (28 de Noviembre de 2019). *Precios*. Obtenido de Vuelta Verde: <https://www.vueltaverde.cl/precios>
- Waste to Energy International. (29 de September de 2019). *Cost of incineration plant*. Obtenido de Waste to Energy International: <https://wteinternational.com/cost-of-incineration-plant/>
- Wilson, D. (2007). Development drivers for waste management. *Waste Management & Research* 25, 198-207.
- Wolsink, M. (2010). Contested environmental policy infrastructure: socio-political acceptance of renewable energy, water, and waste facilities. *Environmental Impact Assessment Review* 30, 302-311.
- Yachiyo Engineering Co. (2002). *The Study on Solid Waste Management at Local Cities in the Syrian Arab Republic*. Tokio: Japan International Cooperation Agency : Yachiyo Engineering Co., Ltd.
- Zhentong, L., Hongwei, L., Lixia, R., & Li, H. (2013). Experimental and modeling approaches for food waste composting: A review. *Chemosphere*, 1247-1257.

Anexos.

Anexo 1.

Tabla 44: Lista Europea de Residuos, actualizada por la Decisión de la Comisión 2014/955/UE.

01	Residuos de la prospección, extracción de minas y canteras y tratamientos físicos y químicos de minerales
02	Residuos de la agricultura, horticultura, acuicultura, silvicultura, caza y pesca; residuos de la preparación y elaboración de alimentos
03	Residuos de la transformación de la madera y de la producción de tableros y muebles, pasta de papel, papel y cartón
04	Residuos de las industrias del cuero, de la piel y textil
05	Residuos del refino de petróleo, purificación del gas natural y tratamiento pirolítico del carbón
06	Residuos de procesos químicos inorgánicos
07	Residuos de procesos químicos orgánicos
08	Residuos de la fabricación, formulación, distribución y utilización (FFDU) de revestimientos (pinturas, barnices y esmaltes vítreos), adhesivos, sellantes y tintas de impresión
09	Residuos de la industria fotográfica
10	Residuos de procesos térmicos
11	Residuos del tratamiento químico de superficie y del recubrimiento de metales y otros materiales; residuos de la hidrometalurgia no férrea

12	Residuos del moldeo y tratamiento físico y mecánico de superficie de metales y plásticos
13	Residuos de aceites y de combustibles líquidos (excepto los aceites comestibles y los de los capítulos 05 y 12)
14	Residuos de disolventes, refrigerantes y propelentes orgánicos (excepto los capítulos 07 y 08)
15	Residuos de envases; absorbentes, trapos de limpieza, materiales de filtración y ropas de protección no especificados en otra categoría
16	Residuos no especificados en otro capítulo de la lista
17	Residuos de la construcción y demolición (incluida la tierra excavada de zonas contaminadas)
18	Residuos de servicios médicos o veterinarios o de investigación asociada (salvo los residuos de cocina y de restaurante no procedentes directamente de la prestación de cuidados sanitarios)
19	Residuos de las instalaciones para el tratamiento de residuos, de las plantas externas de depuración de aguas residuales y de la preparación de agua para consumo humano y de agua para uso industrial
20	Residuos municipales (residuos domésticos y residuos asimilables procedentes de los comercios, industrias e instituciones), incluidas las fracciones recogidas selectivamente

