



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA INSTALACIÓN DE UNA
PLANTA DE COMPOSTAJE OPERADA POR INFRACTORES DE LA LEY
UBICADA EN LAGUNA CARÉN, COMUNA DE PUDAHUEL**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

FABIÁN IGNACIO MALFER MIX

PROFESOR GUÍA:
LUIS ZAVIEZO SCHWARTZMAN

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
RAUL URIBE DARRIGRANDI
PABLO GARRIDO SZEGEDI

Este trabajo forma parte de la investigación para el Proyecto Académico Parque Laguna Carén

SANTIAGO DE CHILE

2021

RESUMEN

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA
OPTAR AL TÍTULO DE:** Ingeniero
Civil Industrial
POR: Fabián Ignacio Malfer Mix
FECHA: 26/07/2021
PROFESOR GUÍA: Luis Zaviezo
Schwartzmann

ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE COMPOSTAJE OPERADA POR INFRACTORES DE LA LEY UBICADA EN LAGUNA CARÉN, COMUNA DE PUDAHUEL

La presente memoria muestra una investigación que busca dar respuesta a la pregunta por la factibilidad técnica y económica de la instalación de una planta de compostaje que sea capaz de procesar los desechos vegetales de todas las ferias libres de la comuna de Pudahuel, con la posibilidad de que la planta sea operada por infractores de la ley en Chile.

Para abordar los distintos temas que conforman el objetivo de la memoria, se realiza una amplia revisión bibliográfica acerca del proceso de compostaje y de la reinserción social y laboral alrededor del mundo. Además, se recaba información directamente con la Dirección de Aseo, Ornato y Medioambiente de la comuna de Pudahuel, logrando establecer que las ferias libres generan aproximadamente 4.800 toneladas de desechos vegetales anualmente. Como resultado de la revisión, se logra determinar que el volumen de producción anual alcanza para producir 96.314 sacos de compost de 25 kg, lo cual se avalúa en \$274.495.584; y se comparan tres métodos de compostaje que podrían ser implementados, donde se determina que el más óptimo para el proyecto corresponde al de Pila Estática con Aireación Forzada. Además, se logra establecer el organismo y los programas con los cuales vincular el proyecto a Gendarmería de Chile, y se determina que el nivel de sueldo que favorece la reinserción social en infractores es de \$430.000.

Finalmente, se orienta el proyecto bajo la directriz de que la Fundación Valle Lo Aguirre pueda administrar la planta de compostaje mediante un Concesionario. Luego, se calculan los índices de rentabilidad del proyecto, obteniendo que la Fundación percibiría un VAN de \$641.623.790, una TIR de un 49,2% y recuperaría su inversión dentro del segundo año de operación, mientras que el Concesionario percibiría un VAN de \$309.265.113 sin tener que realizar ninguna inversión inicial para el proyecto.

DEDICATORIA

La memoria de tesis marca el capítulo final de un largo proceso académico, de un trabajo personal que nos lleva a tensar la cuerda de nuestra concepción de capacidad interna.

Tristemente, a la mayoría de personas se le niega la oportunidad de ponerse a prueba, se les niega el abrigo de una institución que oriente su proceso, y se les niega en la sociedad.

Yo no fui una de esas personas, y a pesar de que agradecí la chance de entrar a esta casa de estudios, me amarga el haberlo logrado en la competencia con mis pares, y no en la colaboración. Elitizar las oportunidades sólo nos llevará a degenerar nuestra capacidad de empatizar con aquel que es distinto, y la conformidad nos lleva a ser parte de la máquina que pone la bota sobre el que no tiene.

Desde que recuerdo tengo un extraño descontento.

Quiero dedicar el proceso final de mi pregrado a todas las personas que hicieron que mis días dentro de esta máquina fueran menos malos.

A los primeros amigos que hice en plan común, mis amigos de Puente Alto: Pablo, Vale, Bastián *"smiley"*.

A los amigos que hice en semestres betas y posteriores: Liz, Franco, Cristian. Quiero agradecerles por guardarme un puesto siempre en primera fila, aunque yo llegara tarde a diario y me ganara el odio de los que quedaban al final de la sala jaja tomátela.

A mis amigos y amigas de industrias, personas hermosas a las que llegué a querer y comprender, espero que estén siempre en mi vida. Rodrigo tics, Coni, Mathi <3, Manu, Migue, Karín. Menciones honrosas a la Flo, Marya, Seba, Dapon.

Finalmente, quiero deshacerme en elogios para los cabros del Spot, por hacer que realmente la pasara bien yendo a la u. Ustedes cambiaron para siempre mi panorama, no saben lo importante que han sido para mí. Rodrigo (se repite), Pekko, Tomcito, Müller, Boris, Vicho, Mortancito lindo, Mati, Seguel, Antofa, Clavero, Souto, Joseph, Luchito, Nico, Tareq, Jadue, Alvin, Nanda. Mención honrosa pa la Dani. Y Chao pescao nos vemos pal magister.

AGRADECIMIENTOS

No me alcanzará una página ni diez para terminar de agradecer a las personas que fueron un apoyo para mí en estos años. Personas que me recogieron en cada tropiezo, que me felicitaron y elogiaron a pesar de que yo fallara. A pesar de que me fallé a mí, nunca les fallé a ellos y ellas.

Mis amigos y amigas, que respetaron mi ausencia, que buscaban mi calor y me daban su alegría. Que me tiraron pa arriba cuando acepté la idea de no lograrlo, que daban un cierre fraterno a mis días grises. Especialmente mi amiga Cami Trayén, que debe ser, hoy por hoy, la persona que más me comprende, y que sabe dónde pegarle a mi pesimismo para que este se encoja.

Las personas a las que más les agradezco son a mi familia, por compartir el peso de este camino, por darme siempre su apoyo, concreto y amoroso, para que yo pudiera transitar, con mayor o menor agilidad, este camino, esta apuesta.

Pero por sobre todo, a la persona que le estoy más agradecido en esta vida es a mi hermano Pablo, que siempre me mostró un poco más de este mundo, que me salvó la vida en más de una ocasión, que marcó un camino para todos en esta familia.

Mi hermano Pablo fue la luz de este hogar, y hoy es el sol de su propio mundo.

Mi hermano Pablo me mostró la simpatía y el coraje, la abundancia y el esfuerzo.

Tirando de la madeja de mi destino, puedo ver que siempre que una muralla se presentó ante mí, mi hermano Pablo la derribó. Puedo ver que esta memoria de título no se estaría escribiendo sin su ayuda, sin su actitud de segundo padre.

De mis caminos más importantes, tú fuiste la primera y la última piedra.

Mis ojos, se abren para siempre agradecidos.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	1
DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTOS	3
TABLA DE CONTENIDO	4
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	10
INTRODUCCIÓN.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
PROYECTO ACADÉMICO PARQUE LAGUNA CARÉN	4
OBJETIVOS DE LA MEMORIA	8
METODOLOGÍA	9
EVALUACIÓN PRIVADA DE PROYECTOS	9
Índices de rentabilidad	10
ESTRUCTURA DE LA MEMORIA.....	13
CUERPO DE LA MEMORIA	14
COMUNA DE PUDAHUEL	14
FERIAS LIBRES.....	15
COMPOSTAJE.....	18
CARACTERIZACIÓN GENERAL.....	18
ETAPAS DEL COMPOSTAJE.....	19
Fase Mesofílica	20
Fase Termofílica.....	21
Fase de Enfriamiento o Mesofílica II	21
Fase de Maduración	22
FACTORES QUE AFECTAN EL COMPOSTAJE.....	22
Oxigenación.....	22
Temperatura	24
Humedad.....	24
Tamaño de la partícula	25
Nivel de pH	26

Relación Carbono/Nitrógeno.....	27
TIPOS DE TÉCNICA DE COMPOSTAJE.....	29
Sistemas abiertos o en Pilas.....	29
Sistemas cerrados o en Recipiente.....	48
ELECCIÓN CUALITATIVA DE LA TECNOLOGÍA PARA EL PROYECTO.....	52
REINSERCIÓN SOCIAL Y LABORAL.....	54
HISTORIA DE LA REINSERCIÓN SOCIAL.....	55
CONTEXTOS DE REINSERCIÓN.....	60
Reinserción social en el Medio Privado de Libertad.....	60
Reinserción social en el Medio Libre.....	61
MODELOS DE REINSERCIÓN SOCIAL.....	63
Modelo de Riesgo-Necesidad-Capacidad.....	63
Modelo de Vidas Positivas (Good Lives Model).....	65
Modelo ocupacional.....	67
Modelo Cognitivo-Conductual.....	67
LA REINSERCIÓN LABORAL.....	69
Programas de Reinserción laboral para adultos.....	70
Programas de Reinserción laboral para jóvenes.....	70
CONTEXTO NACIONAL EN REINSERCIÓN SOCIAL Y LABORAL.....	71
Sistema Cerrado.....	74
Sistema abierto.....	76
Sistema postpenitenciario.....	77
ESTRATEGIA DE EMPLEO Y VINCULACIÓN CON EL PROYECTO DE PLANTA DE COMPOSTAJE.....	78
Nivel de sueldo para operarios del proyecto.....	79
DISEÑO Y EVALUACIÓN DEL PROYECTO.....	81
UNIDAD ESTRATÉGICA DE NEGOCIOS.....	81
Relación financiera entre Concedente y Concesionario.....	82
MARCO LEGAL DE UNA PLANTA DE COMPOSTAJE.....	83
Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS).....	83
Ley General de Urbanismo y Construcciones, Artículo N°55.....	85
Ley 19.300 Bases Generales del Medio Ambiente.....	86

Reglamento de condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo	86
Norma primaria de Calidad del Aire	86
Normas para evitar emanaciones o contaminantes atmosféricos de cualquier naturaleza	87
Decreto Supremo N°47	87
Norma de emisión de ruidos molestos generados por fuentes fijas.....	88
Reglamento de los servicios de agua destinados al consumo humano..	88
Decreto con Fuerza de Ley N°725	88
Norma Chilena del Compost: clasificación y requisitos	88
Resumen de las exigencias legales.....	94
DISEÑO OPERACIONAL	95
Volumen de producción	95
Área de procesamiento de materia orgánica	97
Área Complementaria	107
Tamaño de la planta	109
DISEÑO PRODUCTIVO	111
Entrada de pila nueva	112
Medición de parámetros para pilas en proceso de compostaje.....	113
Egreso de pilas del proceso de compostaje	114
Maduración de la pila	114
Ensamblado del producto final.....	114
Fuerza laboral.....	115
ESTRUCTURA DE COSTOS	117
Estructura del Concedente	118
Estructura del Concesionario.....	122
ELECCIÓN CUANTITATIVA DE LA TECNOLOGÍA PARA EL PROYECTO	124
ÍNDICES DE RENTABILIDAD DEL PROYECTO	130
Incremento de la producción	130
Parámetros de producción.....	131
RESULTADOS.....	132
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	133
Sensibilidad del Concedente.....	133

Sensibilidad del Concesionario	137
PILOTO DEL PROYECTO	143
ESTADO DEL ARTE DEL SECTOR	145
Demanda del sector	145
Oferta del sector	147
MODELO DE NEGOCIOS	148
EXTERNALIDADES	151
Externalidades positivas.....	151
Externalidades negativas.....	152
CONCLUSIÓN	154
GLOSARIO	158
BIBLIOGRAFÍA	159
ANEXO Y APÉNDICES	164
ANEXO 1: DISPOSICIÓN DE RESIDUOS DE LA MUNICIPALIDAD DE PUDAHUEL.	164
ANEXO 2: MUESTRA DE LA METODOLOGÍA PARA CALCULAR EL VAN EN EXCEL.....	165
ANEXO 3: ESQUEMA EN EL QUE SE BASÓ LA PROYECCIÓN DEL VAN.....	166

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Contribución a GEI según actividad	1
Tabla 2: Caracterización de las ferias libres de Pudahuel	16
Tabla 3: Control de aireación	23
Tabla 4: Parámetros de humedad óptimos	25
Tabla 5: Control de tamaño de partícula.....	26
Tabla 6: Parámetros de pH óptimos.....	27
Tabla 7: Parámetros de la relación C/N óptima	28
Tabla 8: Relación C/N de algunos materiales utilizados para el compostaje.....	40
Tabla 9: Parámetros de temperatura óptimos.....	45
Tabla 10: Comparación cualitativa entre métodos de compostaje	53
Tabla 11: Requisitos microbiológicos Norma Chilena del Compost.....	89
Tabla 12: Requisitos en contenidos de nutrientes Norma Chilena del Compost	90
Tabla 13: Contenido máximo de impurezas de tamaño < 15 mm	92
Tabla 14: Resumen marco legal compostaje.....	94
Tabla 15: Horas-hombre requeridas por cada etapa productiva	116
Tabla 16: Horas-hombre requeridas por medición de parámetros	117
Tabla 17: Costo marginal de las inversiones en terreno	119
Tabla 18: Inversión inicial en Área Complementaria.....	119
Tabla 19: Inversión inicial del proyecto.....	120
Tabla 20: Inversión inicial en activos fijos	121
Tabla 21: Flujos y VAN del Concedente en cada tecnología de compostaje.....	126
Tabla 22: Flujos y VAN del Concesionario en cada tecnología de compostaje	127
Tabla 23: VAN del Concedente y Concesionario en cada tecnología de compostaje	128
Tabla 24: Parámetros de producción del caso de estudio	131
Tabla 25: Índices de rentabilidad de Concedente y Concesionario	132
Tabla 26: Efectos de una expansión de producción del 50% de la capacidad inicial.....	132
Tabla 27: Sensibilidad del Concedente al Precio del saco de compost.....	135

Tabla 28: Sensibilidad del Concedente a la Superficie necesaria para la planta	135
Tabla 29: Sensibilidad del Concedente al nivel de almacenamiento de sacos de compost	136
Tabla 30: Elasticidades del Concedente	136
Tabla 31: Sensibilidad del Concesionario al Costo de sueldos	139
Tabla 32: Sensibilidad del Concesionario al Precio del saco de compost	140
Tabla 33: Sensibilidad del Concesionario a la Superficie necesaria para la planta	141
Tabla 34: Elasticidades del Concesionario.....	142
Tabla 35: Superficie utilizada en cultivos por región	145
Tabla 36: Rangos de tamaños de predios silvoagropecuarios en Chile	146
Tabla 37: Social Bussiness Model Canvas.....	150

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Panorámica Predio Laguna Carén.....	4
Ilustración 2: Flora de Laguna Carén	5
Ilustración 3: Vista aérea Laguna Carén	6
Ilustración 4: Comuna de Pudahuel	14
Ilustración 5: Metros lineales recorridos por día de feria	17
Ilustración 6: Esquema de la evolución de la materia orgánica que llega al suelo	19
Ilustración 7: Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje	20
Ilustración 8: Pilas de compostaje	29
Ilustración 9: Volteo mecanizado	31
Ilustración 10: Foto y figura explicativa de la pila con aireamiento pasivo	32
Ilustración 11: Sistema de aireación forzada	34
Ilustración 12: Dimensiones de pila de compostaje para pequeño agricultor	34
Ilustración 13: Cálculo de las dimensiones de una pila de compostaje a partir de la cantidad de material a compostar	36
Ilustración 14: Cálculo de las dimensiones de una pila de compostaje a partir de la necesidad de compost final	37
Ilustración 15: Cálculo de las dimensiones de una pila de compostaje a partir del área disponible para realizar el compostaje	38
Ilustración 16: Cálculo de la relación C/N en la mezcla de varios materiales	41
Ilustración 17: Calculadora de la relación C/N	42
Ilustración 18: Modalidades de volteo según número de pilas	43
Ilustración 19: Planilla de control de proceso	44
Ilustración 20:Tipos de recipientes usados como compostera	48
Ilustración 21: Compostera vertical o continua	49
Ilustración 22: Compostera horizontal o discontinua	50
Ilustración 23: Cálculo del volumen adecuado de compostera	51
Ilustración 24: Organigrama Gendarmería de Chile.....	71
Ilustración 25: Organigrama Subdirección de Reinserción Social	72
Ilustración 26:Valor de la línea de pobreza (LP) y de la línea de pobreza extrema (LPE) por número de integrantes del hogar. Enero 2019	80

Ilustración 27: Relación financiera entre Concedente y Concesionario	83
Ilustración 28: Esquema de preparación del terreno.....	99
Ilustración 29: diseño preliminar pilas de compostaje	101
Ilustración 30: Distribución de espacio planta de compostaje	110
Ilustración 31: Procesos productivos.....	111
Ilustración 32: Expansión en la capacidad de producción del proyecto	131
Ilustración 33:Gráfico de Ingresos del Concedente	133
Ilustración 34: Gráfico de Egresos del Concedente.....	134
Ilustración 35: Gráfico de Ingresos del Concesionario	137
Ilustración 36: Gráfico de Egresos del Concesionario	138
Ilustración 37: Comportamiento de los vientos en predio Laguna Carén.....	152
Ilustración 38: Zona de peligro aviar en predio Laguna Carén.....	153

INTRODUCCIÓN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A pesar de cubrir sólo un 3% de la superficie terrestre, las ciudades son el lugar donde se producen las mayores contribuciones de CO₂ (Velasco y Roth, 2010). El origen de estos gases se relaciona principalmente con los sectores de energía, industrias, cambios de uso de suelo, agricultura y residuos (World Resources Institute, 2005). La situación en Chile no es de las mejores a nivel global, y es que, según estudios, Chile sería uno de los países más afectados por los fenómenos del cambio climático por la mano del hombre (IPCC, 2014).

Según un estudio de World Resources Institute (2005), las actividades del hombre que más contribuyen al aumento de Gases de Efecto Invernadero (GEI) son:

Tabla 1: Contribución a GEI según actividad

Actividad	Producción de GEI
Sector de energía (transporte, electricidad y calor, quema de otros, combustible e industria)	61,4%
Cambios de uso de suelo (deforestación, forestación, reforestación, cosechas y otros)	18,2%
Agricultura (suelos agrícolas, ganado y estiércol, cultivo de arroz, otros)	13,5%
Residuos (vertederos, aguas residuales, otros)	3,6%
Procesos industriales	3,4%

Fuente: elaboración propia con datos de WRI (2005)

Durante el 2016, en Chile se generaron 21,2 millones de toneladas de residuos, de los cuales, un 35,3% corresponde a Residuos Sólidos Municipales (RSM) (MMA, 2018), categoría que considera los residuos de vivienda, recintos comerciales, y otros; del total de residuos producidos, el 97% corresponde a residuos no peligrosos, de los cuales sólo un 24% fue revalorizado. A nivel nacional, la Región Metropolitana presenta la mayor acumulación de residuos, generando 8,2 millones de toneladas anuales de RSM (SINIA, 2018), lo cual desencadena daños al ecosistema, la salud, y pérdidas económicas.

Aproximadamente el 58% de los RSM corresponden a residuos orgánicos, sin embargo, la tasa de valorización del total de toneladas generadas cada año es inferior al 1%. Es bajo este escenario que el Ministerio del Medio Ambiente del Gobierno de Chile declara una Estrategia nacional de Residuos Orgánicos (MMA, 2020).

La estrategia propone como meta pasar de un 1% a un 66% de valorización de los residuos orgánicos generados a nivel municipal al 2040.

Para alcanzar dicho propósito, se proponen las siguientes metas intermedias al 2030:

- Valorizar un 30% de los residuos orgánicos generados a nivel municipal
- Llegar a 5.000 establecimientos educacionales con composteras y/o vermicomposteras
- Contar con un 50% de las instituciones públicas separando en origen y valorizando los residuos orgánicos que generan
- Contar con 500.000 familias que utilicen composteras y/o vermicomposteras en sus viviendas
- Alcanzar 500 barrios del programa "Quiero mi Barrio" haciendo compostaje y/o vermicompostaje
- Lograr que todos los parques urbanos administrados por el MINVU valoricen los residuos orgánicos generados, preferentemente en sus instalaciones

Otro problema ecológico que se suma a la amenaza del medioambiente es la extracción de "tierra de hojas". En Chile se extraen de forma anual aproximadamente 60 mil metros cúbicos de este material (Senado de la República de Chile, 2019) lo cual genera daños que son muchas veces irreparables sobre el suelo nativo. La formación de 1 cm de suelo puede llegar a tomar 1.000 años (Nova Agora, 2019), y la depredación de este recurso genera escurrimiento de aguas lluvias, cauces naturales, y el deterioro de las defensas naturales de defensas fluviales, afectando negativamente a toda la biodiversidad existente en suelos nativos. Motivados por estas razones es que actualmente se encuentra en su segundo trámite constitucional en el senado, un proyecto de ley que tipifica como delito la extracción no autorizada de tierra de hojas, con una pena que va desde los 541 días a 5 años de presidio (Senado de la república de Chile, 2019).

Al evidenciar penas de cárcel en un tema medioambiental, se mezclan dos problemáticas-país que no se vinculan directamente: la criminalidad y el medio ambiente. Al tener una mirada sistémica de los problemas relevantes de Chile, es posible dar cuenta de que las soluciones, por vías legales, que buscan resguardar el ecosistema, generan también la necesidad social de hacerse cargo del aumento en la criminalidad que estas generan.

Según Gendarmería de Chile (2019), alrededor del 20% de la población penal egresada del sistema penitenciario, reincide en una nueva pena antes de cumplir 24 meses de libertad. Estas cifras emplazan a incluir el fenómeno social delictual como otra de las aristas relevantes en todo tipo de proyecto de interés público, sobre todo en aquellos que podrían instar al aumento de la criminalidad al ser tipificados nuevos delitos.

Con esta mirada, la Universidad de Chile busca generar un proyecto que represente un apoyo para la reinserción social-laboral en Chile. La manera en que se busca aportar al país tanto en lo social, como en lo medioambiental, consiste en la creación de una planta de compostaje que pueda ser operada por personas que han infringido la ley en el país. Así, se asoma el compostaje como una técnica que recibe y revaloriza la fracción orgánica de los residuos producidos por la población, disminuyendo las emisiones gaseosas y sólidas de desechos, y entregando un producto que sustituye el uso de tierra de hojas, a través de una implementación que contempla a la reinserción social-laboral como uno de los propósitos del proyecto.

PROYECTO ACADÉMICO PARQUE LAGUNA CARÉN

El "Proyecto Académico Parque Laguna Carén" es una iniciativa de la Universidad de Chile que busca posicionarse como una instancia que compatibiliza la investigación aplicada, el emprendimiento, y una nueva concepción de extensión. Es dentro de este contexto que se busca levantar el proyecto que da propósito a la presente memoria. Los objetivos del Proyecto Académico se relacionan a través de tres pilares conceptuales:

1. Se busca que el proyecto genere una plataforma de colaboración que permita el aprendizaje directo mediante la experimentación, produciendo innovación a través de investigaciones integradas y transversales con amplia difusión.
2. Se propone el lugar como un espacio transdisciplinar y sustentable, con un proyecto abierto a toda la comunidad académica, en donde se complementan el análisis investigativo y la conservación del medio ambiente.
3. Se propone un desarrollo con enfoque público, que logre, desde su arraigo local, un impacto nacional que contribuya a generar una formulación más clara acerca del futuro del país.

El proyecto se emplaza en el predio de Laguna Carén, en la comuna de Pudahuel, Santiago de Chile. El terreno presenta una extensión de 1.022 hectáreas, y se encuentra dentro del área rural de la comuna.

Ilustración 1: Panorámica Predio Laguna Carén



Vista al poniente desde Cerro Amapola. Al fondo, cordón montañoso de Cordillera de la Costa. Fuente: Velásquez (2019).

El lugar posee características bióticas y morfológicas que se habrían formado entre el año 450.000 a.C. y el 11.500 a.C. Albergando una valiosa muestra de la especie nativa de Chile, *Acacia Caven* (nombre común: espino), la cual se encuentra desprotegida y depredada.

En el lugar existen aproximadamente 28 especies de flora nativa, además de al menos 83 especies animales distintas entre mamíferos, reptiles, aves y anfibios, los cuales conforman un ecosistema complejo que abarca el medio terrestre, acuático y aéreo. Así, el predio de Laguna Carén se alza como un “hotspot” de biodiversidad en la Región Metropolitana de Chile.

Ilustración 2: Flora y fauna de Laguna Carén



No obstante, esta área se encuentra en una localización estratégica para el sector inmobiliario, ya que posee conexión directa con la Ruta 68, y es objeto de estudio de proyectos de desarrollo inmobiliario hace más de diez años. En 2018 se aprobaron Proyectos con Desarrollo Urbano Condicionado (PDUC) que contemplan más de 37.000 viviendas para recibir a una población de al menos 150.000 personas en los terrenos aledaños al Parque Laguna Carén. La aprobación de los PDUC implican, además, la construcción de vías que mejorarán el acceso a la zona poniente de Pudahuel.

Dando cuenta de las presiones inmobiliarias por depredar la zona y la riqueza natural que esta presenta, es que el Proyecto Académico Parque Laguna Carén se concibe como uno para la preservación de la identidad biótica de la zona, a la vez que permitirá generar instancias de desarrollo interdisciplinario e interinstitucional, lo cual serviría de base operativa para la internacionalización de diversos proyectos académicos.

Ilustración 3: Vista aérea Laguna Carén



Fuente: Velásquez (2019).

Para la realización de este proyecto es que entre 1994 y 1999, el Ministerio de Bienes Nacionales dona los terrenos a la Universidad de Chile, la cual lo administra a través de la "Fundación para la Administración y Desarrollo Tecnológico del Predio de la Universidad de Chile en el Valle Lo Aguirre" (Fundación Valle Lo Aguirre).

El 18 de marzo de 2004, el Ministerio de Hacienda otorga garantía del Estado al crédito adquirido por la Universidad de Chile en el Banco de Chile por una suma de 20 millones de dólares, destinada a financiar la primera etapa de construcción del proyecto.

Se espera que el Proyecto Académico Parque Laguna Carén genere una nueva industrialización basada en la información y en la sostenibilidad en todas las dimensiones de las personas y su entorno, siendo un crisol para la comunidad académica de la Universidad de Chile donde se comunicarán problemáticas y soluciones concretas para el país.

Dentro de la distribución del proyecto se contempla una zona de cultivos agroindustriales con paneles solares que proporcionen energía al resto del proyecto, posicionando la relevancia de las energías no convencionales en las tecnologías aplicadas a la agricultura.

Actualmente, Laguna Carén recibe 65.000 visitas anuales, por lo cual la zona de acceso público no deja de cobrar relevancia para el proyecto, tanto por su importancia para la comunidad como por su impacto en el deterioro del lugar. Con este motivo, la Universidad de Chile se hace cargo de la remediación ambiental de la laguna a través de la creación de un paseo de borde por la laguna, el cual contará con equipamientos de la universidad a disposición del público. Este equipamiento consta de una zona deportiva, muelle para embarcaciones y actividades náuticas, pero, además, la casa de estudios reconstituye y mejora las condiciones del borde de la laguna y la calidad del agua como una estrategia de fito-remediación.

Junto a la zona pública, se plantea una zona de museos como actores del desarrollo cultural del lugar. Preliminarmente se consideran tres museos:

- **Museo de Darwin:** con carácter horizontal y de relación directa a los humedales, es el museo que vincula la zona pública del proyecto con el compromiso ambiental de este.
- **Museo de Sismos y Catástrofes:** ubicado al poniente de la laguna, presenta el carácter tectónico del lugar y se vincula con la zona pública.
- **Museo de Arte Contemporáneo Experimental:** se presenta la posibilidad de consolidar un sistema de talleres y residencias temporales para artistas, y la instalación de obras experimentales dentro del parque público.

OBJETIVOS DE LA MEMORIA

Para alinear los propósitos del presente trabajo, y los propósitos del Proyecto Académico Parque Laguna Carén, se plantean los objetivos de la memoria de la siguiente manera:

Objetivo general

Generar un estudio que permita determinar la factibilidad técnica y económica de la instalación de una planta de compostaje ubicada en el predio de Laguna Carén, la cual pueda recibir los residuos vegetales de todas las ferias libres de la comuna de Pudahuel y sea operada por infractores de la ley.

Objetivos específicos

- Cuantificar la disponibilidad de recursos y el volumen de producción asociado.
- Crear un diseño productivo validado por la literatura especializada del tema.
- Crear una estrategia de empleo y financiamiento del proyecto.
- Desarrollar el modelo de negocios del proyecto.

METODOLOGÍA

A continuación, se describe la metodología utilizada para dar base a la respuesta de los objetivos planteados.

EVALUACIÓN PRIVADA DE PROYECTOS

La Evaluación Privada de Proyectos es una especialidad interdisciplinaria de la ingeniería, que hace uso de conceptos de economía y finanzas para determinar la conveniencia de realizar una inversión.

Habitualmente, se realiza un análisis costo-beneficio para determinar la evaluación. Este análisis consiste de comparar, *ex ante*, los costos e inversiones que demanda el proyecto, con los beneficios que generará.

Al ser una técnica prospectiva, la Evaluación Privada de Proyectos entrega conclusiones conjeturales, por lo tanto, están sujetas a la ocurrencia de determinados supuestos. Este carácter incierto se busca aclarar con distintas técnicas con el fin de lograr acotar, y volver más objetivas, las visiones futuras del proyecto.

Sin embargo, una buena evaluación no garantiza el éxito del proyecto, sino que ayuda a entender todos los detalles críticos que determinarán la conveniencia de la empresa.

La Evaluación Privada de Proyectos utiliza un concepto central de la teoría de finanzas y de economía: "el valor de un activo cualquiera equivale a la suma de los flujos que genere en el futuro, calculada en el momento del estudio". Este es el concepto del Valor Actual Neto (VAN), el cual conforma el principal criterio de decisión para el proyecto.

Para calcular el VAN de un proyecto, se necesitan conocer al menos dos elementos: el flujo de fondos y una tasa de interés. El flujo de fondos muestra los beneficios, inversiones y costos que el proyecto generará hasta su finalización, mientras que la tasa de interés permite estimar cuánto valen hoy dichos flujos futuros.

Así, el flujo de fondos se determinará al diseñar el proceso productivo a partir de la investigación al respecto, y la tasa de interés a utilizar corresponde a la Tasa Social de Descuento (TSD) actualizada para el año 2021, la cual tiene un valor de un 6% (SNI, 2021). Esta tasa es la que se utiliza para evaluar todos los proyectos de inversión pública (Márquez, 2012).

Índices de rentabilidad

Para cuantificar el carácter de rentabilidad del proyecto, se utilizarán los índices de rentabilidad VAN, "Período de Repago", y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

El VAN buscará medir la ganancias o pérdidas para los inversionistas, mientras que el Período de Repago se define como el plazo en el que el proyecto recupera su inversión, y la TIR es un indicador de rentabilidad relativo, y se define como la tasa de interés que hace que el VAN sea igual a cero.

Para poder comprender el manejo de los flujos de dinero en el tiempo, es necesario utilizar el concepto de tasa de interés. El interés que se recibe o se paga por el uso de un capital tiene dos interpretaciones: como rentabilidad y como costo de capital.

El interés como rentabilidad refleja la multiplicación del capital por determinadas formas y períodos de capitalización (período en que el capital es invertido y cobrado). Así, si un proyecto ofrece un 20% de rentabilidad al cabo de un período de tiempo, se entiende que una inversión de \$100 podrá retornar \$120 al inversionista. A menudo, los inversionistas exigen una rentabilidad mínima a los proyectos para invertir en ellos, es decir, no les interesa usar su capital si no se les asegura la cantidad mínima de rentabilidad que ellos estimen.

El interés como costo de capital refleja cuánto cuesta el solo uso de un capital por un período de tiempo. Esta forma de entender el interés significa que usar el capital en un proyecto, sea cual sea el origen de dicho capital, tiene un costo. Este costo puede ser explícito, como cuando se pide un préstamo y se debe pagar el interés de cada cuota, o puede ser implícito.

Un ejemplo para comprender el costo implícito de utilizar un capital cualquiera puede ser el siguiente: si se tienen \$1.000 para invertir, y un banco ofrece una rentabilidad de un 10% al cabo de un mes, eso significa que, si el capital es guardado en el banco, al cabo de un mes se obtendrá un tendrá un capital de \$1.100; por otro lado, una persona puede pedir prestados \$1.000, con el compromiso de devolver esos \$1.000 el próximo mes. Si se escoge prestar el capital a la persona, luego de un mes se tendrán los \$1.000 de vuelta, pero si se hubiese escogido guardarlos en el banco, al cabo de la misma cantidad de tiempo, se tendría un 10% más de capital que en el otro caso.

Así, el hecho de realizar el préstamo, o incluso el hecho de guardar el capital y no invertirlo, conlleva un costo implícito, este costo es del 10% del capital por haber perdido la oportunidad de guardarlo en el banco. A este costo implícito se le llama costo de oportunidad.

De esta manera, se utilizará el costo de oportunidad para proyectar los flujos financieros del proyecto por una cantidad de tiempo denominada "Horizonte del Proyecto".

Es muy importante considerar que tanto el crédito fiscal como el débito fiscal se cancelan mutuo a mente en el plazo del horizonte del proyecto, por lo que el IVA no se considera dentro del análisis.

VAN

El VAN expresa cuánto más rico será el inversionista si es que decide realizar el proyecto (a moneda del momento inicial). El criterio general del VAN es que un proyecto que genere un VAN mayor a cero, es conveniente monetariamente. Más aún, el VAN permite comparar la rentabilidad entre dos o más proyectos siempre y cuando tengan el mismo horizonte.

Es importante decir que, aunque se utilice la TSD para descontar los flujos del proyecto, la metodología adecuada a utilizar sigue siendo la de la Evaluación Privada de Proyectos, y no la de Evaluación Social de Proyectos, ya que el objetivo de la memoria consiste en desarrollar el punto de vista del inversor del proyecto, y no de la sociedad en su conjunto.

Período de Repago

El Período de Repago se define como el tiempo que el proyecto tarda en recuperar la inversión.

A pesar de ser uno de los índices más utilizados, es el menos confiable ya que tiene dos inconvenientes:

1. Privilegia los proyectos más cortos.
2. Da igual ponderación a los flujos anteriores al momento de corte, e ignora los posteriores.

Así, es conveniente contrastar los resultados de más de un índice de rentabilidad para corregir el sesgo que pueda generarse en un índice en particular.

TIR

La Tasa Interna de Retorno es uno de los indicadores de rentabilidad más populares. Se define como aquella tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero, y ayuda a cuantificar relativamente la rentabilidad de un proyecto.

A menudo, los inversionistas exigen cierto nivel de rentabilidad a un proyecto para así invertir en él. El criterio de decisión es no rechazar los proyectos donde la tasa de descuento sea menor que la TIR, pero si un inversionista cuenta con varias opciones de proyectos, elegirá aquel donde la TIR sea mayor.

ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

El cuerpo del presente documento gira en torno de cuatro ejes: la caracterización de las ferias de la comuna de Pudahuel, la investigación técnica en cuanto al compostaje y sus metodologías, la caracterización del concepto de reinserción laboral y su vinculación a la realidad chilena, y finalmente la evaluación del proyecto.

En el capítulo **COMUNA DE PUDAHUEL** se caracteriza brevemente la demografía del lugar, y se describen someramente los acontecimientos históricos que orientaron las características actuales del lugar en cuanto a nivel de población, estado medioambiental, y especialmente la relación que se guarda con las ferias libres del lugar. Luego, se caracterizan las ferias libres en cuanto a su estacionalidad de funcionamiento y tamaño, para poder estimar el volumen de generación de residuos que enmarque los niveles productivos del proyecto.

El capítulo **COMPOSTAJE** introduce al lector a las definiciones técnicas que permiten tener un conocimiento detallado acerca de este proceso, distinguiéndose un conjunto de metodologías para llevarlo a cabo. Cada uno de estos métodos cuentan con parámetros de producción distintos. Estos parámetros son de suma importancia para el proceso productivo que se busca diseñar, por lo cual se realiza una comparación cualitativa de ellos, buscando determinar cuál sería el más conveniente para la factibilidad del proyecto.

El capítulo **REINSERCIÓN SOCIAL Y LABORAL** consta de una amplia revisión bibliográfica acerca del tema, donde se hace un recorrido histórico a nivel mundial en cuanto a las prácticas adoptadas por diversos países en materias penitenciarias. También se revisa la realidad nacional, evaluando la vinculación de la planta de compostaje con los distintos programas de reinserción laboral existentes en la estructura de Gendarmería de Chile.

En el capítulo **DISEÑO Y EVALUACIÓN DEL PROYECTO** se declaran todos los supuestos que orientan el desarrollo del proyecto, desde el enfoque organizacional, pasando por el marco legal vigente, y el diseño de las aristas productivas relevantes para el proyecto. Con lo anterior ya definido, se logra realizar una comparación cuantitativa entre los métodos de compostaje estudiados, en base a los índices de rentabilidad declarados en la metodología. Una vez que se toma la decisión tecnológica, se logra obtener respuesta a la pregunta por la viabilidad técnica y económica del proyecto. Luego, también se analiza la sensibilidad del proyecto a variaciones de factores internos y externos a la planta de compostaje. Finalmente, se plantea un plan piloto para el proyecto, y se concibe un *Social Business Canvas* que comprende todo lo analizado

CUERPO DE LA MEMORIA

COMUNA DE PUDAHUEL

La comuna de Pudahuel se ubica en el sector norponiente de Santiago, y deriva de la subdivisión de la antigua comuna de Barrancas en 1975, y posee una superficie de 197 km².

Siendo una comuna joven, los registros históricos no muestran cambios demográficos significativos hasta la década del 80' donde se aumentó 6 veces la cantidad de viviendas en la comuna, pasando de ser 1.400 a 9.000. Luego, tuvo otra explosión demográfica en los 90' llegando a albergar 17.000 viviendas. Este proceso migratorio no responde a políticas comunales sino a planes de reordenamiento metropolitano (Reyes, 2012).

Ilustración 4: Comuna de Pudahuel



Fuente: Reyes (2012)

El crecimiento de la comuna careció de planificación y postura urbana estructuradora, lo cual se ve reflejado en sus áreas verdes donde, según el Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO) de Pudahuel, en 1999 sólo el 3% de la superficie urbana era ocupada para fines de áreas verdes, resultando en un promedio de 0,6 m² de áreas verdes por habitante, en contraste con el promedio de Santiago que es de 4 m² por habitante (Reyes, 2012).

Esta deficiencia en la planificación, y las pobres cifras de áreas verdes que se ofrecen a los vecinos de Pudahuel suman relevancia al Proyecto Académico Parque Laguna Carén, que cambiaría este panorama para la comuna.

FERIAS LIBRES

Las ferias libres de Chile cuentan con reconocimiento legal desde el año 1938, dando cuenta de un pasado informal de más de dos siglos y medio, generando una dinámica familiar de feriantes con un sentido fuertemente comunitario (Alvarado, 2016).

Actualmente las ferias son percibidas como una solución a las necesidades de abastecimiento de la población, ofreciendo gran variedad de productos en distintos barrios. Estadísticas muestran que, del total de mercadería comercializadas en ferias libres, un 12% corresponde a artículos del hogar, un 28% a artículos de uso personal y un 60% corresponde a alimentos (Villegas, 2013). Un 70% de las frutas y verduras que se consume en Chile sería adquirido en ferias libres (ASOF C.G. 2015).

Entre las 425 ferias libres permanentes que se ubican en las distintas comunas de Santiago, se generan 70.000 toneladas de residuos orgánicos anuales (ASOF C.G. 2014), los cuales en su mayoría son dispuestos finalmente en rellenos sanitarios.

En Pudahuel funcionan de forma permanente 13 ferias libres, las cuales se caracterizan en la siguiente tabla:

Tabla 2: Caracterización de las ferias libres de Pudahuel

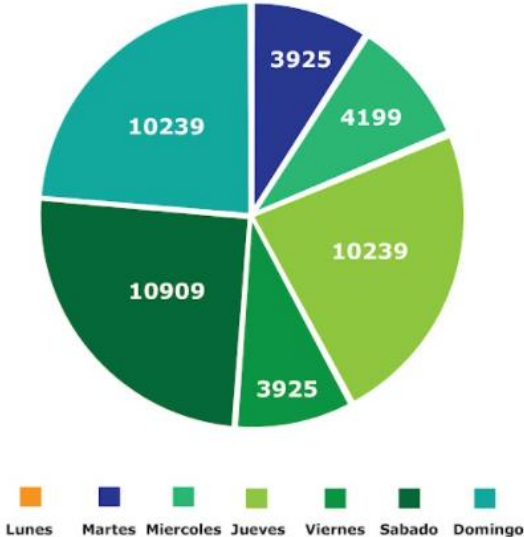
Nombre feria	Ubicación	Total metros lineales	Ciclo
Victoria	Victoria, desde San Pablo a San Francisco	1.670	Ma – Vi
Pque. Multiservicio	Tte. Cruz entre San Francisco y Ricardo Vial/calles aledañas	6.710	Ju – Sa – Do y festivos
Travesía	Travesía, entre La Estrella y Río Napo	1.090	Ma – Vi
Corona Sueca	Bandejón, Corona Sueca entre Ediles hasta Corona Checoslovaca	1.220	Mi – Sa
El Anillo	J.J. Pérez, entre N. Molinares y El Anillo y desde El Anillo hasta La Estrella	1.574	Mi – Sa
Centenario	Travesía entre Tte. Cruz hasta Mar de Drake	1.270	Mi – Sa
Serrano	Serrano desde Yungay hasta San Daniel con Federico Errázuriz	1.654	Ju – Do
Faldas del Morro	Faldas del Morro entre La Estrella y Osa Mayor, Osa Mayor entre Los Araucanos y pasaje Chiza	560	Ju – Do
La Estrella Sur	La Estrella Sur entre Laguna Sur y Los Mares	1.180	Ju – Do
Noviciado	Simón Bolívar, camino Noviciado	135	Ma – Vi
Campo Alegre	El estero, Camino Renca Lampa	135	Mi – Sa
CDLV	El Canal, esquina Las Flores	135	Ju – Do
Teniente Cruz	Estacionamiento de Teniente Cruz entre Ricardo Vial y San Francisco	1.030	Ma – Vi

Fuente: licitación pública ID 2277-61-LR19

Actualmente la Dirección de Aseo, Ornato y Medioambiente de la Municipalidad de Pudahuel no cuenta con la información correspondiente a la cantidad de residuos que aporta cada feria durante sus días de funcionamiento, pero se sabe que, en promedio, durante el año 2017 se recogieron 17,18 toneladas diarias de residuos procedentes de ferias, de lo cual 13,75 toneladas corresponden a residuos vegetales (Velásquez, 2019).

No obstante de lo anterior, se pueden visualizar la cantidad de metros lineales de feria que se realizan por cada día, lo cual ayuda a visualizar la estacionalidad en la generación de residuos de las ferias libres de la comuna.

Ilustración 5: Metros lineales recorridos por día de feria



Fuente: elaboración propia en base a datos de la licitación pública ID 2277-61-LR19

Según los datos facilitados por el Departamento de Aseo de la Ilustre Municipalidad de Pudahuel, el año 2019 se produjeron 6.019 toneladas de desechos provenientes de ferias libres y persas de la comuna, de las cuales el 80% correspondería a desechos vegetales orgánicos (Velásquez, 2019). La información en cuestión se adjunta en el [Anexo 1](#).

COMPOSTAJE

CARACTERIZACIÓN GENERAL

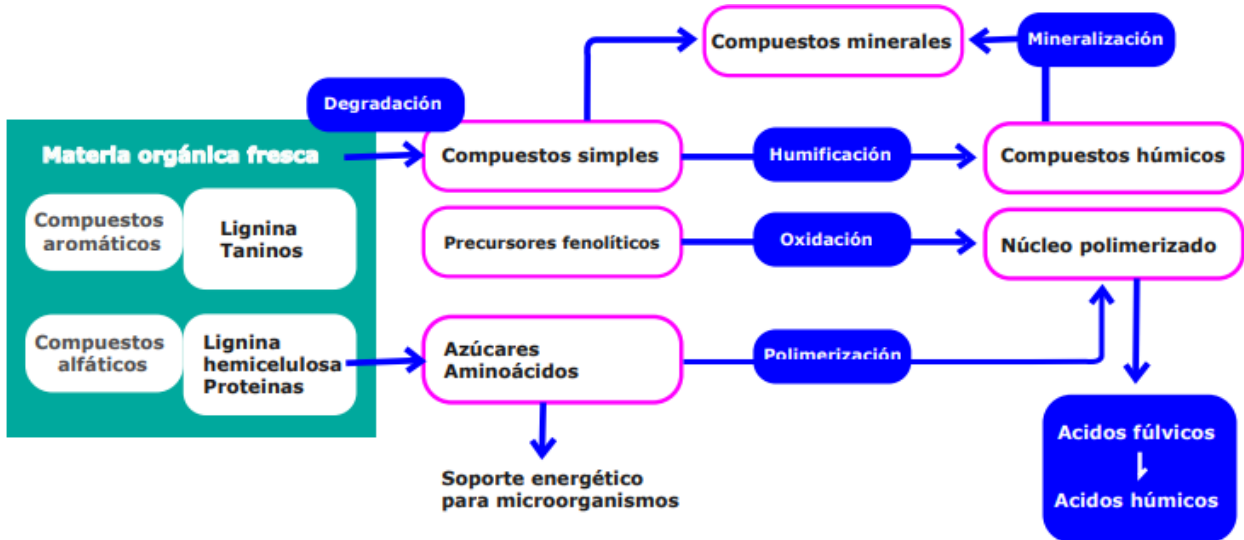
La formación de la materia orgánica que compone y nutre los suelos de los bosques, y prácticamente cualquier suelo terrestre donde crezca la vida vegetal, es un proceso espontáneo en la naturaleza. La descomposición de hojas, cortezas, frutas, o cualquier materia orgánica vegetal e incluso los estiércoles de algunos animales, son los que permiten niveles nutritivos en el suelo que dan base al crecimiento de organismos vegetales. Sin embargo, en la naturaleza este proceso puede tomar mucho tiempo, y las características del producto final pueden ser muy heterogéneas debido a que no se encuentran las condiciones óptimas ni estables para que el compostaje ocurra, lo que lo vuelve inapropiado para la actividad industrializada.

El compostaje es, por tanto, una forma de obtener un producto estable para el mejoramiento de los suelos a partir de transformaciones biológicas oxidantes, de manera similar a la que naturalmente ocurre en el suelo.

El compost es el producto final del proceso de compostaje, el cual a su vez se compone en varias etapas donde actúan distintos organismos microbianos y fúngicos (de Bertoldi et al. 1983).

La correcta transformación y maduración del material inicial en cada una de las etapas del compostaje es de vital importancia, ya que la adición de materia orgánica fresca al suelo resulta en cambios en el ecosistema en el cual los macroorganismos vegetales se están desarrollando (de Bertoldi et al. 1983). Una vez que la materia orgánica es colocada en el suelo, si esta no está parcialmente humificada, será degradada por la microflora antes que por las plantas, lo cual resulta en la producción de metabolitos intermedios que no son compatibles con el crecimiento normal de las plantas (de Bertoldi et al. 1983). Otras consecuencias del mismo hecho son la producción de amoníaco en el suelo (de Bertoldi et al. 1983). y la competencia por el nitrógeno que se produce entre las raíces de las plantas y los microorganismos.

Ilustración 6: Esquema de la evolución de la materia orgánica que llega al suelo



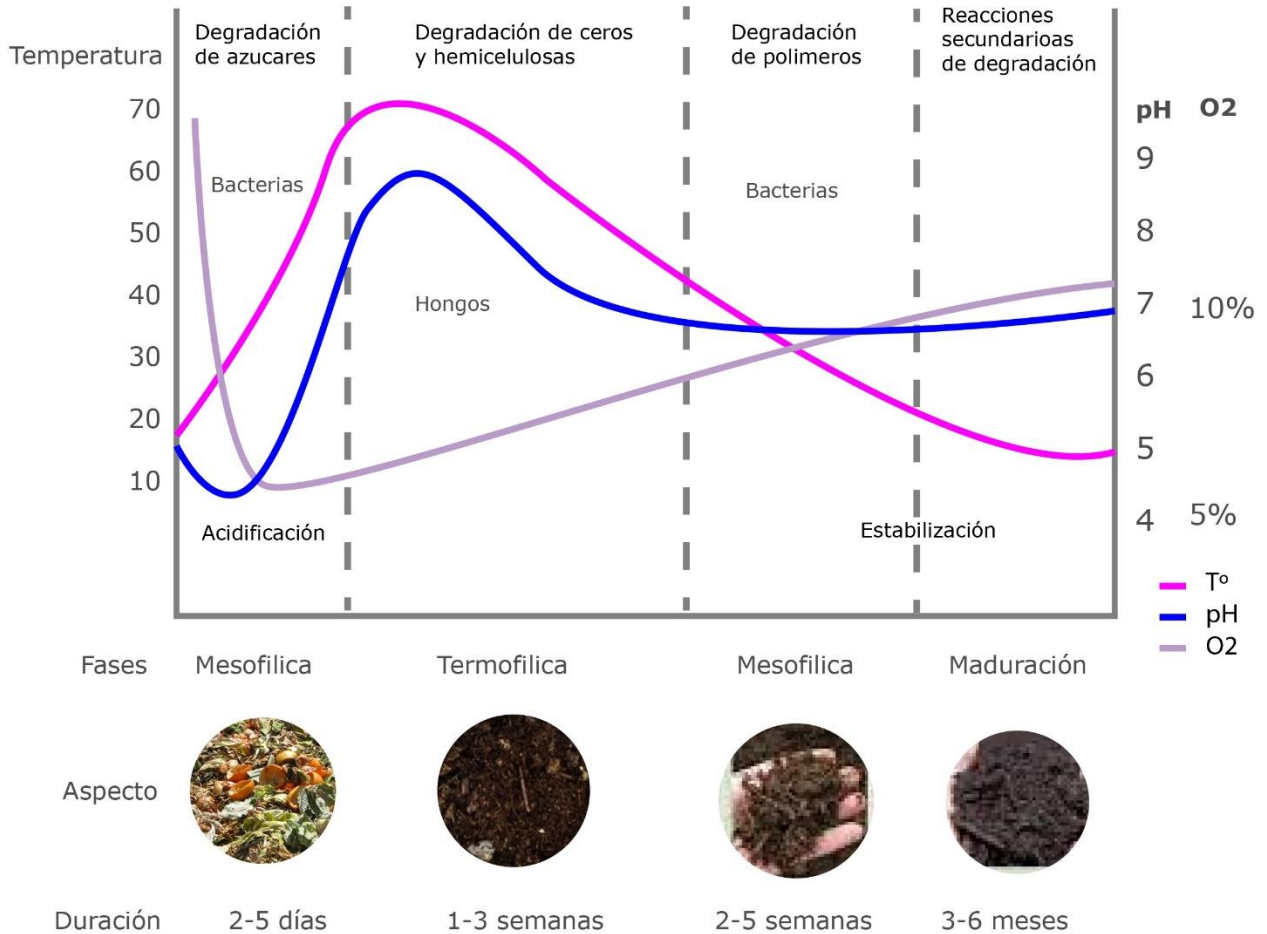
Fuente: elaboración propia con datos de Roman et al. (2013)

ETAPAS DEL COMPOSTAJE

Se puede decir que el proceso de compostaje agrupa la suma de los procesos metabólicos complejos que realizan diferentes microorganismos que, en presencia de oxígeno, aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) disponibles para producir su propia biomasa. En este proceso, los microorganismos generan calor y un sustrato sólido con menos C y N que el material inicial, pero que es más estable, el cual es llamado compost.

Al descomponer el C, el N y toda la materia orgánica inicial, los microorganismos desprenden calor. Este calor se acumula y genera variaciones de temperatura a lo largo del tiempo, y es en función de esta temperatura que se reconocen tres etapas principales en el proceso de compostaje, además de una etapa de maduración (Roman et al. 2013).

Ilustración 7: Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje



Fuente: elaboración propia con datos de Roman et al. (2013)

Fase Mesofílica

El material inicial comienza el proceso a temperatura ambiente, pero en un rango de tiempo que varía entre algunas horas y pocos días, la temperatura puede aumentar hasta los 45°C debido a los procesos exotérmicos que llevan a cabo los microorganismos, donde utilizan las fuentes simples de C y N. Además, la descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos, por lo que el pH del material puede bajar hasta cerca de 4.0 ó 4.5, es decir, incrementa su acidez. Esta fase puede durar entre dos y ocho días.

Fase Termofílica

Cuando el material alcanza temperaturas mayores a los 45°C, los organismos que se desarrollan en la fase mesófila son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas. Estos organismos son en su mayoría bacterias (llamadas bacterias termófilas) que actúan facilitando la degradación de fuentes de C más complejas que las degradadas en la fase mesófila, como la celulosa y la lignina. Estas bacterias actúan transformando el nitrógeno en amoníaco, por lo que el pH del medio sube.

A partir de los 60°C aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, estas últimas son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos complejos de carbono (de Bertoldi et al. 1983).

Esta fase también recibe el nombre de "Fase de Higienización" ya que las temperaturas alcanzadas destruyen bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. A temperaturas sobre los 55°C se eliminan los quistes y huevos de helmintos, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas, dando lugar al producto higienizado (de Bertoldi et al. 1983).

Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas, las condiciones del lugar y otros factores.

Fase de Enfriamiento o Mesofílica II

Una vez que se agotan las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material de compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. Durante esta fase continúa la degradación de polímeros como la celulosa y la lignina por parte de sus descomponedores principales: eumicetes y actinomicetes (de Bertoldi et al. 1983). En esta fase comienzan a aparecer algunos hongos visibles a simple vista. Luego, al bajar de los 40°C, los organismos mesófilos vuelven a iniciar su actividad y el pH del medio vuelve a descender, pero esta vez de forma leve, tal que generalmente el pH se mantiene ligeramente alcalino.

Esta fase de enfriamiento puede tomar varias semanas y podría confundirse con la fase de maduración.

Fase de Maduración

Este período demora meses a temperatura ambiente, durante el cual se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.

FACTORES QUE AFECTAN EL COMPOSTAJE

El compostaje es afectado en gran medida por factores ambientales externos, pero también depende de factores controlables tales como el método utilizado y la materia prima empleada.

Ya que el compostaje es un proceso que se lleva a cabo por microorganismos, es imperante tener en cuenta los factores que afectan su crecimiento y reproducción. Estos parámetros son medibles, y deben estar bajo vigilancia constante para poder mantenerlos dentro de los rangos óptimos. Los parámetros en cuestión y sus niveles adecuados se detallan a continuación.

Oxigenación

El oxígeno tiene la utilidad de oxidar muchos tipos de sustancias durante el compostaje, pero también es de suma relevancia para la respiración de los microorganismos que la llevan a cabo, por lo que mantener una adecuada y continua aireación es primordial para que los procesos biológicos y químicos no se detengan.

Las necesidades de oxígeno varían durante todo el proceso pues las necesidades de recursos son distintas en cada fase. La mayor tasa de consumo de oxígeno se alcanza en la fase termofílica, pues en esta etapa se alcanza el primer "peak" de actividad microbiana y, por ende, respiración celular aeróbica exotérmica.

Existe, entonces, una relación entre temperatura y consumo de oxígeno durante el compostaje. De manera general, se puede decir que temperaturas entre 30 y 55°C favorecen la actividad microbiana (de Bertoldi et al. 1983), y es en estas temperaturas donde cada microorganismo alcanza su mayor consumo de oxígeno. Sin embargo, es importante señalar que es necesario alcanzar mayores temperaturas para lograr un compost correctamente higienizado. Es por estas razones que la concentración de oxígeno no es un buen indicador por sí solo, y este debe ser contrastado con otros indicadores,

entendiendo en qué nivel debe estar cada parámetro dependiendo de las necesidades de cada fase del compostaje.

La saturación de oxígeno en el medio no debe bajar del 5%, siendo el nivel óptimo un 10% (Roman et al. 2013).

Es importante comprender que cada esfuerzo por controlar un parámetro tendrá un efecto en los otros parámetros, por lo que no se puede afectar cada uno de forma independiente. Así, un exceso de aireación podría provocar un descenso en la temperatura y mayor pérdida de humedad por evaporación, haciendo que el proceso se detenga por falta de agua. Por el contrario, una baja aireación impide la respiración celular e impide la suficiente evaporación de agua, generando un ambiente con exceso de humedad. En un ambiente falto de oxígeno se producen malos olores y aumento de la acidez por la presencia de compuestos como el ácido acético, ácido sulfhídrico o metano en exceso.

Tabla 3: Control de aireación

Porcentaje de aireación	Problema		Soluciones
< 5%	Baja aireación	Insuficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis	<i>Volteo de la mezcla y/o adición de material estructurante que permita la aireación</i>
5% - 15% Rango ideal			
< 15%	Exceso de aireación	Descenso de temperatura y evaporación del agua, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua	<i>Picado del material a fin de reducir el tamaño de poro y así reducir la aireación. Se debe regular la humedad, bien proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua (restos de fruta y verduras, césped, purines u otros)</i>

Fuente: elaboración propia con datos de Roman et al. (2013)

Temperatura

La actividad biológica de los microorganismos es la responsable de las altas temperaturas que se producen en el compost, este calor logra acumularse dentro de las pilas de compostaje ya que la dispersión es baja gracias al aislamiento térmico natural de los desechos sólidos urbanos, lo cual resulta paradójico pues muchos organismos no soportan los niveles de temperatura que ellos mismos contribuyen a generar, a este proceso se le llama "suicidio microbiano" (de Bertoldi et al. 1983). De hecho, las temperaturas excesivamente altas inhiben el crecimiento de la mayoría de los microorganismos presentes, disminuyendo entonces la descomposición de la materia orgánica.

Una fase termofílica inicial es útil para controlar los patógenos termosensibles, pero después de esta etapa es preferible reducir las temperaturas para facilitar el desarrollo de los principales organismos descomponedores de polímeros largos como la celulosa y la lignina. Para lograr un rápido compostaje, se deben evitar las temperaturas altas por largos períodos, pero una vez que estas comiencen a descender luego de la fase termofílica (donde se alcanza la mayor temperatura durante el proceso), es deseable que estas decaigan lentamente siendo las temperaturas óptimas entre los 45 y 55°C (de Bertoldi et al. 1983).

Humedad

El contenido de humedad está estrechamente ligado a la aireación del compost, ya que una correcta cantidad de agua disminuirá la resistencia estructural del material a la vez que permite el desplazamiento del aire dentro del mismo (de Bertoldi et al. 1983). Bajos niveles de humedad afectan directamente al transporte de nutrientes y elementos energéticos entre los microorganismos, ya que el agua sirve de medio de transporte para estas sustancias, tanto entre las células como hacia dentro de la célula a través de la membrana celular, por lo que bajos niveles de humedad disminuyen la actividad microbiana y dificultan la degradación en cada fase del proceso, causando que el producto obtenido sea biológicamente inestable; por otra parte, altos niveles de humedad obstruyen los poros del compost dificultando su correcta aireación.

Dada la dificultad de lograr una humedad homogénea cuando esta se interviene para su corrección, y sumado al hecho de que cada intervención en un parámetro tiene un efecto sobre los demás parámetros, es preferible que el valor de la humedad sea el óptimo al inicio de la primera fase de compostaje, considerando que una fracción se perderá por evaporación.

La humedad óptima para el compost se sitúa alrededor del 55%, aunque varía dependiendo del estado físico y del tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje. Por ejemplo, el mismo porcentaje de agua para dos partículas de distinto tamaño puede tapar los poros a la más pequeña, pero ser adecuada para la de mayor tamaño (Roman et al. 2013).

El rango óptimo de humedad para compostaje es del 45% al 60% de agua en peso del material inicial.

Tabla 4: Parámetros de humedad óptimos

Porcentaje de humedad	Porcentaje		Soluciones
< 45%	Humedad insuficiente	Puede detener el proceso de compostaje por falta de agua para los microorganismos	<i>Se debe regular la humedad, ya sea proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua (restos de fruta y verduras, césped, purines u otros)</i>
45% - 60% Rango ideal			
> 60%	Oxígeno insuficiente	Material muy húmedo, el oxígeno queda desplazado. Puede dar lugar a zonas de anaerobiosis	<i>Volteo de la mezcla y/o adición de material con bajo contenido de humedad y con alto valor en carbono, como serrines, paja u hojas secas</i>

Fuente: elaboración propia con datos de Roman et al. (2013)

Tamaño de la partícula

El tamaño de la partícula está relacionado con la actividad microbiana, pues determina la accesibilidad que los microorganismos tendrán al sustrato. Así, mientras más pequeña sea la partícula, mejor acceso tendrán los hongos y bacterias a los nutrientes del sustrato. El tamaño ideal de los materiales para comenzar el compostaje es de 5 a 20 cm.

La porosidad del material guarda directa relación con su densidad, siendo la densidad inicial de 150 – 250 kg/m³, pero conforme avanza el proceso, el tamaño de las partículas disminuye y, por tanto, la densidad aumenta hasta unos 600 – 700 kg/m³.

Tabla 5: Control de tamaño de partícula

Tamaño de las partículas (cm)	Problemas		Soluciones
> 30cm	Exceso de aireación	Los materiales de gran tamaño crean canales de aireación que hacen bajar la temperatura y desaceleran el proceso	<i>Picar el material hasta conseguir un tamaño medio de 10-20 cm</i>
5 – 30 cm Rango ideal			
< 5cm	Oxígeno insuficiente	Las partículas demasiado finas crean poros pequeños que se llenan de agua, facilitando la compactación del material y un flujo restringido del aire, produciéndose anaerobiosis	<i>Voltear y/o añadir material de tamaño mayor y volteos para homogenizar</i>

Fuente: Roman et al. (2013)

Nivel de pH

El pH define en gran medida la supervivencia de los microorganismos, y cada grupo tiene pH óptimos distintos: mientras que la mayor actividad bacteriana se produce en pH de 6.0 a 7.5, es decir, pH neutro; la mayor actividad fúngica se produce a pH entre 5.5 y 8.0, es decir un pH ligeramente alcalino. El rango ideal es de 5.8 a 7.2. (Roman et al. 2013).

En la práctica no es fácil cambiar el pH del compost, por lo que es preferible elegir una distribución y composición óptima desde el inicio del material de compostaje. Altos valores de pH en las fases iniciales del proceso, en asociación con altas temperaturas, pueden causar pérdida de nitrógeno a través de la volatilización de amoníaco.

El pH del compostaje depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso (desde 4.5 a 8.5). En los primeros estadios del proceso, el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos. Luego, en la fase termófila, debido a la conversión del amonio en amoniaco, el pH sube y se alcaliniza el medio, para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro.

Tabla 6: Parámetros de pH óptimos

pH	Causas asociadas		Soluciones
< 4,5	Exceso de ácidos orgánicos	Los materiales vegetales como restos de cocina, frutas, liberan muchos ácidos orgánicos y tienden a acidificar el medio	<i>Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C:N</i>
4,5 – 8,5 Rango ideal			
> 8,5	Exceso de nitrógeno	Cuando hay un exceso de nitrógeno en el material de origen, con una deficiente relación C:N, asociado a humedad y altas temperaturas, se produce amoniaco alcalinizando el medio.	<i>Adición de material mas seco y con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín)</i>

Fuente: elaboración propia con datos de Roman et al. (2013)

Relación Carbono/Nitrógeno

La tasa natural de Carbono/Nitrógeno (C/N) de las células de los microorganismos es de cerca de 10, es decir, poseen 10 moléculas de carbono por cada 1 de nitrógeno; y teóricamente esta sería la mejor tasa par su metabolismo. Sin embargo, a causa de los procesos del compostaje, esta baja tasa llevaría a una pérdida de nitrógeno a través de la volatilización del amoniaco, especialmente a altos valores de pH y temperatura.

Si la tasa C/N inicial es mayor a 35, los microorganismos deben pasar por muchos ciclos de vida oxidando el exceso de carbono hasta obtener una tasa más conveniente para su metabolismo, dificultando su reproducción; mientras que una baja tasa desacelerará la descomposición e incrementará la pérdida de nitrógeno.

Luego de largos experimentos de compostaje en residuos sólidos municipales, se determinó que la tasa Carbono/Nitrógeno generalmente óptima es de 25 en el material inicial (de Bertoldi et al. 1983).

Como la mayoría de los residuos orgánicos tienen una alta tasa C/N, es posible corregirlo añadiendo material rico en nitrógeno.

Tabla 7: Parámetros de la relación C/N óptima

C:N	Causas asociadas		Soluciones
> 35:1	Exceso de Carbono	Existe en la mezcla una gran cantidad de materiales ricos en carbono. El proceso tiende a enfriarse y a ralentizarse	<i>Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C:N</i>
15:1 – 35:1 Rango ideal			
< 15:1	Exceso de nitrógeno	En la mezcla hay una mayor cantidad de material rico en nitrógeno, el proceso tiende a calentarse en exceso y se generan malos olores por el amoníaco liberado.	<i>Adición de material con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín)</i>

Fuente: elaboración propia con datos de Roman et al. (2013)

TIPOS DE TÉCNICA DE COMPOSTAJE

Se reconocen principalmente dos tipos de métodos para realizar compostaje, los cuales se distinguen por el contexto en el cual se desarrollan: en un lugar abierto, o en un recipiente cerrado.

Sistemas abiertos o en Pilas

Cuando la cantidad de espacio disponible no es una limitante, y se cuenta con más de 1 m³ de material, se puede llevar a cabo este tipo de compostaje.

En función de parámetros como el tipo de material, condiciones climatológicas, espacio, o nivel técnico, existe una amplia variedad de formaciones de pila. En la publicación de FAO sobre los "Métodos de compostaje en la finca" (Misra et al. 2003) se explican diversas técnicas de formación de pilas, tomando en cuenta la disposición de material de origen animal propio de una finca o granja.

Aunque los desechos orgánicos de ferias libres no contengan materiales de origen animal, las experiencias recogidas por la FAO sirven para conseguir una relación adecuada entre el contenido de carbono y de nitrógeno, y para sistematizar el control de la temperatura y la humedad.

Los métodos más comunes son los sistemas al aire libre porque son más versátiles y entregan resultados más predecibles (de Bertoldi et al. 1983).

Ilustración 8: Pilas de compostaje



Fuente: Roman et al. (2013)

Pila con sistema de Volteo Mecanizado

Este tipo de compostaje consiste en colocar el material bruto en pilas que son agitadas o volteadas en intervalos regulares. El volteo mezcla el material de compostaje y brinda aireación pasiva a la pila (que no es fruto de otra operación exógena). EL nivel de esta aireación pasiva será determinado por el tamaño de los propios poros de la pila, los cuales a su vez dependerán de la composición y alto de la pila. Si bien los tamaños de las pilas varían desde los 300 a 600 cm de ancho, la densidad del material determinará su alto, por lo que puede variar desde los 90 cm para composiciones con material denso como el estiércol, hasta los 360 cm de alto para materiales ligeros como las hojas o restos de podas (Roman et al. 2013).

El equipamiento utilizado para el volteo de la pila es un factor determinante para el tamaño de la pila, pues esta operación debe realizarse con frecuencia.

La aireación que se proporciona a este tipo de pilas se produce a través del movimiento natural del aire como los vientos, y a través de la convección de los gases internos en difusión. La tasa de aireación dependerá de la porosidad de la pila, por lo tanto, el tamaño de una pila que pueda ser efectivamente aireada dependerá de su porosidad. Así, una pila de hojas de poda puede ser mucho más grande que una pila de material más compacto como el estiércol. Cuando la pila es muy alta, no habrá buena aireación en su centro y dará origen a compostaje anaeróbico, lo cual libera malos olores cuando se voltea la pila. Por otro lado, las pilas que son muy bajas pierden calor rápidamente y no logran alcanzar temperaturas que evaporan la humedad ni matan patógenos y semillas de hierbas.

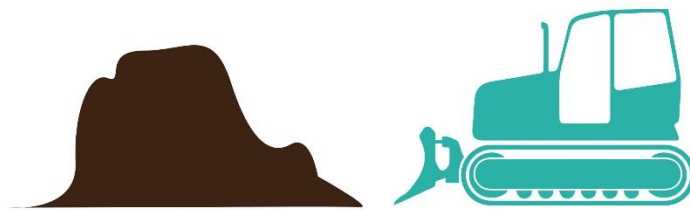
Los niveles de oxígeno deben ser sostenidos en el tiempo, por lo que el volteo continuo es lo único que garantiza la continuidad de la aireación en esta modalidad de pila, sin embargo, esto implica un aumento de costos insostenible a mediana o gran escala, y también interfiere con el crecimiento de algunos microorganismos tales como los filamentos de hongos, por lo que se opta por organizar un plan de volteo.

La frecuencia del volteo depende de la tasa de descomposición, la humedad, la porosidad de la pila, y sobre todo del tiempo de compostaje deseado. Como la tasa de descomposición es mayor al inicio del proceso, la frecuencia de volteo disminuye conforme pasa el tiempo. Materiales de fácil degradación o altos en nitrógenos podrían requerir volteos diarios en un comienzo, pero mediante el proceso avanza, la frecuencia de volteado puede ser reducida a sólo un volteo por semana.

Debido a que se sitúa en la intemperie, se pueden aplicar técnicas de consolidación para resistir mejor, por ejemplo, las bajas temperaturas del invierno.

En la primera semana de compostaje, el alto de una pila puede disminuir notoriamente, y para el final de la segunda semana, esta puede medir menos de un metro de alto, y es en esta etapa en que dos pilas en iguales condiciones pueden ser unidas para conservar mejor la temperatura durante tiempos fríos.

Ilustración 9: Volteo mecanizado



Fuente: elaboración propia

Pila Estática con Aireación Pasiva

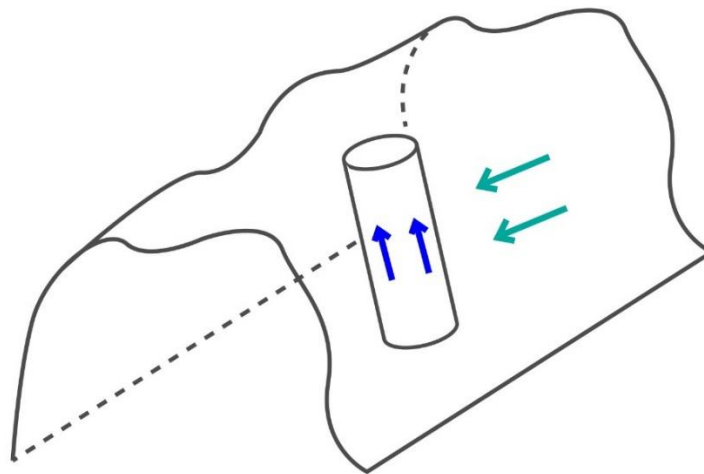
Con esta técnica, el aire es suministrado al material de compostaje a través de tubos perforados sumergidos en cada pila, eliminando la necesidad de volteo. Los extremos de los tubos se mantienen abiertos, y el aire fluye a través de estos gracias al efecto chimenea que producen los gases calientes que se originan dentro de la pila, estos tubos se ubican sobre una capa de compost a punto de madurar o ya madurado.

La pila debe tener un alto de entre 90 y 120 cm, y tener una capa superior de 15 cm compuesta de paja, o de material a punto de finalizar su proceso de compostaje o material derechamente ya compostado. Esta capa base absorbe y retiene la humedad, y ayuda a retener los malos olores y el amoníaco, y aísla de las moscas. El tubo plástico es similar a los utilizados en sistemas sépticos, con dos filas de agujeros de 1.27 cm de diámetro perforados a lo largo del tubo. Algunos investigadores recomiendan ubicar los agujeros hacia

abajo para minimizar la probabilidad de que se tapen, y permitir el drenaje de los vapores condensados dentro de la pila (Roman et al. 2013).

Como el material ya no se voltea, es muy importante haberlo mezclado bien antes de la formación de la pila, también es importante evitar la compactación del material cuando se va formando la pila. Los tubos que caracterizan esta técnica son colocados sobre la capa de compost base, y cuando se termina el proceso los tubos son retirados y se mezcla todo el material de la pila.

Ilustración 10: Foto y figura explicativa de la pila con aireamiento pasivo



Fuente: elaboración propia.

Pila Estática con Aireación Forzada

Este método toma la técnica de aireación pasiva en pilas y va un paso más allá. En vez de dejar que el aire circule naturalmente por el tubo, ahora se ejerce aire a presión en los tubos, lo cual proporciona mejor control sobre algunas variables del proceso tales como la humedad, la temperatura y la aireación; y permite que las pilas sean más grandes. Si la pila ha sido correctamente conformada, y si el suministro de aire es suficiente y uniformemente distribuido, las primeras tres fases del compostaje pueden ser completadas en una cantidad de tiempo de tres a cinco semanas.

Con esta técnica, el material bruto debe ser apilado sobre una base de astillas de madera, paja, u otro material muy poroso. Es en esta base porosa donde se ubica el tubo de aireación, que se conecta a una bomba que puede suministrar presión positiva o negativa (soplido o succión).

Dependiendo de la porosidad del material y las condiciones climáticas, la altura inicial de la pila debería ser de unos 150 a 245 cm. Una mayor altura puede servir en tiempos invernales pues ayuda a mantener la temperatura, además puede ser necesaria una capa de 15 cm de compost maduro o material fibroso, esta capa protege a la superficie de la pila del secamiento, retiene el calor, filtra amoníaco y otros agentes odoríferos, y sirve de barrera contra las moscas que buscarán el material sin descomponer (Roman et al. 2013).

Hay dos formas comunes de pilas estáticas aireadas: pilas individuales y pilas extendidas. Las pilas individuales son largas y triangulares, con un ancho (aproximadamente unos 300 a 490 cm) de aproximadamente el doble de su altura, en la base del cual se ubica el tubo de aireación. Las pilas individuales contienen una gran cantidad de un material de cierta preparación, o pueden contener materiales preparados en distintos días, pero no con más de 3 días de separación. Estas pilas individuales son prácticas cuando se dispone de material a intervalos de tiempo, y no continuamente (Roman et al. 2013).

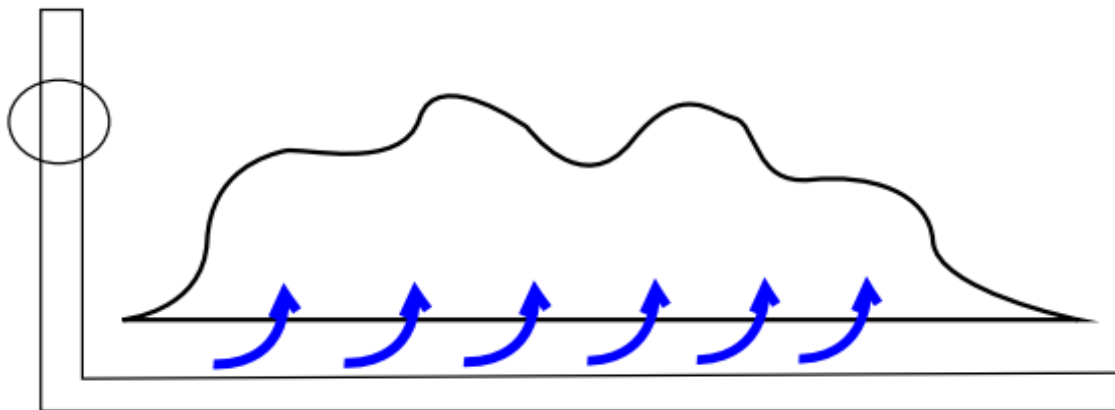
Como la pila no recibe movimiento externo, la selección y mezcla inicial del material bruto es sumamente importante para evitar una mala aireación de la pila y compostaje desigual. También, la pila requiere de material fibroso y duro que le proporcione estructura y asegure una porosidad que perdure durante todo el proceso de compostaje. Algunos de estos materiales pueden ser astillas de madera, compost reciclado que no se haya degradado completamente, coronta de maíz, corteza, restos fibrosos de cultivo, hojas, conchas de mar, papel, e incluso tiras de neumático. Todo el material que no se degrade con el proceso puede ser tamizado y reutilizado en otra pila de compostaje.

En esta técnica, el aire puede ser suministrado de dos maneras: con un sistema de succión, o un sistema de presión que empuje aire hacia la pila.

Con el sistema de succión, el aire extraído puede ser filtrado para capturar cualquier mal olor que ocurra durante el proceso. Mientras que, ejerciendo presión positiva, el aire utilizado durante el compostaje se aleja de la pila, haciendo más difícil su control por malos olores. Sin embargo, la presión positiva provee una mejor aireación, por lo que también sirve para controlar el enfriamiento de la pila, lo cual es preferible cuando hay que lidiar con condiciones climáticas adversas (de Bertoldi et al. 1983). También, una capa externa de mayor grosor puede ayudar a contener los malos olores.

La ventilación forzada por presión en conjunto con el control de temperatura parece ser el sistema que provee mejor control de la temperatura y asegura continuidad en el proceso de descomposición, facilita la remoción de agua y permite tasas predecibles de compostaje (de Bertoldi et al. 1983).

Ilustración 11: Sistema de aireación forzada



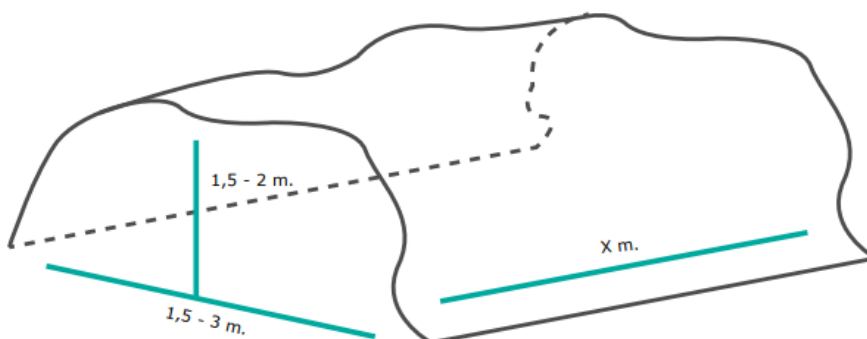
Fuente: elaboración propia.

Tamaño de la pila en sistemas abiertos

En el compostaje en pilas es relevante el tamaño de la misma, pero especialmente lo es su altura, ya que afecta directamente al contenido de humedad, temperatura y oxígeno. Pilas de baja altura y de base ancha, aunque tengan una buena humedad inicial y buena tasa carbono nitrógeno, hacen que el calor generado por los microorganismos se pierda fácilmente tal que no se logra alcanzar la temperatura necesaria dentro de la pila.

En caso de utilizar la técnica de volteo no mecanizado, se hacen pilas de 1,5 a 2 metros de altura y de un ancho de 1,5 a 3 metros. La longitud de la pila dependerá del área y del manejo (Roman et al. 2013).

Ilustración 12: Dimensiones de pila de compostaje para pequeño agricultor



Fuente: elaboración propia.

En el momento de estimar las dimensiones de la pila de compostaje, se debe tener en cuenta que, durante el proceso de compostaje, la pila disminuye de tamaño (hasta un 50% en volumen) debido en parte a la compactación y en parte a la pérdida de carbono en forma de CO₂ (Roman et al. 2013).

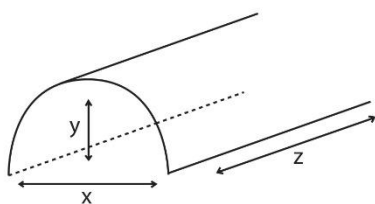
A continuación, se presentan ejemplificaciones prácticas que respecto al cálculo del tamaño de las pilas.