Anexo 2

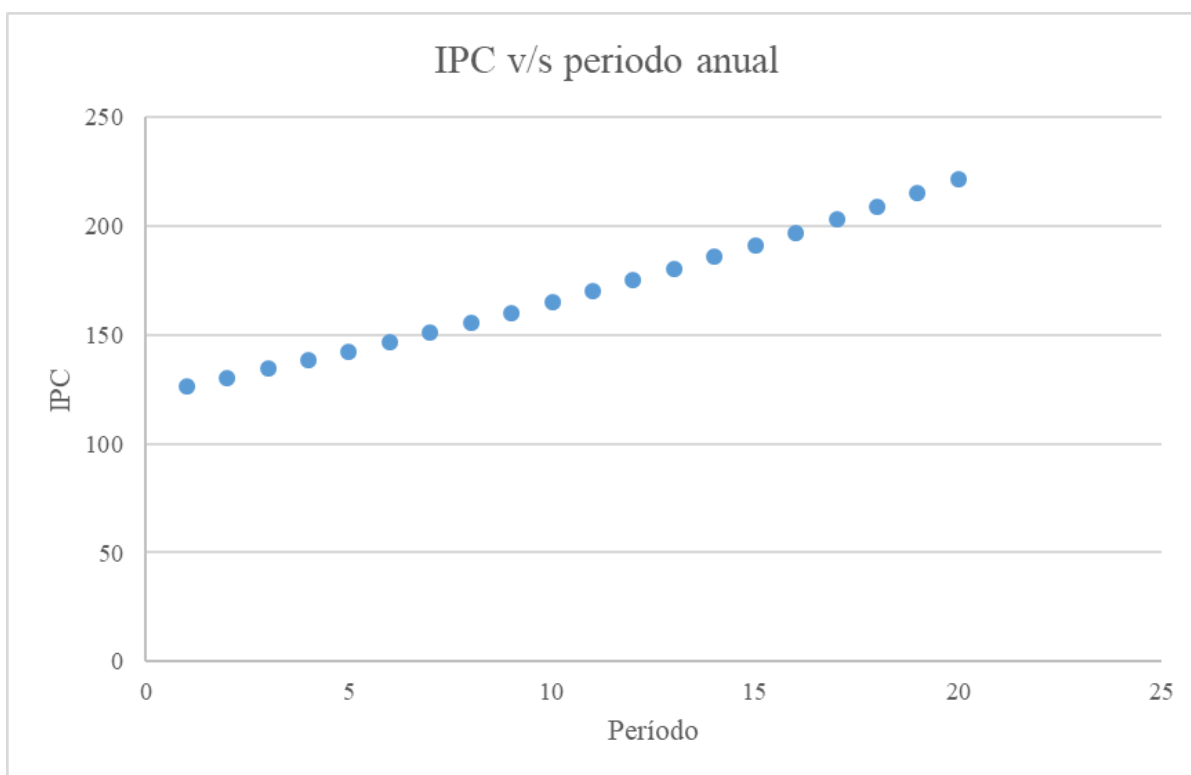


Figura 24: proyección IPC por 20 años.

Anexo 3

Tabla 45: Descripción proceso batch.

Etapa	Descripción	Duración por pila
Recepción de los residuos	Recepción diaria de camiones del servicio de aseo cargados con los residuos previamente separados por los habitantes en sus viviendas. Una vez estos llegan a portería, previo pesaje en báscula, allí reciben inspección visual, para reconocer si contienen cargas que sean peligrosas o que no correspondan a compostaje.	1 hora
Zona de chipeco	Los camiones ya aceptados ingresan a esta zona. Aquí los residuos son triturados para luego ser llevados la zona de pilas de fermentación mediante minicargador.	1 horas
Pilas de fermentación	Se forman pilas con los desechos triturados. Se lleva registro de su fecha de llegada y se identifica su posición. Una vez sanitizadas las pilas, deben llevarse a la zona de maduración mediante minicargador.	4 meses

Pilas de maduración	Se forman pilas con la materia ya fermentada, controlando visualmente hasta obtener un sólido marrón oscuro y homogéneo.	2 meses
Zona de tamizaje	El compost en bruto obtenido de la maduración se vierte mediante minicargador en un trommel, cuya rotación permite el tamizaje del compost, obteniendo el producto del tamaño deseado.	2 horas
Galpón de almacenamiento	El producto tamizado en el trommel es transportado por minicargador hacia el galpón de almacenamiento, donde permanecerá hasta su despacho a la respectiva plaza.	Traslado: 1 hora. Estadía: 1 mes como máximo.

Anexo 4

Tabla 46: Estimación volumen de balsa de lixiviados.

Tiempo de captación	6	Semanas
Factor de aguas lixiviadas medio	25	l/ton
Factor seguridad	1,1	-
RSM procesado semanal	128,21	Ton/semana
Volumen	21	m ³
Área requerida	212	m ²

Anexo 5

Tabla 47: Composición típico de lixiviados de planta de compostaje.

Contaminante	Concentración (mg/l)
DBO ₅	30.000 – 50.000
CDO	60.000 – 120.000
TSS	7.500 – 30.000
NH ₄	400 – 1.100
N total	500 – 2.100
N orgánico	250 – 800
Grasa	250
P total	80 – 260
Cr ⁶⁺	4
Pb	1
CN ⁻	1
Cd	5
Fe	1
Cu	15
Zn	2

Anexo 6

Tabla 48: Costo energético estimado, basado en (O'Brien, 2015).

	kWh/Ton RSM orgánico	kWh/Ton compost	\$/kWh	\$/Ton Compost
Energía eléctrica	9	30,0	63,5	1905
Energía diesel maquinaria	21,00	70,0	60,0	4200

Anexo 7

Tabla 49: Estimación volumen de balsa de agua lluvia, basado en (Agència de Residus de Catalunya, 2019)

Superficie pilas de maduración	1680	m ²
Precipitación máximo últimos 10 años	50	l/m ²
Factor seguridad	1,25	-
Volumen balsa	105	m ³