Cálculo de las dimensiones de una pila de compostaje a partir de la cantidad de material a compostar

Un agricultor familiar tiene un total de 100 kg a la semana de restos vegetales de su huerto y de la cocina. Decide hacer una pila con los 100 kg semanales*.

*Si se considera ** una densidad de 250kg/m³, entonces el volumen de la pila será:
250 kg/m³ = 100kg/m³ , x es 0,40m³*

Este volumen es insuficiente para hacer la pila (volumen mínimo de 1m³), por lo que se necesitarían, al menos, 250 kg para alcanzar los valores mínimos de base y altura de la pila. En la situación de que varios vecinos se unen y consiguen 1.250 kg a la semana se obtienen 5 m³ Las dimensiones de la pila serían:



$$5 \text{ m}^3 = (x \cdot y \cdot z)$$

En este caso, se utiliza la fórmula del volumen de un paralelepípedo como medida aproximada del volumen de una pila:

$$\text{Volumen paralelepípedo} = x \cdot y \cdot z$$

Suponiendo una altura (y) de 1,5 m y un ancho (x) de 1,5 m, entonces la longitud (z) de la pila será: $5 \text{ m}^3 = (1,5 \cdot 1,5 \cdot z) \Rightarrow \text{longitud} = 2,2 \text{ m}$

*Cada semana se aconseja hacer una pila nueva, o una continuación del largo de una misma pila. Esto es así para evitar añadir material fresco a material que ya está en la fase termófila/ higienización e interrumpir el proceso.

** Para calcular la densidad del material: se toma un cubo o cubeta de volumen conocido, se pesa el cubo lleno de material sin compactar y se resta el peso del cubo. Por último, se divide este peso del material entre el volumen conocido y así se obtiene la densidad del material.

Ejemplo: Una cubeta con un volumen de 10 litros (0,01 m³) pesa 3,27 kg (siendo 270 g el peso de la cubeta).

$$\text{Densidad} = 3 \text{ kg} / 0,01 \text{ m}^3 = 300 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo de las dimensiones de una pila de compostaje a partir de la necesidad de compost final

Una familia tiene un huerto de 100 m² al que quieren añadir compost. La cantidad media recomendada es 4-5 kg de compost por cada m² de huerto, por lo que se necesitarán 400-500 kg de compost.

Teniendo en cuenta que durante el proceso de descomposición se pierde hasta un 50% de material (ver apartado Tamaño de la pila o volumen en compostaje), se calcula que el material de partida debería ser el doble del material final. Para este ejemplo, se requieren 800-1000 kg de material inicial.

Partiendo de este valor, se aplican los mismos pasos que en el ejemplo anterior:

Se calcula el volumen a partir de la densidad: 1000 kg => 4 m³ (densidad de 250 kg/m³)

Se calcula el área a partir del volumen (la pila de la Figura 15 tiene una forma más piramidal, por lo que se utiliza la fórmula del volumen de una pirámide en lugar que un paralelepípedo, que es más apropiada para este caso)

4 m³ = área triángulo · longitud = (b · h) / 2 · longitud => 4 = (1,7 · 1,2) / 2 · longitud



Fuente: CDC de agricultura Urbana de Ciudad Sandino. Managua

Ilustración 15: Cálculo de las dimensiones de una pila de compostaje a partir del área disponible para realizar el compostaje

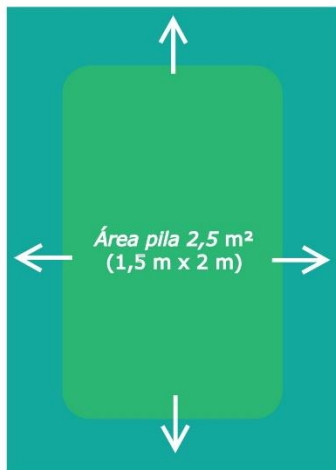
Cálculo de las dimensiones de una pila de compostaje a partir del área disponible para realizar el compostaje

Si el limitante es el área donde realizar el compostaje, entonces el valor fijo es el área base (la longitud y ancho de la pila).

Una familia puede dedicar un área de 3 m² de su patio para hacer compost. Ésa es el área límite. Se suele dejar un 15% de área de contingencia, ya que parte del material suele rodar de la pila (por viento, lluvia, pequeños animales) y caer a los lados.

Área disponible para zona de compostaje

Área Patio 3m² (1,5m × 2m)



Si, por ejemplo, se estima una altura máxima de 1,5m, entonces:

$$\text{Volumen m}^3 = (1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,7) \Rightarrow 3\text{m}^3$$

**3m³ (Densidad: 250 kg/m³)
corresponde aproximadamente a 750kg
de material de partida para compostar.**

Fuente: elaboración propia con información de Roman et al. (2013)

Tareas a realizar en la formación y manejo de la pila

Elección del área y nivelación

Se toma esta elección en función de condiciones climatológicas, distancia al área de producción de residuos, distancia al área donde se aplicará el compost final y pendiente del terreno. Es preferible un área protegida de vientos fuertes, a más de 50 metros de nacimientos de agua para evitar contaminaciones, y de poca pendiente (< 4%) para evitar problemas de lixiviados y erosión.

Picado de material y amontonamiento

El material a compostar se pica manual o mecánicamente de preferencia en fragmentos de 10 a 15 cm. Se toma normalmente como unidad de tiempo la semana para amontonar material en una misma pila, antes que empiece la fase termofílica, y así evitar la re-contaminación del material con material fresco. Otro aspecto importante es la mezcla del material para alcanzar una relación C/N adecuada. Según la Universidad de Cornell (1996), la fórmula a seguir es:

$$R = \frac{Q_1 * (C_1 * (100 - M_1) + Q_2(C_2 * (100 - M_2) + Q_3(C_3 * (100 - M_3) + \dots}{Q_1 * (N_1 * (100 - M_1) + N_2(C_2 * (100 - M_2) + N_3(C_3 * (100 - M_3) + \dots}$$

Siendo Q la cantidad de material a adicionar, C y N Carbono y Nitrógeno en peso, y M la humedad en peso del material. R será la tasa C/N resultante de la mezcla de cada material i en su cantidad Q_i y se puede estimar de la siguiente manera:

Para facilitar la tarea, se puede usar una tabla básica que indique los valores de C/N de los materiales más comúnmente usados y hacer una estimación. A continuación, se presenta la fórmula que permite saber cuánto del material 2 es necesario añadir para lograr una mezcla con una tasa R. Esta mezcla ya tiene material 1 (Roman et al. 2013).

$$Q_2 = \frac{Q_1 * N_1 * (R - C_1/N_1) * (100 - M_1)}{N_2 * (C_1/N_1 - R) * (100 - M_2)}$$

Para el cálculo de las proporciones de Carbono y Nitrógeno, se puede utilizar la siguiente tabla con contenidos referenciales:

Tabla 8: Relación C/N de algunos materiales utilizados para el compostaje

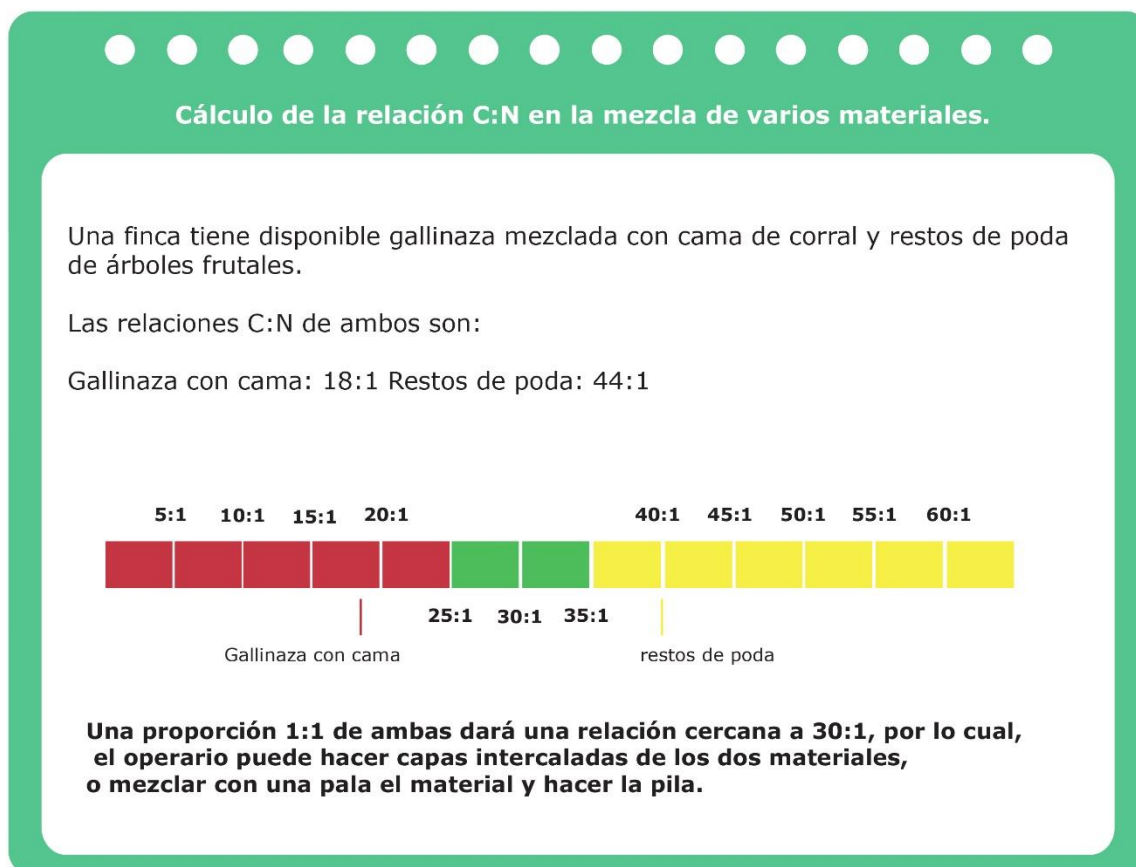
Nivel alto de nitrógeno 1:1 – 24:1		C:N equilibrado 25:1 – 40:1		Nivel alto de carbono 41:1 – 1000:1	
Material	C:N	Material	C:N	Material	C:N
Purines frescos	5:1	Estiércol vacuno	25:1	Hierba recién cortada	43:1
Gallinaza pura	7:1	Hojas de frijol	27:1	Hojas de árbol	47:1
Estiércol porcino	10:1	Crotalaria	27:1	Paja de caña de azúcar	49:1
Desperdicios de cocina	14:1	Pulpa de café	29:1	Basura urbana fresca	61:1
Gallinaza camada	18:1	Estiércol ovino/caprino	32:1	Cascarilla de arroz	66:1
		Hojas de plátano	32:1	Paja de arroz	77:1
		Restos de hortalizas	37:1	Hierba seca (gramíneas)	81:1
		Hojas de café	38:1	Bagazo de caña de azúcar	104:1
		Restos de poda	44:1	Mazorca de maíz	117:1
				Paja de maíz	312:1
				Aserrín	638:1

Fuente: elaboración propia con datos de Roman et al. (2013)

El rango ideal de la relación C/N para comenzar el compostaje es de 25:1 a 35:1. Para calcularlo, se seleccionan de la Tabla 8 los materiales disponibles y se calcula la relación C/N de los materiales por separado. Se realiza un cálculo de proporcionalidad y se obtiene la cantidad de cada material que se aplica a la pila.

Este cálculo se puede usar como referencia, pero siempre habrá un margen de error, ya que no se están realizando ajustes para la humedad del material a la disponibilidad del C o N (por ejemplo, el cartón tiene alto contenido de carbono, pero es de lenta degradación).

Ilustración 16: Cálculo de la relación C/N en la mezcla de varios materiales



Fuente: elaboración propia con información de Roman et al. (2013)

También existen calculadoras en línea para hacer los cálculos C/N de hasta tres materiales, como el de la Universidad de Cornell.

Ilustración 17: Calculadora de la relación C/N

Ingredient	% H2O	Weight	% Carbon	% Nitrogen	C/N Ratio
				Result:	

Fuente: Roman et al. (2013). Disponible en <http://compost.css.cornell.edu/calc/2.html>

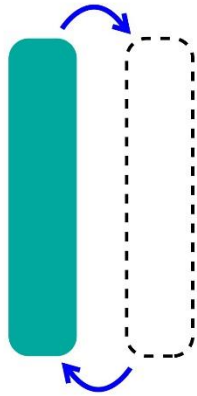
Volteo

Cuando se usa la técnica de volteo, normalmente, se hace un volteo semanal durante las 3 a 4 primeras semanas, y luego pasa a ser un volteo quincenal. Esto depende de las condiciones climáticas y de la humedad y aspecto del material que se está compostando. Se debe hacer un control de aspecto visual, olor y temperatura para decidir cuándo hacer el volteo (Roman et al. 2013).

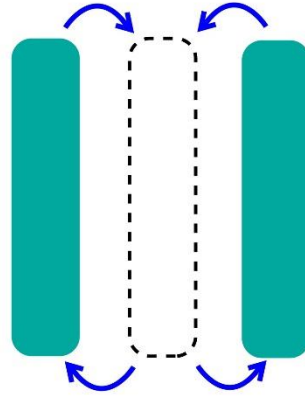
Es importante optimizar el espacio de operación y volteo. En la figura 18 se dan algunos ejemplos de optimización del espacio.

Ilustración 18: Modalidades de volteo según número de pilas

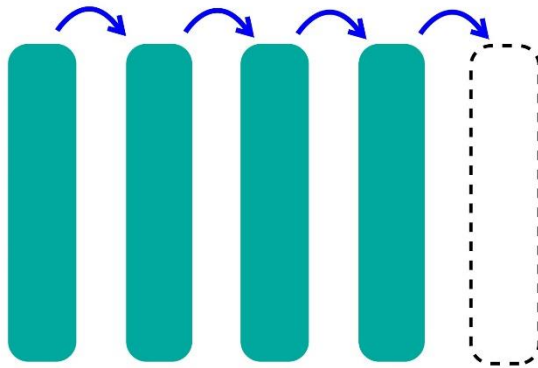
Si solo hay una pila en la finca se utilizan dos espacios para el volteo.



Si solo hay dos pilas en la finca se utilizan el espacio entre pilas alternativamente para el volteo.



Si hay tres pilas o más, entonces se hace avanzando, disponiendo las pilas nuevas en el espacio dejado por la pila volteada.







Fuente: elaboración propia con información de Roman et al. (2013)

Control de parámetros en pilas

Las medidas de los parámetros establecidos, en cada una de las fases del compostaje, pueden verse reflejados de manera general en la siguiente figura:

Ilustración 19: Planilla de control de proceso

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12
Temperatura												
Ref temperatura	15°-40°		40°-65°			15°-40°				~T°ambiente		
pH												
Ref pH	4-6		8-9			7-8				6-8		
Humedad												
Ref humedad	variable, dependiendo de la humedad de entrada, entre 30% - 60%.											
Aspecto												
Ref aspecto visual												

Fuente: Roman et al. (2013)

Oxigenación

Si bien no existe una manera precisa de medir la oxigenación de las pilas *in situ*, un indicador de la falta de aireación es el mal olor proveniente de las reacciones anaeróbicas de la pila. Estas reacciones se producen ante la carencia de oxígeno, por lo que, si los malos olores son detectados en la pila, se recomienda airearla.

Humedad

Para medir la humedad se puede aplicar la "técnica del puño cerrado", la cual consiste simplemente en meter la mano a la pila, sacar un puñado del material y abrir la mano. El material debe quedar apelmazado, pero sin escurrir agua. Si corre agua, se debe voltear y/o añadir material secante, que puede ser aserrín o paja. En cambio, si el material queda suelto en la mano, entonces se debe añadir agua y/o añadir material fresco como hortalizas o restos de césped (Roman et al. 2013).

Temperatura

En caso de no disponer de un termómetro, se puede utilizar una barra de metal, o una de madera en caso de no tener de metal. La barra se introduce en distintos puntos de la pila y se comprueba con la mano un aproximado de la temperatura según la fase de compostaje en la que se encuentre la pila. Es importante observar las temperaturas recomendadas en cada fase (Roman et al. 2013).

En caso de contar con un termómetro y detectar temperaturas anómalas, se pueden aplicar las medidas descritas en la siguiente tabla:

Tabla 9: Parámetros de temperatura óptimos

Temperatura	Causas asociadas		Soluciones
Bajas temperaturas (T°. ambiente < 35°C)	Humedad insuficiente.	Las bajas temperaturas pueden darse por varios factores, como la falta de humedad, por lo que los microorganismos disminuyen la actividad metabólica y por tanto, la temperatura baja.	<i>Humedecer el material o añadir material fresco con mayor porcentaje de humedad (restos de fruta y verduras, u otros)</i>
	Material Insuficiente.	Insuficiente material o forma de la pila inadecuada para que alcance una temperatura adecuada.	<i>Añadir más material a la pila de compostaje</i>
	Déficit de nitrógeno o baja C:N..	El material tiene una alta relación C:N y por lo tanto, los microorganismos no tienen el N suficiente para generar enzimas y proteínas y disminuyen o ralentizan su actividad. La pila demora en incrementar la temperatura mas de una semana.	<i>Añadir material con alto contenido en nitrógeno como estiércol</i>
Altas temperaturas (T ambiente >70°C)	Ventilación y humedad insuficiente	La temperatura es demasiado alta y se inhibe el proceso de descomposición. Se mantiene actividad microbiana pero no la suficiente para activar a los microorganismos mesofílicos y facilitar la terminación del proceso.	<i>Volteo y verificación de la humedad (55-60%). Adición de material con alto contenido en carbono de lenta degradación (madera, o pasto seco) para que ralentice el proceso.</i>

Fuente: Roman et al. (2013)

Acidez o pH

Hay dos modalidades de medida, una directamente en la pila y otra en un extracto de compost.

- **Medida de pH en la pila:** si el compost está húmedo, pero no encharcado, se puede insertar una tira indicadora de pH en el compost. Se debe dejar reposar durante unos minutos para absorber el agua, y se lee el pH mediante la comparación de color (Roman et al. 2013). También se puede utilizar un medidor de pH electrónico.
- **Medida de pH en solución acuosa:** se toman varias muestras de compost y se colocan en recipientes con agua (volumen/volumen 1:5). Se agita y se toma la lectura, preferiblemente con pHmetro, si no se tiene pHmetro, entonces con tira indicadora (Roman et al. 2013).

Comprobación de que ha entrado en Maduración

Hay varios parámetros que pueden indicar que el compost ha entrado en fase de maduración, como por ejemplo, se sabe que si el compost aun húmedo no aumenta de temperatura a pesar de que se airee, es porque ya está en fase de maduración. Sin embargo, existen otras pruebas que se pueden realizar para comprobar esta fase.

Se pueden tomar varias muestras (3 como mínimo) representativas de la pila para analizar el aspecto y olor del material compostado. El compost debe estar oscuro, con olor a suelo húmedo, y cuando se realiza la prueba del puño, no debe mostrar exceso de humedad. Se puede, además, dividir la pila en 4 partes iguales y tomar 3 muestras de 100 gramos de cada cuarto, e introducir las en bolsas plásticas para dejarlas durante dos días en un lugar fresco y seco. Si al cabo de dicho tiempo la bolsa aparece hinchada (llena de aire) y con condensación de humedad, puede ser indicativo de que el material aún no está completamente maduro.

Otra técnica es la de introducir un instrumento metálico de 50 cm hacia el centro de la pila, y si al cabo de 10 minutos se retira el instrumento, y este quema al tacto, quiere decir que el material aún está en proceso de descomposición. En estos se debe dejar la pila para que continúe su proceso de compostaje (Roman et al. 2013).

Una característica del compost maduro es su falta de fitotoxicidad, la cual se puede medir al tratar de germinar berro (o *lepidium sativum*), el cual demora menos de 10 días en germinar. Si el material aun presenta fitotoxicidad residual, el berro demorará más en germinar (de Bertoldi et al. 1983).

Cernido o tamizado

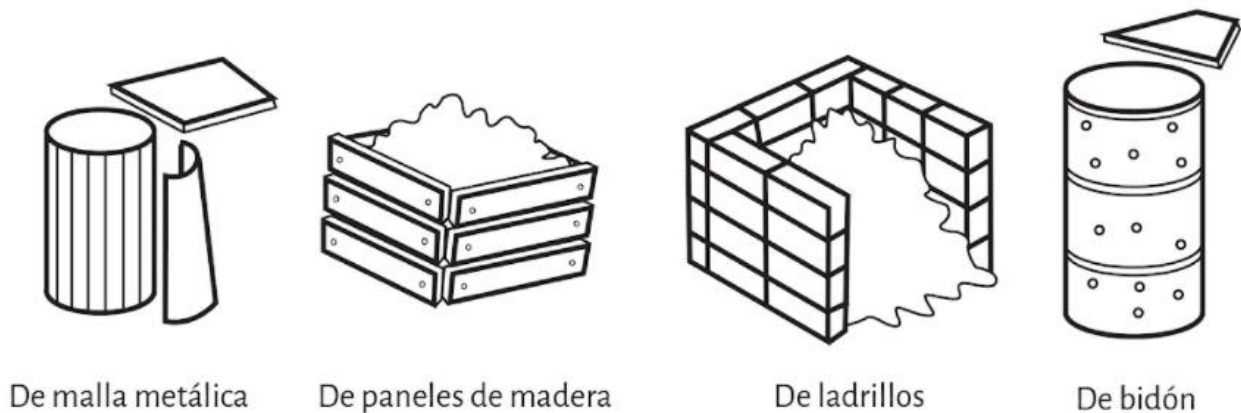
Una vez que se está seguro de que el compost está madurado, se realiza un tamizado del material con el fin de eliminar los elementos gruesos y otros cuerpos contaminantes. El tamaño de tamiz es comúnmente de 1.6 cm.

El material que no pase por el tamiz puede volver a utilizarse para otras pilas de compostaje.

Sistemas cerrados o en Recipiente

Usualmente utilizado a nivel familiar, esta técnica de recipiente tiene una serie de características que favorecen su replicación: evita la acumulación de lluvia, protege al material de vientos fuertes, facilita las labores de volteo, facilita la extracción de lixiviado, controla la invasión de vectores (ratones, aves e insectos), y evita el acceso al material en descomposición por personal no autorizado y animales. La desventaja de este método es que puede alcanzar altas temperaturas, por lo que el control de los parámetros cobra especial relevancia. En climas cálidos, se suele adicionar hasta un 10% de tierra que hace de regulador de la temperatura, ya que la tierra es estable y no genera calor (Roman et al. 2013).

Ilustración 20: Tipos de recipientes usados como compostera



Fuente: elaboración propia con referencias de Roman et al. (2013)

En América Latina es común el uso de los bidones plásticos de 220 litros, que con algunas modificaciones puede ser utilizado como recipiente de compostaje. El tiempo de proceso de compostaje es menor que en una pila, y dependiendo de la temperatura ambiente y material inicial, el producto puede llegar a la fase de maduración en 6 a 10 semanas (Roman et al. 2013).

Antes de comenzar el proceso, se debe elegir un recipiente adecuado. Esta elección se basará en el tipo de bidones que haya disponible localmente, la cantidad de material del que se disponga para compostar, el área donde se colocará el recipiente, y el tipo de proceso, el cual puede ser estático o dinámico, y se explica a continuación.

Si bien existen numerosos materiales disponibles para usar como recipiente de compost, hay dos modalidades básicas de disposición que condicionarán el proceso: vertical (o continuo/estático) y horizontal (o discontinuo/dinámico).

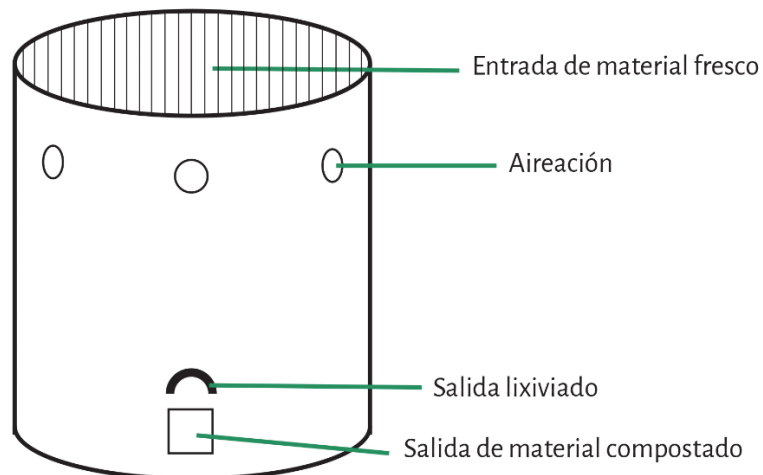
Recipiente de disposición vertical o de Proceso continuo

La disposición vertical es aquella en la que el recipiente descansa sobre su base. El material fresco se añade por la parte superior y el material compostado se extrae usualmente por la parte inferior. Se le llama continuo porque el material fresco entra de forma continua y el producto compostado sale también de forma continua por la parte inferior.

Las ventajas de este sistema son que es fácil de manipular, necesita poca inversión, es adecuado para áreas pequeñas (el diámetro de la base de un bidón de 220 litros suele ser de 60 cm) y se tiene un mejor control de los lixiviados (suele tener un pequeño grifo para extraer el lixiviado).

Dentro de las desventajas de este método, se puede decir que se necesita un área destinada al volteo. Se puede mezclar material dentro del recipiente usando una barra, pero el resultado es heterogéneo y hay riesgos de crear bolsas anaeróbicas. El material tiende a compactarse y por tanto la distribución de la humedad no es uniforme, secándose más rápidamente la parte superior.

Ilustración 21: Compostera vertical o continua



*La salida de lixiviado es normalmente una llave o grifo que se puede abrir cada semana de manera manual para extraer los líquidos sobrantes.

Fuente: elaboración propia con datos de Roman et al. (2013)

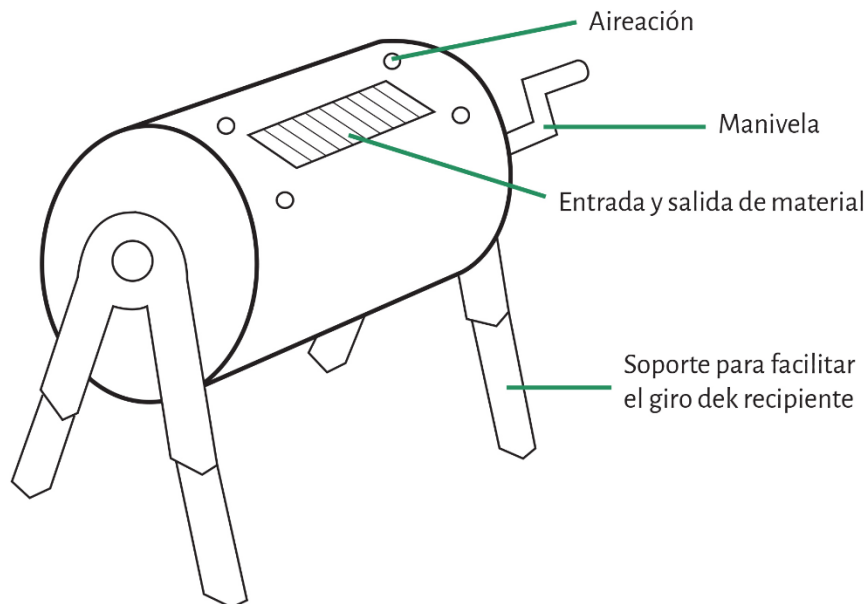
Recipiente de disposición horizontal o Proceso continuo

La disposición horizontal es aquella en la que el recipiente descansa sobre su eje longitudinal (en un bidón de 220 litros, la longitud es de 90 cm). Se le llama discontinuo porque es un proceso donde se debe esperar a que todo el material de una tanda finalice su proceso de compostaje antes de añadir la siguiente tanda (Roman et al. 2013).

Como ventaja, este sistema tiene una mayor distribución de la humedad y de la compactación debido a su facilidad para el volteo, obteniéndose un producto homogéneo.

Entre las desventajas de este sistema, se puede decir que este requiere de mayor inversión en el recipiente que el sistema vertical, se necesitan al menos dos recipientes para la continuidad del proceso y el lixiviado puede salir por los orificios de aireación durante el volteo, para lo cual se puede colocar un recipiente debajo.

Ilustración 22: Compostera horizontal o discontinua



Fuente: Roman et al. (2013)

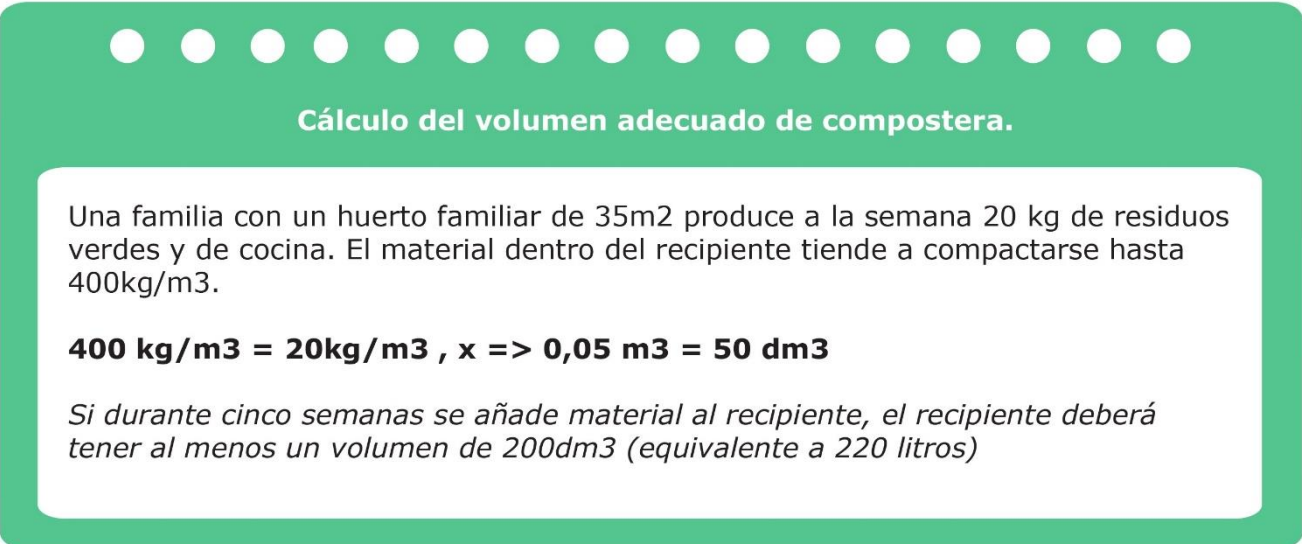
Tareas a realizar en sistemas de recipiente

Elección del lugar y tipo de compostera

En función del espacio disponible, cantidad de material a añadir y tiempo de labor que pueda dedicarse al proceso de compostaje, se elige una compostera vertical u horizontal.

Para conocer la necesidad de espacio se puede recurrir al siguiente ejemplo:

Ilustración 23: Cálculo del volumen adecuado de compostera



Cálculo del volumen adecuado de compostera.

Una familia con un huerto familiar de 35m² produce a la semana 20 kg de residuos verdes y de cocina. El material dentro del recipiente tiende a compactarse hasta 400kg/m³.

400 kg/m³ = 20kg/m³ , x => 0,05 m³ = 50 dm³

Si durante cinco semanas se añade material al recipiente, el recipiente deberá tener al menos un volumen de 200dm³ (equivalente a 220 litros)

Fuente: Roman et al. (2013)

Picado de material y llenado del recipiente

Es importante que el material tenga un tamaño entre 5 y 20 cm para un proceso de descomposición óptimo.

El material debe conseguir una tasa C/N de 25:1 a 35:1 para un adecuado comienzo del proceso. El recipiente puede ser llenado durante dos o tres semanas, después de este tiempo el recipiente se deja en reposo compostando hasta que el proceso de compostaje haya finalizado y se extraiga el compost final.

Control de aireación y humedad, volteo, extracción de material y cernido

Se aplican las mismas técnicas y conceptos que en el compostaje en pilas.

ELECCIÓN CUALITATIVA DE LA TECNOLOGÍA PARA EL PROYECTO

En promedio, las ferias libres de la comuna de Pudahuel generan más de 500 toneladas de desperdicios mensualmente (Iglesias, 2021), por lo que la escala de la operación termina condicionando la tecnología a utilizar para el procesamiento de la materia orgánica.

De este modo, las opciones disponibles se reducen virtualmente a la mitad, ya que los métodos de compostaje en sistemas cerrados son diseñados para contener un nivel de producción familiar de materia orgánica. Así, las opciones viables se reducen a aquellas desarrolladas en sistemas abiertos: Pila con sistema de Volteo Mecanizado, Pila Estática (PE) con Aireación Pasiva, y Pila Estática con Aireación Forzada.

Además de los aspectos técnicos de cada metodología que pudieran ser relevantes para la elección de la tecnología, es relevante analizar aquellas características que podrían entrar en conflicto con el propósito global del Proyecto Académico Parque Laguna Carén, ya que la actividad de la planta de compostaje podría causar efectos secundarios o externalidades que perjudiquen el normal funcionamiento del Proyecto Académico, o que simplemente se encuentren en oposición de ciertos principios.

Así, la capacidad de regular o minimizar sus propias externalidades pasa a ser tan importante como la capacidad productiva en cada tecnología analizada.

De esta manera, se realiza una tabla comparativa de las características de cada tecnología, con el fin de concretar un análisis cualitativo en cuanto a la elección tecnológica del proyecto.

Tabla 10: Comparación cualitativa entre métodos de compostaje

Criterio	P. con Sistema de Volteo	PE con Aireación Pasiva	PE con Aireación Forzada
Costo de inversión	Medio	Bajo	Bajo
Costo mano de obra	Alto	Bajo	Bajo
Superficie requerida	Media	Muy alta	Baja
Tiempo de demora del proceso	Medio	Muy alto	Bajo
Capacidad de adaptación a variaciones de producción	Buena adaptabilidad	Mala adaptabilidad	Buena adaptabilidad
Sensibilidad a la deshidratación del material	Muy sensible	Sensible	Sensible
Sensibilidad al clima	Sensible	Sensible	Poco sensible
Control de la aireación	Inexistente	Bajo	Alto
Control de temperatura	Medio	Bajo	Alto
Control de humedad	Medio	Bajo	Alto
Control de olores	Muy bajo	Bajo	Alto

Fuente: elaboración propia.

Así, se observa que la opción de PE con Aireación Forzada es la que ofrece, de forma comparativa, la mejor combinación de características productivas y control de las variables internas del proceso de compostaje.

Vale decir que el potencial de esta técnica queda determinado por las frecuencias y duraciones de las aireaciones forzadas, lo cual exige un alto conocimiento del proceso de compostaje.

De esta manera, se puede determinar cualitativamente que la opción más conveniente en cuanto a la tecnología utilizada en la planta de compostaje, es la de las Pila Estática con Aireación Forzada.

REINSERCIÓN SOCIAL Y LABORAL

Al realizar una búsqueda en la literatura teórica del tema, rápidamente se puede dar cuenta de que el término "reinserción social" no ha sido especificado ni delimitado de otros términos similares, hasta el día de hoy. Reflejo de esto, es que se utilice el término "reinserción" como sinónimo de "rehabilitación", de "resocialización" o de "reintegración" (Morales et al. 2013).

Para la Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos, el objetivo de las medidas privativas de libertad es proteger a la sociedad no del criminal, sino del crimen; durante el período de tiempo en que la persona infractora se encuentre recluida, a la vez que esta debe ser objeto de herramientas que permitan que no vuelva a delinquir tras el egreso de su pena. Sin embargo, esta descripción asume que el sujeto ya habría estado inserto en la sociedad en algún momento previo a su actuar delictivo. Esto asume la existencia de un proyecto social único y consensuado desde el cual el sujeto ha divergido (Morales et. Al, 2013).

Reinsertar socialmente a alguien asume que el sujeto ya estuvo inserto en la sociedad (Morales et al. 2013), obviando todos aquellos casos en que no fue así, para quienes más vale hablar de "inserción social" antes que de "reinserción social". Además, el concepto de reinserción social asume un carácter estático de la sociedad a la cual deben retornar, pasando por alto que las personas que delinquen, una vez que egresan del sistema penitenciario, se enfrentan a un entorno que puede ser cualitativamente distinto del que conocieron en libertad.

Se plantea una definición que busca contener los problemas planteados anteriormente, y es que él dice que la reinserción social resulta exitosa en la medida que se cumplen dos grandes criterios (Morales et al. 2013):

- Restaurar el rol participativo de una persona en la sociedad.
- Autonomía de la persona para tomar las decisiones que definan su vida.

Para alcanzar ambas metas, es importante que la persona cuente con herramientas y recursos que le permitan desenvolverse adecuadamente en el cuerpo social y mantener un nivel de vida deseable a través de mecanismos lícitos y el ejercicio de sus derechos sociales. Así, todas las intervenciones estructuradas y planificadas, insertas dentro del sistema judicial que contribuyan a cumplir estos objetivos, serán consideradas intervenciones para la reinserción social.

HISTORIA DE LA REINSERCIÓN SOCIAL

Para tener una mirada histórica del concepto mismo de reinserción social, vale la pena revisar los modelos de reacción ante el delito que se han desarrollado en el mundo, y la evolución que han tenido hasta la actualidad. Vale decir que, si bien la evolución de estos modelos implica un cambio en el concepto del delito, en la práctica distintas concepciones de delito pueden coexistir bajo un mismo sistema. Es decir, a pesar de la investigación vigente, no hay modelos que ya se hayan “superado” o dejado de lado.

Distintos autores afirman que la forma tradicional que se ha utilizado para la reacción del delito deriva de una perspectiva punitiva, es decir, centrada en infligir un castigo al infractor de la ley. A este paradigma se le denomina el modelo clásico o disuasorio (Morales et al. 2013).

Este modelo supone que los infractores escogen libremente el actuar delictivo a través de un proceso racional, donde miden las consecuencias positivas y negativas que podrían traerles las conductas delictuales. Así, este modelo se centra completamente en la acción punitiva contra el infractor, se aleja de cualquier proceso reparatorio a las víctimas, y relega a un segundo plano las características propias del infractor, su entorno, y otras aristas (Morales et al. 2013).

Bajo el modelo descrito por este modelo, se asume que el efecto psicológico de la pena es homogéneo en todos los infractores. Este hecho deja fuera de análisis otros factores que afectan al individuo como la severidad de la pena misma, y también ignora a otros actores que son relevantes en el fenómeno delictual, como lo son las víctimas o la sociedad. Esta forma de abordar la delincuencia carece de sustento empírico y es además simplista, pues no la considera como un fenómeno complejo en el cual toman parte muchos factores (Morales et al. 2013).

Así, las políticas públicas que se guían bajo este modelo no apuntan a intervenir el problema de fondo de la delincuencia, generando además dificultades para la medición de su impacto; sino que sólo actúan recrudeciendo las penas. Las investigaciones en esta área han tendido a arrojar resultados ambiguos o derechamente negativos, ya que, en algunos casos, hay investigadores que han encontrado que este modelo contribuye a la reincidencia del comportamiento delictual (Morales et al. 2013).

Como contraparte al modelo clásico, surge el modelo rehabilitador, también conocido como modelo de la resocialización o readaptación del infractor.

Este modelo representa un rotundo cambio con respecto al modelo anterior, ya que pone su énfasis en el efecto positivo que debiese tener la condena para el infractor, por lo que él mismo (el infractor) se vuelve el foco de las intervenciones. Así, busca generar una pena diseñada especialmente para el infractor, trabajando con él de forma colaborativa para la adquisición de patrones de conducta prosociales (Morales et al. 2013).

A diferencia del modelo punitivo, reconoce múltiples factores que influirían en la conducta delictual del infractor, los cuales buscan comprender de mejor manera dicha conducta. Los postulados claves de este modelo pueden resumirse de la siguiente manera (Morales et al. 2013):

- **Diversidad del delinciente:** reconoce que el infractor es cualitativamente diferente a un prototipo de hombre promedio. Este prototipo se basa en la idea de que la sociedad genera un tipo de pacto social que distingue lo convencional de lo desviado. Así, el estado nación expresa a la sociedad y se encuentra legitimado para reprimir la criminalidad.
- **Carácter patológico del crimen:** los delitos constituyen un daño para el cuerpo social, y son los infractores los que en primera instancia son autores de este daño. Sin embargo, reconoce al infractor como el producto patológico de una insuficiente socialización.
- **Paradigma etiológico:** se basa en la idea de que el pasado del individuo le condicionaría un futuro delictual, por lo que el tiempo presente cobra relevancia en relación a que es la proyección de eventos desencadenantes que la persona carga desde su pasado. La función científica de este postulado consiste en encontrar las causas del comportamiento criminal.
- **Culpabilidad del sujeto:** no se deja de ver al infractor como un ser racional que infringe una norma de manera consciente, pero sí considera que hay motivos de aspecto intrapersonal que lo impulsan al comportamiento delictual, más allá del análisis de costo-beneficio.
- **En torno a la prevención:** en cuanto a la sanción, busca que esta tenga un efecto abstracto de disuadir futuros delitos, a la vez que el aspecto concreto de la sanción logre resocializar al infractor.

“... el modelo rehabilitador tuvo algunas limitaciones en la práctica, siendo un modelo más equilibrado entre las nociones positivistas y las inspiradas en la escuela clásica. Sin embargo, sostiene que, a comienzos de los años 70, el discurso rehabilitador fue el dominante entre los encargados de las reformas penales, expertos correccionales y

funcionarios de gobierno. Es así como hasta la década de los 70' las intervenciones en infractores, presentaban un fuerte anclaje en las corrientes rehabilitadoras, que propugnaban una fe ciega en el tratamiento correccional y en la posibilidad de que a través de éste se pudiera reducir el delito." (Morales et. Al, 2013).

Así, los actores que promueven este modelo comienzan a estudiar y evaluar el impacto de diversas intervenciones penales, buscando entender "qué funciona" y por qué, ante lo cual comenzaron las dudas sobre la efectividad de las intervenciones de este tipo.

Un estudio concluyó que, salvo algunas excepciones, los esfuerzos en rehabilitación reportados, no habían tenido efecto alguno en la disminución de la reincidencia, lo cual fue interpretado como un "nada funciona" (*Nothing Works*) en la rehabilitación de los infractores, lo cual termina dando las bases para el desmoronamiento de este modelo a mediados de los años 70.

A partir de este punto, la filosofía correccional abandona el modelo de rehabilitación y vuelve a desechar cualquier motivación de cambio en los infractores, transitando a un modelo denominado del "control del crimen" (*crime control model*) que fue muy popular en las décadas de los 80 y 90. Este modelo se reduce a que simplemente el delito se reduce al encarcelar a los infractores, ya que estando en prisión se encuentran impedidos de cometer delitos en la comunidad (Morales et al. 2013).

Al final de la década de los 80' comienzan a emerger cuestionamientos cada vez más serios hacia la visión del Nothing Works. Estas dudas dieron base a que se comenzara a gestar una nueva ideología de la rehabilitación, la cual fue conocida como el "¿Qué funciona?" (*What Works?*), pero en el ámbito académico se le dio el nombre de movimiento de "nuevo rehabilitacionismo" (*new rehabilitationism*). Así, surge en Norteamérica un movimiento liderado por distintos autores, quienes fueron demostrando el impacto en la reincidencia delictual que generaron ciertos tipos de prácticas basadas en un enfoque cognitivo-conductual y en la teoría del aprendizaje social (Morales et al. 2013).

De esta manera, la literatura internacional comienza a desarrollar cada vez más las ideas del "¿Qué funciona?" respecto a la efectividad de las intervenciones, valiéndose principalmente con la técnica del meta-análisis para la generación de evidencia cuantitativa. Desde entonces se ha generado una línea de investigación que busca determinar cuáles son los elementos que caracterizan a los programas exitosos y podrían eventualmente aumentar las probabilidades de éxito de otros programas. Así, se generan líneas de diseño

de intervenciones, cuyas características han demostrado su efectividad de forma empírica.

“Se consideran programas todas aquellas intervenciones sistematizadas y estructuradas que se apliquen de manera práctica y que a su vez pueden emerger de modelos de intervención (que serán revisados más adelante) o constituir por sí mismos, tras la sistematización y el análisis de su ejecución, un modelo de intervención. La diferencia está en el nivel de abstracción teórica que posean. Así, el programa se relaciona con la variante práctica, mientras que el modelo de intervención presenta, dentro de un marco teórico que le sustenta, un esquema lógico de acción orientada a un cambio.” (Morales et. Al, 2013).

Utilizando la metodología del meta-análisis sobre distintos programas y modelos de reinserción, diversos autores han podido establecer algunos principios de efectividad que, al ser asimilados dentro de programas de reinserción, podrían aumentar su posibilidad de éxito (Morales et al. 2013). Dichos principios se detallan a continuación:

- **Identificación de necesidades criminógenas:** se reconoce una heterogeneidad de tipos de infractores, por lo cual existe la necesidad de establecer perfiles específicos de intervención, es decir, se deben tener claros los problemas característicos de cada perfil de infractor, así como también deben estar claras aquellas cualidades susceptibles de cambio (y en qué grado) y aquellas que son inalterables para el tipo específico de intervención.
- **Evaluación del nivel de riesgo:** es imperativo evaluar el nivel de riesgo de reincidencia, y necesidades de cada infractor, para así concentrar las intervenciones consideradas de “mayor intensidad” sobre aquellas personas de mayor riesgo. De la misma manera, las personas con un menor nivel de riesgo de reincidencia recibirían un servicio de intensidad acorde a su nivel de riesgo.
- **Adecuación del programa:** teniendo en consideración que los programas buscan arraigar conductas o aprendizajes, es necesario que la implementación de estos sea ejecutada por personas capacitadas para ello. Esto no solo implica evaluar el riesgo de cada infractor, sino también adecuar la intervención al estilo de aprendizaje del usuario, de manera de potenciar los aprendizajes adquiridos. El programa debe diseñar acciones y objetivos específicos, dentro del marco teórico del modelo o programa general.

- **Base teórica del programa:** en el meta-análisis desarrollado, se encontró que los tratamientos que habían logrado mejores índices de eficacia tendían a estar basados en las investigaciones empíricas y teorías mejor desarrolladas. Los resultados de este análisis vuelven necesario el utilizar métodos de intervención que hayan sido basados en teorías desarrolladas del tema y evidencia empírica sustentada en teorías de explicación del delito con respaldo (Morales et al. 2013).
- **Dosificación del programa:** en general, entre los programas exitosos, los ejecutores de estos mantuvieron un contacto de calidad, y por un tiempo suficiente que les permitió crear un vínculo con el usuario, potenciando el impacto del programa. Se recomienda que la intervención tenga una duración total de entre 3 y 9 meses, y que esta ocupe junto a todos los servicios provistos, entre un 40% y un 70% del tiempo del usuario.
- **Integridad del programa:** aquellos programas que demostraron ser más eficaces tendían a contar con un manual claro, profesionales capacitados y supervisión. Se plantea que la implementación de un programa es casi tan importante como el modelo a implementar, ya que se encontró que, en general, los programas exitosos no se desvían significativamente de su diseño inicial o su teoría base. Algunas maneras de asegurar la integridad en la ejecución del programa son que este sea implementado por sus mismos diseñadores, o asegurando que quienes lo ejecutan se encuentren plenamente capacitados para realizar cada una de las actividades planteadas.
- **Modalidad del programa:** se encontró que, en general, los programas más efectivos incluirían intervenciones basadas en la teoría cognitivo-conductual de la psicología, y que estas estarían orientadas al fortalecimiento de destrezas en un enfoque multi-modal.

Aunque se haya observado que los programas que acogen estas indicaciones tienden a generar mejores resultados para sus usuarios, como la disminución en la tasa de reincidencia, estos principios no aseguran inequívocamente el éxito de la intervención. A pesar de seguir todos los lineamientos planteados, se encontraron casos donde las intervenciones no fueron eficientes, o incluso aumentaron la tasa de reincidencia delictual en sus usuarios (Morales et al. 2013).

CONTEXTOS DE REINSERCIÓN

Las intervenciones de reinserción pueden darse en distintos medios, ante lo cual se describen dos contextos: la reinserción social en centros de reclusión, y la reinserción social en el medio libre. Esta última presenta algunas variantes, ya que los infractores pueden ser intervenidos en el medio libre tanto durante se ejecuta su pena privativa de libertad, como una vez egresados de ella (Morales et al. 2013).

Reinserción social en el Medio Privado de Libertad

Al hablar de reinserción social, se busca que el infractor retorne a su posición colaborativa con la sociedad, por lo cual se busca que este cese en sus conductas delictuales para dar paso a la adopción de conductas que lo vuelvan a insertar en el cuerpo social. Dicho cuerpo social al que se deben adaptar y sumar, es aquel al que se enfrentan una vez que han egresado del sistema penitenciario, por lo cual podría resultar contradictorio que las intervenciones en reinserción social tiendan a concentrarse en los regímenes privados de libertad (Morales et al. 2013).

Que el sujeto se mantenga recluido genera algunas dificultades para su reinserción social, como las siguientes:

- **Desintegración de los vínculos sociales del sujeto:** al pasar su tiempo excluido del cuerpo social, el individuo puede perder el capital social que poseía en libertad, lo cual dificulta la generación y mantención de vínculos sociales en el medio libre, y limita sus oportunidades de desarrollo en aspectos importantes como el área laboral, interpersonal, familiar, etcétera. Esto se ve acentuado por el etiquetamiento negativo por parte de la sociedad hacia el sujeto, que, además, al estar expuesto a un contexto que ya de por sí es criminógeno, dificulta su egreso del centro (Morales et al. 2013).
- **Limitaciones al área de acción de la intervención:** algunas de las prioridades de los centros de reclusión son evitar los conflictos intramuro y las fugas de los reclusos, ante lo cual toman medidas que podrían, en muchas ocasiones, contraponerse con los objetivos de las intervenciones. Una consecuencia concreta es la adopción de una actitud pasiva de los reclusos, que se vuelven parcial o completamente dependientes de los servicios que entrega el centro de reclusión, lo cual puede desalentar a los reclusos a tomar las decisiones que se verían obligados a tomar en el medio libre.

- **Limitaciones por razones administrativas:** el crecimiento continuo de la población penitenciaria, y las dificultades propias que esto genera para la administración de los centros de reclusión, genera dificultades de coordinación y administración de los recursos entre el medio privado de libertad, y los ejecutores de las intervenciones.

Sin embargo, existe evidencia de que algunos programas de intervención dentro del medio privado de libertad, sí tienen relación con la disminución de la reincidencia de infractores. Esto se lograría cuando los programas apuntan a modificar factores de riesgo vinculados a la conducta antisocial como el abuso de drogas o la resolución agresiva de conflictos, sobre todo sobre la población con perfiles de mayor riesgo (Morales et al. 2013).

Sin perjuicio de lo anterior, la evidencia que señala que las intervenciones en el contexto privado de libertad tienen alguna efectividad no demuestra que estas sean más efectivas que aquellas que se desarrollan en el medio libre. Es más, se afirma que las intervenciones en el medio libre generan mejores resultados debido a la proximidad con el ambiente del hogar, lo cual facilita el aprendizaje de la vida real (Morales et al. 2013).

Reinserción social en el Medio Libre

Las definiciones que abarcan las medidas alternativas al encarcelamiento, incluyen cualquier forma de supervisión que no suponga la encarcelación de los infractores, que enfrentan una condena o que ya hayan sido condenados (Morales et al. 2013). Dentro de estas disposiciones, se encuentran la libertad condicional, arrestos domiciliarios, vigilancia electrónica, los programas de liberación para el trabajo, los días-multa, casas de media estadía, la reclusión parcial, los servicios en beneficio de la comunidad, el reporte periódico, los centros correccionales comunitarios, entre otros.

De acuerdo a la evidencia acumulada sobre las intervenciones que podrían tener efecto sobre la reincidencia de los infractores, se ha encontrado que la supervisión comunitaria intensiva combinada con la prestación de servicios de reinserción o rehabilitación puede disminuir la reincidencia entre un 10% y un 20%, mientras que algunas medidas como los campos de entrenamiento, el arresto domiciliario y la libertad condicional, cuando son ejecutadas sin prácticas basadas en la evidencia, no tienen ningún efecto sobre la reincidencia de los infractores (Morales et al. 2013).

Se destaca la importancia de la comunidad y el apoyo familiar como fuente de control social para los sujetos, de manera que los programas que han demostrado ser más eficaces involucran a la familia y a los miembros de la comunidad de forma proactiva, a la vez que las agencias correccionales que

tienen mayor tasa de éxito son aquellas que colaboran con organizaciones comunitarias sin fines de lucro y trabajan para lograr una integración del infractor, tanto en su familia como en el cuerpo social (Morales et al. 2013).

En términos generales los programas buscan preparar a los reclusos para su retorno a las comunidades específicas a las que reingresarán, realizando los preparativos necesarios y gestando contactos con instituciones o personas de la comunidad que puedan servir como factores protectores, además de asistir en la entrega de servicios y supervisión (Morales et al. 2013).

Uno de los factores más relevantes para aumentar la posibilidad de éxito de un programa de reinserción social es el vínculo post-penitenciario entre los usuarios y los ejecutores del programa. Este seguimiento se traduce en la supervisión del sujeto, su consejería, o programas de colocación de empleo.

Sin embargo, la supervisión intensa ha mostrado no ser efectiva por sí sola, y que esta debe ser parte de un programa mayor que combine otro tipo de intervenciones con estas medidas, ya que también se ha encontrado que la entrega de servicios sin supervisión no tiene un efecto significativo (Morales et al. 2013).

Así, las intervenciones de supervisión post-egreso deben formar parte de programas más amplios para la disminución de la reincidencia, ya que por sí solas tienden a no tener un impacto sobre la reincidencia del infractor. Dentro de las intervenciones para la reducción de la reincidencia, destacan aquellas de tipo cognitivo-conductual, las cuales han registrado una reducción de un 17,9% en conductas delictuales post-egreso (Morales et al. 2013).

MODELOS DE REINSERCIÓN SOCIAL

En base a las investigaciones y evidencias, se pueden recopilar algunos modelos que tiene como objetivo guiar las intervenciones para la reinserción social. Es importante decir que los modelos no son excluyentes entre sí, ya que o pueden ser aplicados en conjunto, o pueden ser categorizados bajo otro modelo.

Modelo de Riesgo-Necesidad-Capacidad

Sustentados por la teoría general de la personalidad y la teoría del aprendizaje cognitivo social de la conducta delictiva, los autores Andrews, Bonta, y Hoge, describen este modelo en la década de los 90, el cual consta de tres grandes principios. Vale decir que este es uno de los modelos más utilizados, y con mayor influencia en las etapas de tratamiento penitenciario y su evaluación (Morales et al. 2013).

Principio de Riesgo

El Principio de Riesgo contempla que la conducta delictiva puede ser predicha por factores que determinarán el riesgo de reincidencia del infractor, a la vez que plantea que el nivel de intervención del sujeto debe adecuarse al nivel de riesgo que se le asigna. Es decir, a los sujetos con mayor riesgo de reincidencia se les debe asignar las intervenciones de mayor intensidad, mientras que a aquellos con poco riesgo se les debe intervenir mínimamente. Así, este principio da gran importancia a la evaluación inicial de los sujetos, pues su nivel de riesgo determinará la intervención que experimentarán en el programa.

Principio de Necesidad

El Principio de Necesidades plantea que los infractores pueden tener una gran gama de necesidades y problemáticas que pueden ser atendidas, pero que la intervención se debe dirigir a aquellas necesidades que originan conductas delictuales (Morales et al. 2013).

Las necesidades criminógenas del infractor se pueden dividir entre necesidades estáticas, que son aquellas difíciles de intervenir y son situaciones fijas (edad de inicio delictual, historial de conductas antisociales, origen económico, etc), y las necesidades dinámicas, que son aquellas más susceptibles de intervenir, tales como estilos de pensamiento y creencias delictuales, patrones de personalidad antisocial, abuso de sustancias, mantención de relaciones sociales significativas con otros infractores, entre otras.

Algunos autores identifican 8 factores de riesgo que estarían presente en la explicación de la conducta antisocial del sujeto, y que suelen estar presentes en infractores de todo tipo:

- Historial de conducta antisocial
- Patrón antisocial de personalidad
- Pensamiento o actitud antisocial
- Asociación con pares antisociales
- Circunstancias familiares o maritales
- Trabajo o escuela
- Tiempo libre o de recreación
- Abuso de sustancias

Principio de Capacidad

El Principio de Capacidad de responder plantea que el modo de ejecutar la intervención debe ser consistente con las capacidades, motivaciones, y estilo de aprendizaje del infractor. El tratamiento debe considerar los factores biopsicosociales que podrían favorecer u obstaculizar la adopción de nuevas conductas prosociales por parte del infractor. Los autores que proponen este modelo plantean que existe una gran influencia de las estrategias cognitivo-conductuales y las técnicas del aprendizaje cognitivo social para la modificación, o instalación, de conductas.

Modelo de Vidas Positivas (*Good Lives Model*)

El modelo de vidas positivas surge desde la crítica al concepto de necesidades criminógenas, ya que este ignora algunas necesidades básicas como la amistad, el trabajo agradable y los vínculos amorosos. Este modelo se basa en el paradigma del "desistimiento", que es aquel que se centra en el término de un período de involucramiento en la conducta criminal.

Este modelo supone un cambio de paradigma, ya que deja de centrarse en explicar por qué las personas cometen delitos, y comienza a ocuparse en explicar por qué las personas desisten de cometerlos. Así, este modelo busca desarrollar las fortalezas del individuo que contribuyen a un proceso natural de la persona denominado "desistimiento". Este modelo interpreta las necesidades criminógenas del modelo RNR como barreras que impiden que el infractor pueda lograr sus objetivos (Morales et al. 2013).

Existe un fenómeno en la criminología llamado la "paradoja de Sampson", que muestra que, aunque la mayoría de los infractores comienzan su comportamiento delictual en la adolescencia, la mayoría de los infractores juveniles no llegan a ser delincuentes adultos, y esto se podría deber a que hay una serie de factores, tales como eventos en la vida del infractor, que contribuirían a que la persona desista de su comportamiento delictual (Morales et al. 2013).

En la investigación en torno a este modelo, se contemplan dos niveles de desistimiento:

- **Desistimiento primario:** períodos breves de tiempo en que el sujeto no comete actividades delictuales.
- **Desistimiento secundario:** pasa a conformar una transformación en la identidad de la persona, pasando a adquirir un rol prosocial dentro de la sociedad.

La identidad prosocial y el cambio de rutina se construiría a partir de la interrelación entre cambios vitales para la persona y la generación de vínculos sociales, que toman distintas relevancias de acuerdo a la edad del infractor. Así, mientras para los adultos son los vínculos con sus colegas y pareja los que tienen un mayor efecto en el desistimiento, para los jóvenes serían las relaciones con su familia y escuela (Morales et al. 2013).

De esta forma, el modelo trabaja sobre la concepción de que todas las personas poseen un plan de vida que aspiran a cumplir, de forma consciente o inconsciente. Se plantea que cuando un sujeto no logra alcanzar los objetivos primarios de su plan de vida de manera prosocial, recurre a otras herramientas para satisfacer dicha necesidad o deseo, y esta puede ser una forma antisocial (Morales et al. 2013).

Si bien este modelo no se centra en las necesidades criminógenas del infractor, esto no quiere decir que no sean atendidas, es decir, no son paradigmas excluyentes entre sí. El objetivo central de este modelo es desarrollar las herramientas de los sujetos que les ayuden a diseñar e implementar su plan de vida, el cual les brindaría una vida más significativa, auto-realizadora y prosocial (Morales et al. 2013).

Como cada plan de vida es potencialmente distinto en cada uno de los infractores, es necesario determinar el conjunto de objetivos primarios y secundarios que estos desean alcanzar, para así brindarle el conjunto de herramientas acorde a dichas necesidades.

Una investigación recopila una lista de los principales objetivos primarios para las personas (Morales et al. 2013):

- Salud física y mental (estar libre de angustia y estrés emocional), incluyendo satisfacción sexual
- Conocimiento
- Éxito laboral y en actividades sociales
- Autonomía y autodeterminación con resultado exitoso
- Relaciones interpersonales, tanto con la comunidad en general como con la familiar, el círculo íntimo y el romance
- Espiritualidad
- Felicidad
- Creatividad

Este modelo no busca plantear que el éxito en uno o varios de estos objetivos primarios garantice el vivir una "buena vida", pero logra un reconocimiento a esferas de la vida que no habían sido abordados por otros modelos. Sin embargo, aún no se cuenta con evidencia que permita afirmar su impacto en la reincidencia de los infractores.

Modelo ocupacional

El modelo ocupacional se avoca a ofrecer actividades a los infractores de la ley con tal de disminuir su tiempo de ocio. La mayoría de las personas, en el medio libre, realizan una serie de tareas que contribuye en su bienestar físico y mental, lo cual es muy distinto para la población penitenciaria pues al ingresar al sistema de reclusión, se enfrentan a un vacío de quehaceres.

A esta situación se le denomina "Deprivación ocupacional", y constituye un factor criminógeno de por sí, ya que se ve asociado a motines, suicidios intramuros y el desarrollo de patologías psiquiátricas (Morales et al. 2013).

Este modelo plantea que los programas deben entregar actividades significativas a los sujetos, tal que estas propicien cambios ocupacionales tanto desde la reclusión como después de su egreso. Un factor importante es que las actividades deben ser voluntarias, ya que de lo contrario no serían vistas como una ocupación sino como un castigo (Morales et al. 2013).

Modelo Cognitivo-Conductual

Cuando se habla de reinserción social, el modelo cognitivo-conductual no es un modelo unificado, sino que es una clasificación para todos los modelos y programas que se basen en la corriente de intervención psicoterapéutica cognitivo-conductual, la cual se basa en tres grandes teorías de la psicología:

- **Conductismo:** esta teoría se centra en el efecto que tiene el ambiente del sujeto sobre sus conductas y conformación de identidad. Por ejemplo, plantea que la aceptación de pares antisociales y la falta de castigo hacia el comportamiento delictual (elementos del ambiente) contribuyen a la adquisición de conductas criminales.

- **Cognitivismo:** esta teoría centra su investigación en el procesamiento de la información que realiza el individuo a partir de lo que percibe. Algunos de estos procesos son la memoria, la planificación futura, o la resolución de problemas. Esta teoría vincula, por ejemplo, los problemas para el autocontrol de impulsos, con errores en la cognición del infractor.
- **Teoría del aprendizaje social:** si bien se basa en el conductismo, esta teoría busca precisar que el aprendizaje también puede darse a través de la observación de las consecuencias que reciben otras personas por sus actos, lo cual estaría mediado por la cognición. Así, la conducta criminal podría surgir cuando una persona percibe que una conducta antisocial trae un beneficio y no es castigada.

Se han encontrado evidencia de resultados prometedores en los enfoques que combinan técnicas basadas en estas tres teorías, especialmente en los jóvenes con un alto nivel de riesgo de reincidencia en la conducta delictual (Morales et al. 2013).

Debido al conocimiento teórico extenso que da origen al modelo cognitivo-conductual, las intervenciones psicoterapéuticas que se atañen a este modelo requieren ser implementadas por profesionales capacitados en la materia. Las principales variantes de estas intervenciones son (Morales et al. 2013).

- **Terapias de reestructuración cognitiva:** con un enfoque cognitivo, estas terapias se centran en intervenir los procesos lógicos disfuncionales del infractor. Así, el comportamiento antisocial sería originado por distorsiones cognitivas que contribuyen a una respuesta inadecuada frente al medio social.
- **Terapias de enfoque de habilidades de afrontamiento:** estas terapias buscan desarrollar capacidades adaptativas frente a sucesos vitales. Algunas medidas son las de mejorar las técnicas de resolución de conflictos, fomentar el razonamiento crítico, o apoyar los procesos de planificación del sujeto.
- **Terapias de desarrollo moral:** estas terapias aducen a que el comportamiento antisocial tiene su origen en un bajo nivel del sentido moral del sujeto, por lo que se busca que el infractor logre reconocer ciertos valores morales que son universales, para así facilitar su integración al medio social.
- **Terapias de reconstrucción identitaria:** estas terapias son promisorias en jóvenes, ya que se encuentran en una etapa crucial en la conformación

de su identidad. Algunas medidas que se toman son la reconstrucción de la narrativa biográfica del sujeto y la resignificación de experiencias pasadas, todo lo cual busca elaborar una relación identitaria prosocial.

En la práctica, el modelo cognitivo-conductual busca lograr que el infractor se haga responsable de su accionar y desarrolle nuevas estrategias de afrontamiento y control de su comportamiento (Morales et. Al, 2013).

LA REINSECCIÓN LABORAL

En general, los programas de reinserción laboral promueven la obtención y mantención del empleo, el cual se desea que les permita desarrollar capacidades que faciliten la independencia económica de los infractores.

Aunque la reinserción social debe conformar la transformación integral del sujeto, existe evidencia de que esta puede ser potenciada con programas laborales. Algunos autores plantean que el hecho de mantener un trabajo con remuneraciones idealmente sobre el sueldo mínimo, durante al menos dos meses, podría disminuir significativamente la reincidencia delictual durante los primeros ocho a doce meses tras el egreso del sistema de reclusión. Otros autores encontrarían que incluso, aunque el infractor reincida, este se demoraría más en hacerlo que si no hubiese recibido la intervención laboral (Morales et al. 2013).

Algunas dificultades asociadas son que generalmente, al momento de su egreso, son pocos los infractores que poseen las habilidades necesarias (nivel educacional, capacitación y experiencia laboral) para optar a un empleo que les ofrezca los ingresos necesarios para cubrir sus necesidades; también se ha observado un patrón consistente en infractores que egresan luego de un extenso tiempo en reclusión: participación en actividades delictuales, escasa vinculación con instituciones sociales, abuso o dependencia de sustancias, dificultades de aprendizaje, trastornos psicopatológicos severos, entre otros. Estos efectos negativos se acentúan cuando se da cuenta de que conforman desventajas acumulativas, es decir, estas consecuencias de haber cumplido una condena extensa, actúan a su vez como factores de riesgo en la reincidencia de los individuos (Morales et al. 2013).

En cuanto a la empleabilidad de los infractores, las investigaciones en torno a la edad de los individuos tienden a arrojar dos resultados que ayudan a la caracterización de los programas:

- Los jóvenes tendrían menos dificultades para encontrar y mantener un trabajo con buena remuneración, sobre todo cuando este pertenece a un área donde el tener mayor edad es poco valorado.
- Los adultos presentan una mayor probabilidad de éxito al aceptar trabajos poco remunerados o mantener un trabajo promedio.

Programas de Reinserción laboral para adultos

Existen varios tipos de implementación de programas de reinserción laboral, y ellos responden a las distintas necesidades de distintas poblaciones de infractores. Algunos de aquellos que son asimilables fuera de los centros de reclusión son los siguientes:

- **Programas de liberación para el trabajo:** suelen asignarse a internos que se encuentren cerca del punto de egreso penitenciario, y se les permite salir de la reclusión exclusivamente para realizar trabajos que benefician a la comunidad. Esta actividad requiere que se verifique tanto la salida de los infractores, el cumplimiento de la labor asignada, y el retorno a la hora asignada hacia el centro de reclusión.
- **Programas laborales post egreso o durante el cumplimiento de una pena en libertad:** estos programas han demostrado ser efectivos en ubicar a los infractores en puestos de trabajo, pero no en mantenerlo.

Programas de Reinserción laboral para jóvenes

La actividad delictual durante la juventud tiene un impacto negativo tanto en el desarrollo educacional como laboral de las personas, pero especialmente sobre hombres y sobre personas que fueron condenadas por su comportamiento antisocial. Especialmente sobre los jóvenes que se encuentran reclusos en su etapa de transición hacia la adultez, se produce un déficit educacional que contribuye a un desempleo de largo plazo, lo cual es un factor de riesgo para la reincidencia (Morales et al. 2013).

CONTEXTO NACIONAL EN REINSERCIÓN SOCIAL Y LABORAL

Gendarmería de Chile es la institución que se encarga de administrar las cárceles y penales de la población adulta, depende del Ministerio de Justicia y su finalidad es atender, vigilar y contribuir a la reinserción social de aquellas personas que han sido detenidas o privadas de libertad.

La población penal comprende a todas las personas que se encuentran dentro de establecimientos penitenciarios, o en prisión preventiva, o bien cumpliendo una pena efectiva en calidad de condenados. Aquellos en calidad de condenados se dividen a su vez en dos subsistemas de reclusión:

- **Reclusión abierta:** a este subsistema corresponden aquellas personas condenadas a medidas alternativas a la reclusión, que cuenten con beneficios de reinserción o apremios, a fines de junio año 2021 son 46.518 personas las que se encuentran bajo este sistema, lo cual corresponde a un 40,47% de la población total (Gendarmería de Chile, 2021).
- **Reclusión cerrada:** todos los internos privados de libertad en calidad de detenidos, procesados, imputados o condenados, dentro de un establecimiento penal, se encuentran bajo este sistema. Al año 2021, mes de junio, son 45.713 las personas que se encuentran en este régimen, siendo un 40,65% de la población total (Gendarmería de Chile, 2021).

Fuera de los grupos anteriormente descritos, y siendo parte de la población atendida, Gendarmería de Chile creó el Departamento Postpenitenciario, el cual tiene por objetivo gestionar los planes y programas de asistencia a las personas que, habiendo cumplido sus condenas, requieran de apoyo para su reinserción social.

Ilustración 24: Organigrama Gendarmería de Chile



Fuente: elaboración propia con datos de <https://www.gendarmeria.gob.cl/organigrama.html>

Ilustración 25: Organigrama Subdirección de Reinserción Social



Fuente: elaboración propia con datos de https://www.gendarmeria.gob.cl/organigrama_sdt.html

Según el Informe Final de Evaluación de Programas Gubernamentales del año 2019 de Gendarmería de Chile, existen 10 programas que buscan la rehabilitación y reinserción social para infractores de la ley. Estos se desarrollan en los distintos subsistemas penitenciarios y se presentan a continuación:

Sistema cerrado

1. Programa de Reinserción Social para las Personas Privadas de Libertad (PPL), de 2008.
2. Programa de Reinserción Social en Convenio con el Ministerio del Interior (PRS), de 2007.
3. Programa Centros de Educación y Trabajo Cerrados (CET Cerrados), de 2015.
4. Programa Centros de Educación y Trabajo Semiabiertos (CET Semiabierto), de 1996.
5. Programa de Atención para Mujeres Embarazadas y con Hijos Lactantes (Creciendo Juntos), de 2015.
6. Programa de Intermediación para Jóvenes que Cumplen Codena en Secciones Juveniles (Secciones Juveniles), de 2007.

Sistema abierto

1. Programa de Intermediación Laboral en el Sistema Abierto (PILSA), del año 1994.
2. Programa de Intervención y/o Control de la Población Penada Sujeta a la Ley N°18.216, del año 2013.

Sistema Postpenitenciario

1. Programa de Apoyo Post-penitenciario (PAP), de 2013.
2. Programa de Reinserción Laboral (PRL), de 2012.

Si bien estos programas son ejecutados por 3 sistemas distintos, para efectos de su evaluación pueden mirarse agregadamente, ya que todos ellos están orientados a solucionar los mismos problemas y reconocen las mismas soluciones, pero con las distinciones que las naturalezas de los distintos regímenes plantean. Así, la forma de medición de todos los programas será la tasa de reincidencia de los infractores de la ley, la cual se busca ser minimizada.

“es dable subrayar que todos los subprogramas coinciden en declarar la **disminución de la reincidencia** como objetivo principal o propósito y, a la vez, en todos ellos el fin de la intervención es su contribución a la convivencia social y la seguridad ciudadana, ciertamente en sintonía con la misión institucional de Gendarmería de Chile, cual es: “Contribuir a una **sociedad más segura (...)** desarrollando **programas de reinserción social** que tiendan a disminuir las probabilidades de **reincidencia delictual**” (Gendarmería de Chile, 2019)

Es importante decir que a partir de diciembre del 2013 comienza a entrar en vigencia la modificación a la Ley N°18.216, con lo cual los programas que entrega Gendarmería de Chile comienzan a implementar el Modelo de Riesgo-Necesidad-Capacidad de Responder, para fundamentar teóricamente sus intervenciones. Operativamente, es cada subsistema el que gestiona los bienes y servicios de sus respectivos programas, por lo que vale la pena analizar la prestación de estas asistencias en cada uno de los sistemas.

Sistema Cerrado

La población reclusa bajo el régimen del sistema cerrado accede a prestaciones penitenciarias de apoyo asistencial y de intervención, con el fin de desarrollar habilidades que mejoren su reinserción y convivencia social. Los programas del sistema cerrado constan de dos componentes, que se detallan a continuación.

Componente 1. Intervención psicosocial criminológica

Los condenados privados de libertad pueden recibir voluntariamente una intervención psicosocial que disminuya su nivel de riesgo de reincidencia. Esta componente está presente en cuatro de los seis programas que funcionan bajo el sistema cerrado (PPL, PRS, CET semiabierto y Secciones Juveniles), e incluye actividades como la aplicación de evaluaciones psicosociales de reincidencia delictual. Los objetivos de esta componente se centran en evaluar el riesgo de reincidencia de las personas privadas de libertad, elaborar planes de intervención, gestionar dichas intervenciones y finalmente evaluarlas.

Componente 2. Prestaciones para la integración social

Esta componente se encuentra presente en los 6 programas que se gestionan bajo el sistema cerrado, sus prestaciones son variadas y específicas para cada programa. Entre las actividades más masivas de los programas del sistema cerrado se incluyen las prestaciones del tipo laboral y educacional, pero en total conforman 4 subcomponentes, cada uno de los cuales tiene acciones orientadas a objetivos específicos, sin embargo, todos buscan desarrollar conductas y actitudes prosociales en el área formativa de las personas privadas de libertad. Los subcomponentes referidos se especifican a continuación:

- **Subcomponente 1. Prestaciones laborales:** este subcomponente agrupa distintas formaciones para el trabajo, capacitaciones y trabajo penitenciario. Las formaciones para el trabajo buscan crear o preservar hábitos laborales y/o sociales en el trabajador, con tal de reforzar una identidad personal y prosocial que facilite su reinserción social. Las capacitaciones laborales contemplan actividades que buscan la adquisición y certificación de conocimientos de base y técnicas de especialización relacionados a un oficio en particular. Y el trabajo penitenciario busca generar instancias de aprendizaje práctico y el desarrollo de conductas laborales básicas.
- **Subcomponente 2. Prestaciones artísticas, deportivas y culturales:** este subcomponente se trabaja bajo la hipótesis de que las actividades de deporte y recreación, junto con la incorporación de roles y actividades prosociales, de forma estructurada, aportan a la reinserción social. Algunos ejemplos de estas actividades son muestras de pintura, exhibiciones fotográficas, obras teatrales, etc.
- **Subcomponente 3. Prestaciones educacionales:** las prestaciones de este subcomponente buscan facilitar el acceso a todos los internos que requieran nivelar y/o finalizar su proceso educativo formal.
- **Subcomponente 4. Prestaciones de intervención familiar:** este subcomponente se encuentra presente específicamente en el programa "Creciendo Juntos", por medio del cual se le entregan prestaciones a mujeres privadas de libertad embarazadas o con hijos lactantes. Las actividades realizadas son tanto intervenciones individuales o grupales, prestaciones básicas de salud para bebés, etc.

Vale decir que según Gendarmería de Chile (2019), el año 2018 el 79% de la población penal privada de libertad accede a prestaciones de trabajo penitenciario.

Sistema abierto

La población atendida bajo el subsistema abierto es toda aquella condenada a cumplir una condena en el medio libre, por alguna de las penas sustitutivas introducidas por la Ley N°20.603 en 2012, o por penas previas a la promulgación de dicha ley, las cuales se rigen por las medidas alternativas contenidas en la Ley N°18.216. Todas las medidas contempladas dentro de estas leyes tienen por finalidad el propiciar la reinserción social de los infractores de la ley.

Entonces, la población atendida comprende personas condenadas a medidas alternativas de reclusión de Libertad Vigilada de Adulto (LVA), Reclusión Nocturna (RN) y Remisión Condicional de la Pena (RCP), mientras que para las personas condenadas desde la entrada en vigencia de la ley N°20.603, las penas sustitutivas son las de Libertad Vigilada (LV), Libertad Vigilada Intensiva (LVI), Remisión Condicional (RC), Reclusión Parcial (RP) y Prestación de Servicios en Beneficio de la Comunidad (PSBC).

Los programas regidos bajo este subsistema tienen 3 componentes, los cuales se detallan a continuación.

Componente 1. Intervención psicosocial criminológica

Algunas de las actividades que se realizan bajo esta componente consisten en la recepción del penado en las dependencias en las cuales se llevan a cabo los programas, su evaluación de acuerdo al modelo de riesgo, y la elaboración de un plan individual para dicha persona, para luego gestionar el caso y derivarlo a otros programas de atención especializada.

Componente 2. Prestaciones para la integración social

Esta componente funciona en base a dos servicios: la Capacitación Laboral y la Intermediación Laboral. Para la capacitación, primero se realiza una evaluación diagnóstica, con lo cual se le incorpora a talleres disponibles y/o cursos de nivelación escolar, luego de lo cual pueden ser ubicados en programas y cursos de capacitación que incluyan el desarrollo de habilidades.

“blandas” para la resignificación prosocial del trabajo. Por otro lado, la intermediación laboral se puede realizar a través de dos vías, una busca la colocación de la persona en un puesto de trabajo determinado para luego realizar evaluaciones y seguimientos al respecto, mientras que la otra vía consiste en un conjunto de procesos, actividades y coordinaciones que buscan que la persona emprenda una actividad laboral por cuenta propia.

Componente 3. Control y seguimiento

Este componente implica el seguimiento y control al cumplimiento de la pena de la persona según corresponda. Este control incluye a la población comprendida en el subprograma de la Ley N°18.216 de Prestación de Servicios en Beneficio de la Comunidad (PSBC) y a aquellos con medidas alternativas de Remisión Condicional de la Pena (RCP), Reclusión Nocturna (RN), y penas sustitutivas de Remisión Condicional (RC) y Reclusión Parcial (RP).

Los responsables de proveer este componente son los funcionarios de Gendarmería, que deben controlar las condiciones en las cuales queda el sujeto e informar a los tribunales el incumplimiento grave y reiterado de la condena, entre otras situaciones.

Según Gendarmería de Chile (2019), del total de las personas intervenidas en 2018 en el sistema abierto, un 22% fue colocada en puestos laborales dependientes.

Sistema postpenitenciario

Este sistema busca dar intervención psicosocial criminológica y laboral a la población postpenitenciaria considerando su nivel de riesgo de reincidencia. El proceso de intervención contempla un máximo de 10 meses para la población ingresada, aunque los usuarios pueden seguir recibiendo apoyo por parte del subsistema postpenitenciario, considerando que el proceso de eliminación de antecedentes dura entre 2 y 5 años.

Los programas regidos bajo este subsistema cuentan con 3 componentes, los cuales buscan disminuir el riesgo de reincidencia y mejorar las condiciones de integración social de los usuarios. Estos componentes se detallan a continuación.

Componente 1. Intervención psicosocial criminológica

Primero, los usuarios son evaluados por profesionales de los Centros de Apoyo para la Integración social (CAIS) utilizando el instrumento Inventario para la Gestión de Caso/Intervención (IGI) de acuerdo al modelo RNR. Con la evaluación hecha, se construye un plan de intervención individual en los ámbitos de atención que se considerasen.

Componente 2. Prestaciones para la integración social

Estas prestaciones son de carácter informativo, formativo y de vinculación a distintas redes de apoyo social con tal de lograr la integración de los sujetos atendidos.

Esta componente entrega capacitaciones en algún oficio que facilite la integración laboral formal del sujeto, tanto de forma dependiente como independiente. También se contemplan acciones de colocación laboral como encuentros con organizaciones públicas y privadas que propicien el acceso a un puesto laboral.

Componente 3. Control y acompañamiento

Este componente realiza el Control y Gestión del Proceso de Eliminación de Antecedentes penales de las personas adscritas al Decreto Ley N°409. Se realizan todos los trámites administrativos con tal de eliminar los antecedentes penales del usuario.

Según Gendarmería de Chile (2019), del total de personas acogidas al Programa de Apoyo Postpenitenciario en 2018, un 72% fue colocada en puestos laborales dependientes.

ESTRATEGIA DE EMPLEO Y VINCULACIÓN CON EL PROYECTO DE PLANTA DE COMPOSTAJE

Si bien la vinculación de la planta de compostaje puede llevarse a cabo bajo la mayoría de los modelos de reinserción existentes, en lo práctico, GENCHI utiliza el modelo de Riesgo-Necesidad-Capacidad de responder, por lo que el marco teórico se acota a dicho paradigma.

La literatura existente en materia de reinserción social y laboral es clara en la identificación de factores que contribuyen al comportamiento antisocial y aquellos que contribuyen a la reinserción, siendo el factor económico uno de los pilares de estabilidad para la persona que busca su reinserción social. Es importante decir que la reinserción social se define como una transformación integral, por lo cual un puesto laboral no puede verse como un programa de reinserción en sí, sino como un apoyo para este. Así, la vinculación debe quedar supeditada al control de los programas de reinserción implementados por GENCHI, y la planta de compostaje sólo puede ser concebida como un recurso para la institución.

Dentro de la estructura penitenciaria, la vinculación laboral es atingente a al Programa de Intermediación Laboral del Sistema Abierto (PILSA), al Programa de Apoyo Post-Penitenciario (PAP), y al Programa de Reinserción Laboral (PRL) del Sistema Postpenitenciario. Vale decir que dentro de la literatura se encontró que, si bien la reinserción laboral es una ayuda tanto para jóvenes como para adultos, son estos últimos los que encuentran mayores dificultades para acceder a oportunidades laborales, por lo que se recomienda una mayor circulación de personas de un mayor rango etario.

La vinculación con la institución de Gendarmería de Chile debe ser llevada a cabo en primera instancia con la Subdirección de Reinserción Social, para luego ser dispuesta al Sistema Abierto y al Sistema Post-Penitenciario.

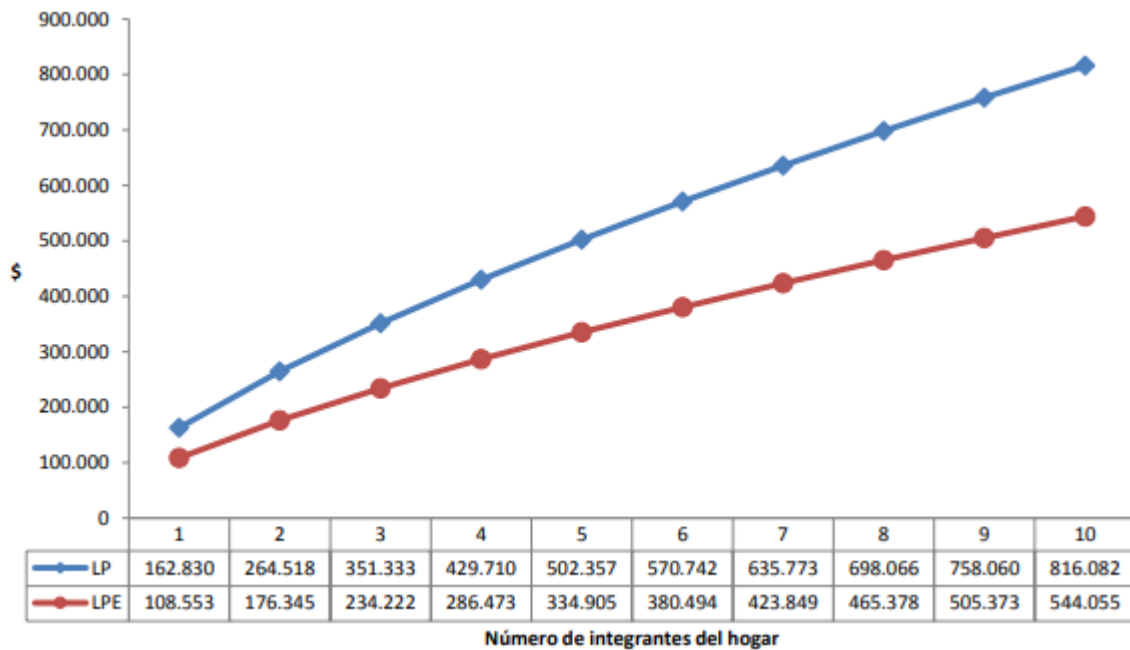
Nivel de sueldo para operarios del proyecto

Estudios muestran que percibir un sueldo por sobre el sueldo mínimo legal reduce significativamente las posibilidades de reinserción delictual (Morales et. Al, 2013), por lo que es fuertemente recomendable que el salario percibido no sólo esté por sobre el mínimo, sino que también debe permitir a la persona salir de la línea de la pobreza. Estos esfuerzos son especialmente relevantes sabiendo que parte de las dificultades que enfrenta una persona que egresa del sistema penitenciario tienen que ver con vacíos educacionales y de capacitación laboral, ante lo cual un salario sobre el mínimo legal colabora a que la persona pueda resarcir sus carencias.

Para dar cuantificación a este problema, se propone un nivel de sueldo que permita mantenerse o salir de la línea de la pobreza.

Sabiendo que un infractor de la ley podría comenzar a formar, o ya haber conformado un grupo familiar, se propone que el nivel de sueldo asignado a personas con necesidad de reinserción social alcance los \$430.000, monto que permite, a un grupo familiar de 4 personas, mantenerse sobre la línea de la pobreza (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2019).

Ilustración 26: Valor de la línea de pobreza (LP) y de la línea de pobreza extrema (LPE) por número de integrantes del hogar. Enero 2019



Fuente: Ministerio de Desarrollo Social y Familia (2019)

Para aumentar la cantidad de personas a las que esta vinculación pueda beneficiar, se propone una rotación del personal tal que, a los operarios provenientes del sistema penitenciario o postpenitenciario, se les garantice un puesto laboral en la planta por una cantidad de tiempo mayor a 2 meses, y menor a 12 meses.

DISEÑO Y EVALUACIÓN DEL PROYECTO

La planta de compostaje propuesta forma parte del Proyecto Académico Parque Laguna Carén, y busca encargarse del tratamiento de todos los residuos vegetales orgánicos producidos por las ferias libres de la comuna de Pudahuel, por lo cual dicho volumen es el que enmarcará el tamaño del proyecto y la cantidad de compost producido en primera instancia. Este factor, junto al diseño del espacio y proceso productivo, son la base para poder determinar los flujos financieros que serán objeto de la evaluación.

UNIDAD ESTRATÉGICA DE NEGOCIOS

En la presente investigación se incorpora el enfoque de Unidad Estratégica de Negocios (UEN), el cual busca agrupar los procesos y gestiones que no necesariamente tienen que ver con la misión principal del Proyecto Académico Parque Laguna Carén.

Una UEN se puede entender como una subdivisión dentro de una empresa que tiene funciones y operaciones muy diversas. Este concepto nace en 1973, y es implementado organizacionalmente por la firma *General Electric*, con el fin de facilitar su planificación estratégica, ya que esta se había tornado difícil de dilucidar debido al alto grado de complejidad y diversidad de productos.

De la misma manera, se busca delimitar una separación entre la Fundación Valle Lo Aguirre y la planta de compostaje que permita agrupar de forma específica los objetivos de la UEN. Los objetivos y gestiones de la UEN son distintos a los de la Fundación, pero deben estar alineados.

Así, se distingue las figuras del Concedente (Fundación Valle Lo Aguirre) y la del Concesionario (UEN).

Relación financiera entre Concedente y Concesionario

Al realizar esta separación de estructuras, se vuelve necesario detallar la forma en la cual se relacionan, en cuanto a sus derechos y sus deberes.

Se plantea que el Concedente financie y gestione la totalidad de la inversión inicial para la instalación de la planta de compostaje, incluyendo sus insumos y herramientas. Luego de entregar el funcionamiento de la planta a la UEN, el Concesionario percibe ingresos de dos tipos:

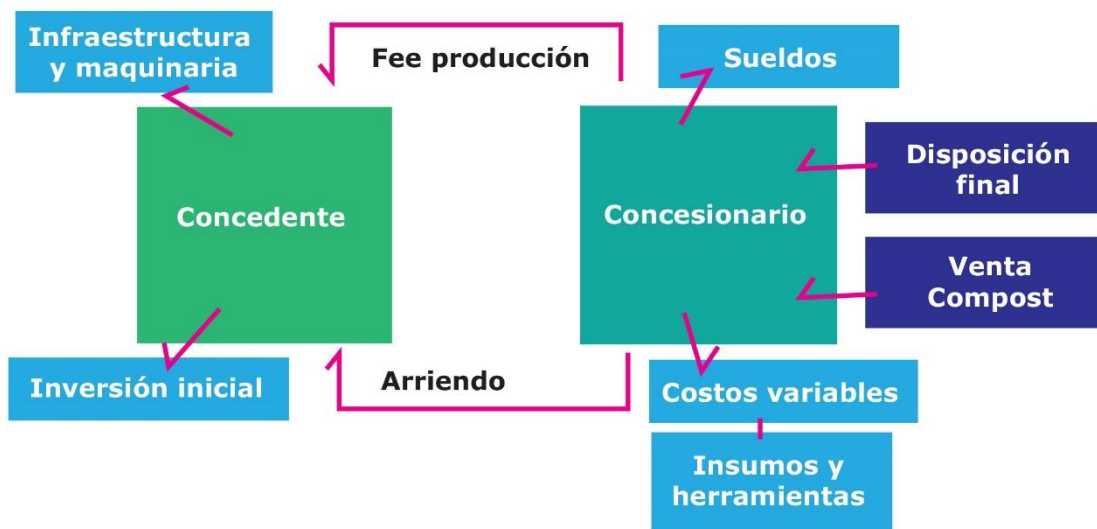
- 1. Arriendo por la superficie en la que se emplaza la planta de compostaje:** se plantea que, anualmente, la UEN debe pagar 0,12 UF por metro cuadrado utilizado para el funcionamiento de la planta de compostaje.
- 2. Fee de producción:** se plantea que el Concesionario debe tributar un porcentaje de sus ingresos por concepto de venta de compost.

En cuanto a los egresos del Concedente, se propone que, además de la inversión inicial, la Fundación conserve la responsabilidad de renovar y mantener sólo la infraestructura y maquinaria del proyecto, mientras que la renovación de insumos y herramientas es responsabilidad del Concesionario.

En cambio, la UEN percibiría los ingresos procedentes de la venta de compost y de la disposición final de residuos, mientras que se hace cargo de solventar todos los egresos operacionales de la planta de compostaje. Los egresos del Concedente corresponden a las siguientes categorías:

1. Sueldos de la fuerza laboral.
2. Renovación de insumos y herramientas.
3. Arriendo por la superficie en la que se emplaza la planta de compostaje.
4. Fee de producción.
5. Costos variables de la producción.

Ilustración 27: Relación financiera entre Concedente y Concesionario



Fuente: elaboración propia.

MARCO LEGAL DE UNA PLANTA DE COMPOSTAJE

Se contextualiza el marco legal vigente para tres pilares del proyecto: la instalación de la planta de compostaje, las condiciones de sus trabajadores, y las normas del compost.

Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS)

El Plan Regulador Metropolitano de Santiago es un instrumento de planificación que nace del Ministerio de la Vivienda y Planificación Urbana (actualmente MINVU) que contiene un conjunto de disposiciones sobre las condiciones adecuadas de desarrollo urbano de la Región Metropolitana. En él se encuentran disposiciones que norman y orientan la instalación de distintas faenas productivas, entre ellas, las plantas de compostaje.

El PRMS, en su capítulo 7.2 “Infraestructura Metropolitana Sanitaria”, define tres categorías de plantas de compostaje de residuos orgánicos domiciliarios: Plantas de Compostaje de Residuos Verdes, Plantas de Compostaje de Residuos Vegetales de Ferias, y Plantas de Compostaje de Residuos Orgánicos en General.

Para el caso en estudio, sólo se considerará las primeras dos categorías de plantas debido a que los residuos de ferias pueden recibir desechos de podas sin problemas, no así con los desechos domiciliarios generales.

“El compostaje corresponde a un proceso natural de tratamiento de la materia orgánica. Se considerará una actividad industrial, salvo cuando corresponda a un procesamiento de las materias orgánicas en su lugar de origen, para ser empleadas en el mismo lugar” (MINVU, 2019).

Plantas de compostaje de Residuos Verdes

Las plantas de compostaje de residuos verdes se encargan del tratamiento de residuos de podas como ramas, hojas, pasto, y todos los residuos verdes provenientes de la mantención de parques y áreas verdes.

El volumen máximo de residuos que cada planta puede manejar es de 1.200 metros cúbicos al año, a menos que la CONAF establezca una calificación especial que autorice una cota mayor.

Estas plantas se pueden instalar en zonas exclusivas de actividades productivas y/o servicio de carácter industrial, zonas mixtas con actividades productivas y/o de servicio inofensivas, y en el mismo lugar de origen de los desechos.

Para determinar las condiciones de instalación de una planta, esta debe ser evaluada por la Secretaría Regional Ministerial (SEREMI) de Salud, la cual determinará si las actividades que se fuesen a llevar a cabo resultan molestas, o si resultan inofensivas. Esta clasificación repercute en la distancia mínima que deben tener las edificaciones de la planta con respecto a los lindes del terreno, y da características de arborización en la faja perimetral de la planta de compostaje.

Plantas de compostaje de Residuos Verdes de Ferias

Las plantas de compostaje de residuos vegetales de ferias pueden realizar el tratamiento también de residuos verdes y podas. Estas plantas pueden instalarse en zonas exclusivas de actividades productivas y/o de servicio de carácter industrial, y en zonas mixtas con actividades productivas y/o de servicio inofensivas.

Al igual que en las plantas de compostaje de residuos verdes, la clasificación del SEREMI de Salud repercute en las características perimetrales de la planta de compostaje.

No obstante de lo anterior, el predio de Laguna Carén es zonificado como área verde según la última actualización del PRMS, por lo que preliminarmente no se podría construir una planta de compostaje. Sin embargo, esta condición es apelable ante el SERVIU, de la misma manera en que otros proyectos de plantas de compostaje han debido hacerlo para llevar a cabo sus funciones. Algunos casos similares son el Ecoparque Peñalolén, el Parque Santiago Amengual, y el Centro Educativo Ambiental de Parque O'Higgins.

Otros requerimientos del PRMS

Además, el Plan Regulador dicta las siguientes obligaciones, independiente del tipo de planta a instalar:

- **Accesibilidad y conectividad:** la planta debe contar con vías de acceso pavimentadas y un estudio de impacto vial aprobado por el organismo competente.
- **Espacios de maniobra y estacionamientos:** la planta debe contar con el espacio suficiente para sus maniobras operacionales y los estacionamientos necesarios.
- **Estudios de aprobación municipal:** la planta debe contar con una evaluación de impacto ambiental por parte de la municipalidad, para luego pedir la aprobación de la Dirección de Obras municipal.

Ley General de Urbanismo y Construcciones, Artículo N°55

El Artículo N°55 de la Ley General de Urbanismo y Construcciones dispone que las construcciones industriales fuera de los límites urbanos requerirán de la aprobación de la Dirección de Obras Municipales, de un informe favorable de la Secretaría Regional del MINVU, y de un informe favorable del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG).

La necesidad de este artículo aparece ya que, según el vicepresidente de la Fundación Valle Lo Aguirre, don Luis Zaviezo Schartzmann, el predio de Laguna Carén se encuentra en el límite de la zonificación urbana metropolitana, por lo que no es claro si las instalaciones en dicho predio queden supeditadas a lo dispuesto en el Plan Regulador Metropolitano.

Ley 19.300 Bases Generales del Medio Ambiente

El artículo N°10 de la Ley 19.300 establece que los proyectos que generen algún tipo de contaminación ambiental en cualquiera de sus fases, deberán someterse al Sistema de Evaluación Ambiental (SEIA) del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) de Chile. Además, en su letra O, este artículo especifica que a este sistema deben someterse los proyectos de saneamiento ambiental, categoría dentro de la cual puede caer una planta de compostaje. El artículo N°9 de la misma ley establece que para la aprobación de la comisión respectiva, el titular del proyecto debe presentar una declaración de impacto ambiental o un estudio de impacto ambiental.

Reglamento de condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo

El Decreto Supremo N°594 establece las condiciones sanitarias y ambientales básicas que debe cumplir todo lugar de trabajo que se emplace en Chile.

De entre los artículos establecidos por el Decreto Supremo N°594, para efectos del presente documento, cobran relevancias los esgrimidos bajo el Título II "Del saneamiento básico de los lugares de trabajo".

Los artículos atinentes a las características de una planta de compostaje son los artículos N°10, N°14, N°21, N°22, N°23, N°27, N°28, N°53, N°70, N°71, N°72, N°73, N°74, N°75, N°81, N°82 y N°109. En resumen, estos artículos disponen las obligaciones del empleador en cuanto a suministro de agua, implementos de seguridad, servicios higiénicos y vestidores, comedores, protección contra el ruido y protección contra los rayos UV.

Norma primaria de Calidad del Aire

El Decreto Supremo N°59 fija la norma primaria de calidad del aire para el contaminante material particulado respirable MP10, en 150 microgramos por metro cúbico normal como concentración de 24 horas. Y establece la norma primaria de calidad del aire para el MP10 como concentración anual de cincuenta microgramos por metro cúbico normal. Finalmente, establece los niveles que originarán situaciones de emergencia ambiental, junto a una metodología de medición, mecanismo de validación de la información y disposiciones relativas a la fiscalización de la norma.

Normas para evitar emanaciones o contaminantes atmosféricos de cualquier naturaleza

El Decreto Supremo N°144 regula las emisiones de gases, vapores, humos, polvos, emanaciones o contaminantes de cualquier naturaleza de cualquier lugar de trabajo, de forma que deben captarse o eliminarse de manera de no causar peligro, daño o molestias.

Decreto Supremo N°47

La disposición establece medidas de manejo de emisiones de polvo. Se dispone que, en todo proyecto de construcción, reparación, modificación, alteración, reconstrucción o demolición, el responsable de la ejecución de las obras deberá implementar las siguientes medidas con el objetivo de mitigar las emisiones de polvo y material:

1. Humectar el terreno en forma oportuna durante el período en que se realicen las faenas.
2. Disponer de accesos a las faenas que cuenten con pavimentos estables.
3. Transportar los materiales en camiones con la carga cubierta.
4. Lavado de lodo de las ruedas de los vehículos que abandonen las faenas.
5. Mantener la obra aseada y sin desperdicios mediante la colocación de recipientes colectores.
6. Evacuar los escombros desde los pisos altos mediante un sistema que contemple las precauciones necesarias para evitar las emanaciones de polvo y ruidos molestos.
7. La instalación de tela en la fachada de la obra para minimizar la dispersión de polvo.
8. Hacer uso de procesos húmedos en caso de requerir faenas de molienda y mezcla.

Norma de emisión de ruidos molestos generados por fuentes fijas

El Decreto Supremo N°146 establece el límite de ruido para zona industrial, y señala que los niveles de presión sonora que se obtengan de la emisión de una fuente fija emisora de ruido, medidos en el lugar donde se encuentre el receptor, no podrán superar al ruido de fondo en 70 dB o más.

Reglamento de los servicios de agua destinados al consumo humano

El Decreto Supremo N°735 señala que se deberá mantener en el lugar de los trabajos, y durante toda la etapa de construcción y operación, el suministro de agua potable con una dotación mínima de 100 litros de agua por persona y por día, la cual deberá cumplir los requisitos físicos, químicos, radioactivos y bacteriológicos establecidos por la Norma Chilena N°409.

Decreto con Fuerza de Ley N°725

El artículo 80 de este decreto establece que todo lugar destinado a la acumulación, selección, industrialización, comercio o disposición final de basuras y desperdicios de cualquier clase, deben ser autorizados por el Servicio de Salud de su respectiva región.

Norma Chilena del Compost: clasificación y requisitos

La norma chilena del compost, del Instituto Nacional de Normalización (INN), busca fomentar el desarrollo de la industria nacional de compost, normando así la gestión adecuada de residuos sólidos orgánicos con tal de evitar la proliferación de plagas, enfermedades y malezas que pudieran venir incorporadas en el producto final.

Se definen tres clases de compost:

- **Compost clase A:** producto de alto nivel de calidad, no presenta restricciones de uso debido a que ha sido sometido a un proceso de humificación. Puede ser aplicado directamente a macetas sin necesidad de ser mezclado previamente con otros materiales.
- **Compost clase B:** producto de nivel intermedio de calidad, presenta restricciones de uso. Puede ser aplicado a macetas, pero requiere ser mezclado con otros elementos adecuados previamente.
- **Compost inmaduro o subestándar:** materia orgánica que ha pasado por las etapas mesofílica y termofílica del proceso de compostaje. El material ha sufrido una descomposición final pero no ha alcanzado las

etapas de enfriamiento y maduración necesarias. El producto debe ser mezclado para ser aplicado y no producir deficiencias de nitrógeno.

Requisitos sanitarios

Las tres clases de compost deben cumplir con los siguientes requisitos de presencia de patógenos:

Tabla 11: Requisitos microbiológicos Norma Chilena del Compost

Tipo de microorganismo	Tolerancia
1) Coliformes fecales	< a 1.000 NMP por gramo de compost, en base seca
2) Salmonella sp	Ausencia
3) Huevos de helmintos Ova helmíntica	Ausencia
4) Virus MS-2	Densidad máxima < a 1 UFP por 4g de compost, en base seca
5) Listeria monocytogenes	Ausencia
6) Clostridium perfringens	3 por gramo de compost
<p>NMP = Número Más Probable</p> <p>UFP = Unidad de Formación de Placas</p>	

Fuente: elaboración propia con datos de INN (2003).

Para verificar el cumplimiento de las condiciones 3) y 4) de la tabla, al utilizar la técnica de apilamiento estático con aireación forzada, se debe mantener una temperatura del compost a un nivel mayor o igual a 55°C por a lo menos tres días consecutivos. Mientras que, si se utiliza la técnica de apilamiento con volteos, la temperatura se debe mantener igual o mayor a 55°C por al menos tres días consecutivos antes del volteo, y durante todo el proceso deben voltearse al menos cinco veces; como alternativa se pueden utilizar niveles de temperatura entre 45°C y 50°C por 12 días consecutivos.

Requisitos fisicoquímicos

Contenido de nutrientes

Además, todas las clases de compost deben presentar los siguientes contenidos nutricionales:

Tabla 12: Requisitos en contenidos de nutrientes Norma Chilena del Compost

Nutrientes	Contenido	Observación
Fósforo soluble	Menor o igual de 5 mg/L en extracto	Para plantas sensibles al stress de fósforo
Fósforo total	Menor o igual a 0,1% sobre base seca	Para plantas sensibles al stress de fósforo
Nitrógeno amoniacal	Menor de 300 mg/L en extracto	
Nitrógeno amoniacal más nitrógeno como nitrato	Mayor de 100 mg/L en extracto	Si se requiere que el compost contribuya a la nutrición vegetal
Nitrógeno total	Mayor o igual a 0,8%, expresado en base seca	Si se requiere que el compost contribuya a la nutrición vegetal
Boro	Menor de 200 mg/kg de masa, en base seca	Productos con un contenido menor de 100 mg/kg de masa, en base seca, tienen uso irrestricto
Sodio	Menor de 1%, sobre base seca	Como alternativa, a lo menos 7,7 moles de calcio más magnesio, por mol de sodio, en base seca

Fuente: elaboración propia con datos de INN (2003)

Olores

Todas las clases de compost deben presentar características odoríferas normales para el producto.

Humedad y Capacidad de Hidratación

Si el contenido de materia orgánica es mayor al 40% del producto total, todas las clases de compost deben presentar un contenido de humedad mayor o igual al 25% de la masa total del producto, y menor o igual al contenido de materia orgánica +6 puntos porcentuales. Si el contenido de materia orgánica es menor al 40% de la masa del producto, el contenido de humedad debe ser mayor o igual al 25% de la masa del producto, y menor o igual al contenido de materia orgánica +10 puntos porcentuales.

Además, todas las clases de compost deben presentar una capacidad de absorción de agua adecuadas.

Relación Carbono/Nitrógeno

Para el compost clase A, la relación C/N debe estar entre 10 y 25; para el compost clase B debe estar entre 10 y 40; para el compost inmaduro, la relación puede ser de un máximo de 50.

pH

El pH del compost debe estar entre 5,0 y 7,5. El compost se considera maduro si después de una incubación de 24 horas en condiciones anaeróbicas, a 55°C, el pH del producto es mayor a 6.

Toxicidad en plantas

Para todas las clases de compost, al menos el 90% de las semillas sembradas deben germinar, tomando en contraste el germinado de la misma especie a cultivar, pero sin compost.

Presencia de semillas viables de maleza

Para todas las clases de compost, deben germinar, como máximo, dos semillas de malezas por litro de compost en cámara de crecimiento, por siete días.

Tamaño de partículas

Para todas las clases de compost, el tamaño máximo de las partículas que conforman el producto debe ser menor o igual a 15 milímetros.

Impurezas

Para todas las clases de compost no se permiten impurezas de un tamaño mayor a 15 milímetros.

Para las clases A y B, la tolerancia a las impurezas de un tamaño menor o igual a 15 milímetros viene dada por la siguiente tabla:

Tabla 13: Contenido máximo de impurezas de tamaño < 15 mm

Material	Dimensión (mm)	Cantidad (% peso en base seca)
Plásticos flexibles y/o películas	Mayor a 5	Menor o igual a 0,005
Piedras y/o terrones de barro	Mayor a 5	Menor o igual a 5
Vidrio y/o metales y/o caucho y/o plásticos rígidos	Mayor o igual a 2	Menor o igual a 0,5

Fuente: INN (2003)

Vale decir que existen más restricciones para el compost en la norma chilena, pero se atañen más específicamente a los procesos de laboratorio que realizan el estudio del producto.

Requisitos de registro

La producción de compost debe involucrar un sistema de registros que asegure la trazabilidad del producto. Se debe llevar registro del ingreso de la materia prima, especificando el tipo de materia prima, origen y cantidad.

Los registros de producción deben incluir, como mínimo, la siguiente información:

- Identificación de cada pila, utilizando un número correlativo de la pila y un código que deje constancia del método de compostaje utilizado.
- Tipo de material que conforma la pila.
- Origen del material de la pila.

- Fecha de inicio y de término de formación de la pila.
- Masa de producto en proceso para cada pila.
- Registros trazables de temperatura por pila.
- Fecha de término del proceso de compostaje por pila.

Rotulado del producto

Todas las clases de compost comercializadas en el país deben contener la siguiente información en su rotulación:

- Nombre del productor autorizado, dirección y teléfono.
- Número de resolución de la autoridad competente, que autoriza el funcionamiento de la planta de compostaje.
- Número de identificación de la partida del producto.
- Clasificación del producto: clase A, clase B o inmaduro.
- Peso total.
- Porcentaje de materia orgánica total.
- Porcentaje de humedad.
- Relación C/N.
- Indicación de la existencia de la ficha técnica a disposición del usuario.
- Recomendaciones y restricciones de uso.
- Porcentaje de impurezas.
- Advertencias sobre toxicidad.

Resumen de las exigencias legales

A continuación, se presenta una tabla resumen de las exigencias legales pertinentes a la construcción de la planta de compostaje.

Tabla 14: Resumen marco legal compostaje

Cuerpo legal	Tema	Fiscalizador
PRMS	Planificación y uso de suelos en la RM	Dirección General de Obras Urbanas (MINVU)
Ley General de Urbanismo y Construcciones	Planificación urbana	Dirección de Obras Municipal, Secretaría Regional MINVU, y SAG
Ley 19.300	Medio ambiente	Sistema de Evaluación Ambiental (SEA)
Decreto Supremo N°594	Condiciones sanitarias y ambientales en los lugares de trabajo	Servicio Regional de Salud
Decreto Supremo N°59	Norma primaria de calidad del aire	Servicio Regional de Salud del Ambiente
Decreto Supremo N°144	Normas para evitar emanaciones o contaminantes atmosféricos de cualquier naturaleza	Servicio Regional de Salud
Decreto Supremo N°47	Medidas de manejo de emisiones de polvo	Dirección de Obras Municipal
Decreto Supremo N°146	Norma de emisión de ruidos molestos generados por fuentes fijas	Servicio Regional de Salud
Decreto Supremo N°735	Reglamento de los servicios de agua destinados al consumo humano	Servicio Regional de Salud
Decreto con fuerza de Ley N°725	Autorizaciones de lugares que reciban residuos sólidos.	Servicio Regional de Salud
Norma Chilena del Compost	Regulación de las condiciones del compost comercializable	SAG

Fuente: elaboración propia

Para la práctica del marco legal vigente, es relevante declarar la existencia del conflicto respecto a la ubicación del predio de Laguna Carén. Y es que, al ubicarse en el límite urbano de la comuna de Pudahuel, la legislación no es clara respecto a la pertinencia del PRMS.

En caso de que se concluya que el predio de Laguna Carén pertenece al área urbana de la Región Metropolitana, el cuerpo legal a aplicar con respecto a la distribución de espacios de una planta de compostaje correspondería al del Plan Regulado Metropolitano de Santiago. Sin embargo, si se concluye que el predio pertenece al área rural de la comuna, el cuerpo legal pertinente sería la Ley General de Urbanismo y Construcciones, donde no se especifican disposiciones específicas para plantas de compostaje, sino que se delegan las evaluaciones y gestiones a la Secretaría Regional del MINVU.

DISEÑO OPERACIONAL

Las plantas de compostaje dividen su espacio principalmente en dos grandes áreas, la primera se denomina "Área de procesamiento de materia orgánica" y es donde se emplaza todo el desarrollo de la materia orgánica, desde que ingresa hasta que egresa de las pilas de compostaje; y el "Área complementaria", la cual corresponde al área ocupada principalmente por los trabajadores, tanto para sus necesidades personales y laborales, como para el almacenamiento de herramientas y del producto final envasado.

Para la elaboración de la presente descripción, se toma como referencia la metodología de compostaje escogida en el análisis cualitativo de la [ELECCIÓN CUALITATIVA DE LA TÉCNICA PARA EL PROYECTO](#) la cual es la de Pila Estática con Aireamiento Forzado. Si bien esta decisión condiciona las cifras resultantes, se toma esta decisión en *pos* del pragmatismo de la descripción.

Volumen de producción

Para efectos del presente análisis, se toman como referencia los volúmenes de desechos vegetales provenientes de ferias y persas durante el año 2019 para la municipalidad de Pudahuel, los cuales corresponden a 6.019 toneladas. Vale decir que, de estos, sólo un 80% pertenece a desechos vegetales orgánicos (Velásquez, 2019).

La mayoría de los residuos recogidos en las ferias libres corresponden a hortalizas, las cuales poseen una tasa de Carbono-Nitrógeno dentro del rango óptimo para la conformación de la pila, por lo cual no se necesitaría mezclar

las hortalizas con alguna otra biomasa para equilibrar sus niveles de carbono y nitrógeno.

En cuanto a los desechos de podas, estos sí poseen una tasa de Carbono-Nitrógeno más alta que el nivel óptimo, pero su volumen es sustancialmente pequeño comparado a los desechos de ferias libres, por lo cual bastaría con mezclar los desechos de podas junto con los provenientes de las ferias libres para obtener una pila conjunta que posea una proporción idónea de carbono y nitrógeno.

Es importante decir que los volúmenes de podas no se han considerado en el análisis debido a que la municipalidad no cuenta con dicha información.

Tomando como referencia los volúmenes de desechos vegetales provenientes de ferias y persas para la comuna de Pudahuel del 2019, se puede decir que, si se revalorizara el 80% de la totalidad de los 6.019.640 kilogramos de desecho, y contemplando que aproximadamente la mitad de la masa se pierde en los procesos oxidativos del compostaje, se obtiene que se podrían haber producido 2.407.856 kilogramos de compost.

Para tener una idea de los formatos que se comercializan en este rubro, se realizó una cotización de fertilizantes orgánicos con una empresa existente. El resultado de la búsqueda es que el formato más popular es el saco de 25 kg de compost, con un precio que oscila entre los \$3.000 y \$4.000.

Tomando estos datos como referencia, se puede aproximar que, si el 95% de todos los desechos vegetales de las ferias y persas de la comuna de Pudahuel se compostaran, envasaran en sacos de 25 kilogramos y se vendieran a \$3.000 cada uno, se percibiría un ingreso anual de \$274.495.584.

$$\begin{aligned} & \text{Ingreso anual por venta de compost [\$]} \\ &= \frac{\text{Cantidad de compost producido para venta [kg]}}{\text{Cantidad de compost por saco [kg]}} \\ & \times \text{Precio saco de compost [\$]} \end{aligned}$$

$$\text{Ingreso anual por venta de compost [\$]} = \frac{2.407.856 \text{ kg}}{25 \text{ kg}} \times \$3.000 = \$274.495.584$$

Desagregadamente, se puede decir que por cada tonelada de material fresco que se procesa, se obtienen aproximadamente 500 kg de compost final, lo cual genera 20 sacos. Con un precio de \$3.000 por saco, se aproxima que cada tonelada de desechos vegetales frescos retorna \$60.000 después de 8 ó 24 semanas dependiendo de qué calidad de compost se busca. Vale decir que entre los sacos de compost comúnmente comercializados, no se encontraron ejemplares clasificados según la norma chilena del compost.

Área de procesamiento de materia orgánica

El Área de Procesamiento de Materia orgánica corresponde al conjunto de las áreas en donde la materia prima de la planta de compostaje se encuentra en contacto con el suelo, y está llevando a cabo los procesos metabólicos que la transformarán en el producto final a comercializar.

Esta área consta de 3 áreas distintas: el Área de Recepción de Residuos, el Área de Compostaje, y el Área de Maduración.

Al estar en contacto con el suelo, la materia orgánica representa una amenaza de contaminación debido a las sustancias desprendidas en el proceso de compostaje, por lo cual, para asegurar la inocuidad medioambiental de la planta de compostaje, es necesario el correcto acondicionamiento del suelo en el cual se emplace la actividad.

Preparación del terreno

Por tratarse de un proyecto enmarcado en las necesidades de conservación del medio ambiente, es imperante que la instalación de la planta de compostaje no represente una amenaza para el lugar, y es que el predio de Laguna Carén se ubica sobre las napas freáticas que interactúan directamente con la laguna.

Debido a los niveles de humedad presentes en la materia orgánica que se utiliza para construir las pilas, y a las necesidades de hidratación en el proceso de compostaje, es que las pilas pueden desprender un líquido denominado "lixiviado", y que contiene las sustancias presentes en el proceso de compostaje. Con el agua como agente transportador, estos lixiviados se pueden componer por materia orgánica descompuesta, nitrógeno, amoníaco (dependiendo de la calidad del proceso de compostaje), entre otros.

Concretamente, los lixiviados de compostaje representan una amenaza para el recurso hídrico del lugar no porque su composición sea tóxica para la vida, como ocurre en los rellenos sanitarios; sino que por todo lo contrario. Cuando el lixiviado de compostaje entra en contacto con el agua, la satura de nutrientes para la vida vegetal, lo cual suele alentar el crecimiento de algas en una proporción desequilibrada para el ecosistema en cuestión.

Teniendo en cuenta lo anterior, es que se toman dos medidas de protección en la preparación del suelo para las pilas de compostaje:

- **Impermeabilización de la superficie con geomembrana de polietileno de alta densidad:** cumple las funciones de impedir el paso de lixiviados hacia el suelo, y de encausarlos para facilitar su recolección. Al momento de su instalación, esta membrana debe presentar una inclinación menor o igual a 4°.
- **Instalación de geotextil no tejido en el suelo:** funciona como un filtro que atrapa las partículas que pasan por él. Cumple la función de segunda capa de protección en caso de que la primera falle o se rompa por algún motivo.

Es recomendable la observación constante del crecimiento de algas en la laguna, ya que sería el primer indicio visible de que las medidas de protección han fallado y las faenas deben detenerse para proteger los recursos hídricos de la zona.

La implementación de las medidas de protección del suelo implica la necesidad de remover la tierra para dar las condiciones necesarias para instalar las capas de resguardo. Pero, además, la intervención del nivel del suelo puede cumplir una función de protección para las pilas mismas, reduciendo el impacto del viento para las pilas, lo cual ofrece condiciones más estables para su desarrollo.

Se propone nivelar primero el terreno a utilizar, y luego remover un metro de nivel. Sobre el agujero creado se instalaría el geotextil y luego la capa impermeabilizadora, la cual se recubriría con 30 cm de tierra compactada para proteger el geotextil del uso de las herramientas de los operarios. Tomando en cuenta una estimación del precio del metro cúbico de tierra removido con maquinaria por Gallardo (1987), y proyectándolo a moneda actual, se estima un valor de \$780 por metro cúbico de tierra removido con maquinaria.

Se cotizó también que cada m² de geotextil tiene un costo de \$560, y se estima cada m² de geomembrana de polietileno a un costo de \$650. Es importante

dejar un espacio para la acumulación de lixiviado en el extremo de menor altura en el terreno.

Ilustración 28: Esquema de preparación del terreno



Fuente: elaboración propia.

Diseño del Área de Recepción de Residuos

Para comenzar a procesar los desechos provenientes de las ferias libres, estos deben ser recibidos, medidos y clasificados, para luego poder formar parte de las pilas de compostaje sin representar un riesgo a su composición.

Si se considera una densidad inicial de los desechos vegetales de 200 kg/m^3 (Roman et al., 2003), entonces por cada tonelada de residuos frescos se necesitarían 5 metros cúbicos para su recepción. Si se forma una pila inicial de 1,5 metros de alto, entonces un volumen de $1,5 \text{ m}^3$ albergaría 300 kilogramos de material fresco es una superficie de 1 m^2 . Así, por cada 300 kg de desechos frescos se necesitaría 1 m^2 para su recepción.

$$\begin{aligned} & \text{Kilogramos de material por unidad de área } [kg/m^2] \\ &= \frac{(\text{largo} \times \text{ancho} \times \text{alto})[\text{m}^3] \times \text{densidad inicial}[\frac{kg}{\text{m}^3}]}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kilogramos de material por unidad de área} &= \frac{(1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}) \times 200 \frac{kg}{\text{m}^3}}{\text{m}^2} \\ &= 300 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Las ferias de Pudahuel tuvieron en 2017 una producción de desechos promedio diaria de 17,15 toneladas, de la cual sólo un 80% correspondería a desechos vegetales, es decir sólo 13,75 toneladas diarias servirían para la conformación de pilas (Velásquez, 2019).

Así, asumiendo que todos los desechos diarios llegan a la planta a la vez, se puede concluir que el espacio máximo necesario para la recepción de los residuos es de 57 m² si estos no vinieran separados en su origen, y de 46 m² si sí vinieran separados en su origen.

$$\begin{aligned} & \text{Espacio máximo necesario para recibir el material [m}^2\text{]} \\ & = \frac{\text{Promedio desechos diarios [kg]}}{\text{Kilogramos de material por unidad de área [kg/m}^2\text{]}} \end{aligned}$$

$$\text{Espacio máximo necesario para recibir el material} = \frac{17.150 \text{ kg}}{300 \text{ kg/m}^2} = 57 \text{ m}^2$$

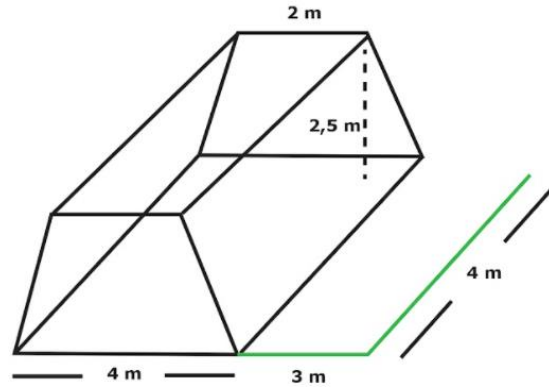
Esta área no necesita ubicarse sobre el suelo con capas de protección, ya que los desechos deben recibirse y procesarse inmediatamente para entrar a su fase de compostaje, donde sí liberan lixiviados.

Diseño del Área de Compostaje

El tamaño del Área de Compostaje estará directamente relacionado con las características de las pilas a conformar, ya que su forma determinará la cantidad de material que pueden albergar.

Se decide modelar las pilas como un prisma trapezoidal, donde sus medidas han sido escogidas en base al manual de compost de la FAO. Se decide entonces que el ancho de la base de la pila inicial sea de 4 metros, con una altura de 2,5 metros, un largo de 4 metros y un ancho del techo de la pila de 2 metros. También es importante considerar un pasillo auxiliar o “vereda” que permita la circulación y medición de parámetros por parte de los trabajadores.

Ilustración 29: diseño preliminar pilas de compostaje



Fuente: elaboración propia.

$$\text{Área de un trapecio} = \text{Alto} \times \frac{(\text{Ancho}_{\text{base}} + \text{Ancho}_{\text{techo}})}{2}$$

$$\text{Volumen de la pila [m}^3\text{]} = \text{Área del trapecio [m}^2\text{]} \times \text{Largo de la pila [m]}$$

$$\text{Volumen de la pila} = \left(2,5 \text{ m} \times \frac{(4 \text{ m} + 2 \text{ m})}{2} \right) \times 4 \text{ m} = 30 \text{ m}^3$$

Conociendo el volumen que puede contener cada pila, y conociendo la densidad inicial del material, se puede calcular cuánto material cabe en cada una de las pilas.

$$\begin{aligned} \text{Cantidad de material por pila [kg]} \\ = \text{Volumen de la pila [m}^3\text{]} \times \text{Densidad del material [kg/m}^3\text{]} \end{aligned}$$

$$\text{Cantidad de material por pila} = 30 \text{ m}^3 \times 200 \text{ kg/m}^3 = 6.000 \text{ kg}$$

Luego, para saber la cantidad de espacio que se requerirá en el área de compostaje, se necesita saber la cantidad máxima de pilas que se albergarán simultáneamente. Para conocer este dato, se necesita saber cuántas pilas se acumularán hasta que las primeras pilas alcancen el estado deseado y puedan ser removidas, liberando ese espacio para las próximas pilas a formarse.

Al saber que el proceso de compostaje tiene una duración aproximada de 8 semanas, se puede calcular la cantidad de superficie deseada si se conoce cuántas pilas se acumularán durante esas 8 semanas, hasta el flujo de entrada en el Área de Compostaje sea igual a su flujo de salida.

$$\begin{aligned} \text{Cantidad máxima de pilas en proceso} \\ = \text{Cantidad de pilas que se forman [1/semana]} \\ \times \text{Cantidad de semanas del proceso [semana]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cantidad de pilas que se forman [1/semana]} \\ = \frac{\text{Cantidad de material que se recibe [kg/semana]}}{\text{Cantidad de material por pila [kg]}} \end{aligned}$$

Sabiendo que el promedio diario de desechos de todas las ferias libres de la comuna de Pudahuel es de 17.150 kg, es directo que en promedio se reciben 120.050 kg de desechos de feria cada semana. Sin embargo, sólo el 80% de esta cantidad corresponde a desechos vegetales aptos para el compostaje (Velásquez, 2019). Así, se puede calcular la cantidad deseada.

$$\text{Cantidad de pilas que se forman} = \frac{120.050 \frac{\text{kg}}{\text{semana}} \times 80\%}{6.000 \text{ kg}}$$

$$\text{Cantidad de pilas que se forman} = 16/\text{semana}$$

Ahora se puede conocer la cantidad máxima de pilas que albergará el Área de Compostaje.

$$\text{Cantidad máxima de pilas en proceso} = 16/\text{semana} \times 8 \text{ semana} = 128$$

De esta manera, ya se puede aproximar el Área de Compostaje.

$$\begin{aligned} \text{Área de Compostaje [m}^2\text{]} \\ = \text{Cantidad máxima de pilas en proceso} \times \text{Superficie de pila [m}^2\text{]} \end{aligned}$$

$$\text{Superficie de pila [m}^2\text{]} = \text{Largo}_{\text{pila}}[\text{m}^2] \times (\text{Ancho}_{\text{base}}[\text{m}^2] + \text{Vereda}_{\text{pila}}[\text{m}^2])$$

$$\text{Área de Compostaje} = 128 \times (4 \text{ m} \times (4 \text{ m} + 3 \text{ m})) = 3.584 \text{ m}^2$$

Esta superficie puede ser circunscrita por un cuadrado de 60 metros de lado, pero también se aconseja considerar un pasillo perimetral. Por ejemplo, si el ancho del pasillo perimetral es de 4 metros, el Área de Compostaje podría contenerse en un cuadrado de 68 metros de lado.

Después de que una pila ha superado su etapa de compostaje (fases mesofílica, termofílica, y de enfriamiento) esta se transporta hacia el área de maduración si se destina al compost clase A, o se puede ensacar directamente si se destina a compost clase B.

Diseño del Área de Maduración

Se considera que el 50% del compost será destinado a maduración para convertirse en compost clase A, lo que implica que el Área de Maduración será menor que el Área de Compostaje. Pero, además, los procesos de oxidación reducen la cantidad de material y también aumentan su densidad, lo cual implica una reducción aún más importante del Área de Maduración.

Concretamente, se considera una pérdida del 50% de la masa inicial de la pila por concepto de los procesos de oxidación naturales, y una densidad del material final de 650 kg/m³ (Roman et al. 2003), por lo que se calcula que, si las pilas del área de maduración tienen las mismas medidas que las camas de compost, una pila de compost en maduración puede albergar aproximadamente la cantidad de material correspondiente a 6 pilas iniciales.

Como las propiedades fisicoquímicas de las pilas estarán determinadas en gran parte por la cantidad de tiempo que lleven en descomposición, dos pilas formadas en tiempos similares tendrán composiciones similares, por lo cual se recomienda que, cuando se forme una nueva pila en el Área de Maduración, esta esté conformada por pilas de compost que se hayan armado en un rango de no más de una semana entre ellas (Roman et al. 2013).

Teniendo en cuenta que sólo la mitad del material percibido por la planta se destina a compost tipo A, que la mitad de este material se pierde por los procesos biológicos, que el tiempo de maduración es de 16 semanas, y que la densidad del material ya compostado es de 650 kg/m³, se puede calcular el tamaño del Área de Maduración con una metodología homóloga a la utilizada para calcular el Área de Compostaje.

Debido al aumento de densidad del material, es aconsejable hacer pilas de maduración más pequeñas que las pilas de compostaje, por lo que se proponen pilas de maduración trapezoidales con un alto de 2 metros, una base de ancho 3 metros, un techo de ancho 1,5 metros, y un largo de 4 metros, con una vereda de 3 metros de ancho.

$$\begin{aligned} & \text{Cantidad de material que entra en maduración [kg]} \\ & = \text{Promedio desechos semanales a madurar [kg]} \\ & \times \text{semanas de maduración} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Promedio desechos semanales a madurar [kg]} \\ & = \text{Promedio desechos vegetales diarios [kg]} \times 7 \times \text{Porcentaje de pérdida} \\ & \times \text{Porcentaje compost tipo A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Promedio desechos semanales a madurar} & = 17.150 \text{ kg} \times 80\% \times 7 \times 50\% \times 50\% \\ & = 24.010 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Cantidad pilas en maduración por semana} \\ & = \frac{\text{Promedio desechos semanales a madurar [kg]}}{\text{Cantidad de material que cabe en una pila en maduración [kg]}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Cantidad de material que cabe en una pila en maduración [kg]} \\ & = \text{Volumen de pila en maduración [m}^3\text{]} \\ & \quad \times \text{Densidad pila en maduración } \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \end{aligned}$$

$$\text{Volumen de pila en maduración} = 2 \text{ m} \times \left(\frac{3 \text{ m} + 1,5 \text{ m}}{2} \right) \times 4 \text{ m} = 18 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Cantidad de material que cabe en una pila en maduración} &= 18 \text{ m}^3 \times 650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ &= 11.700 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Cantidad pilas en maduración por semana} = \frac{24.010 \text{ kg}}{11.700 \text{ kg}} \approx 2$$

$$\begin{aligned} & \text{Cantidad máxima de pilas en maduración} \\ & = \text{Cantidad pilas en maduración por semana} \times \text{Semanas de maduración} \end{aligned}$$

$$\text{Cantidad máxima de pilas en maduración} = 2 \times 16 = 32$$

$$\begin{aligned} \text{Área de maduración [m}^2\text{]} \\ &= \text{Cantidad máxima de pilas en maduración} \\ &\times \text{Superficie de pila en maduración [m}^2\text{]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Superficie de pila en maduración [m}^2\text{]} \\ &= \text{Largo}_{\text{pilaMaduración}}[\text{m}] \times (\text{Ancho}_{\text{pilaMaduración}}[\text{m}] + \text{Vereda} [\text{m}]) \end{aligned}$$

$$\text{Área de maduración} = 32 \times (4 \text{ m} \times (3 \text{ m} + 3 \text{ m})) = 768 \text{ m}^2$$

El Área de Maduración puede circunscribirse en un cuadrado de lado 28 metros. Sin embargo, al igual que en el caso del Área de Compostaje, es aconsejable un pasillo perimetral.

Luego de la etapa de maduración, el producto será ensacado y almacenado, momento desde el cual estará listo para el consumo final como compost de clase A.

Área Complementaria

El área complementaria consta de un espacio techado donde se podrán reunir los trabajadores, una oficina, comedor, baños, bodega de herramientas y bodega del producto final.

El tamaño de la bodega del producto final dependerá del porcentaje del compost producido, anualmente, que deba ser almacenado simultáneamente. Las medidas de un saco de compost de 25 kg se aproximan a 75 cm de largo, 45 cm de ancho y 15 cm de alto. Además, se aproxima que se puedan apilar verticalmente una cantidad de 26 sacos por unidad de área, es decir, por cada 3.375 cm² (superficie de un solo saco), se pueden almacenar 26 sacos del producto.

Con lo anterior, se puede calcular que, por cada metro cuadrado de la bodega, se pueden almacenar aproximadamente 77 sacos.

Para calcular el tamaño de la bodega se necesita conocer el volumen de producción anual en términos de sacos de producto, para lo cual se considera que se atiende exclusivamente al nivel de desechos producidos por las ferias libres de la comuna de Pudahuel.

$$\begin{aligned} & \text{Cantidad de sacos producidos anualmente} \\ &= \frac{\text{Cantidad de compost producido anualmente [kg]}}{\text{Contenido de cada saco [kg]}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Cantidad de compost producido anualmente [kg]} \\ &= \text{Promedio desechos vegetales tratados al día [kg]} \times 365 \\ & \times \text{Porcentaje de pérdida} \times (1 - \text{Porcentaje de omisión}) \end{aligned}$$

El Porcentaje de Pérdida corresponde a la fracción de material que se pierde por los procesos biológicos, y el Porcentaje de Omisión busca capturar el hecho

de que el material puede ser arrastrado por los vientos o vertidos involuntariamente en el piso de la planta de compostaje.

$$\begin{aligned} \text{Cantidad de compost producido anualmente} &= 13.720 \text{ kg} \times 365 \times 50\% \times (1 - 10\%) \\ &= 2.253.510 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Cantidad de sacos producidos anualmente} = \frac{2.253.510 \text{ kg}}{25 \text{ kg}} = 90.140$$

$$\begin{aligned} \text{Espacio Bodega sacos [m}^2\text{]} \\ &= \frac{(\text{Cantidad sacos producidos anualmente} \times \text{Porcentaje almacenamiento simultáneo})}{\text{Cantidad de sacos por unidad de área [1/m}^2\text{]}} \end{aligned}$$

$$\text{Espacio Bodega sacos} = \frac{90.140 \times 90\%}{77} = 1.053 \text{ m}^2$$

Sin embargo, debe considerarse el espacio necesario para desplazarse dentro de la bodega. Para lograr esto, se aplica un ponderador al espacio ya determinado, el valor de este ponderador se propone de 10%, y busca representar el porcentaje de área de la bodega que se utiliza exclusivamente para moverse dentro de ella.

$$\text{Espacio final Bodega} = 1.053 \text{ m}^2 \times 1,1 = 1.158 \text{ m}^2$$

Esta superficie puede ser circunscrita por un cuadrado de lado 35 metros.

Las dimensiones del resto de las disposiciones del Área Complementaria dependerán, directa o indirectamente, de la cantidad de trabajadores que albergue la planta, pero será pequeña comparada al tamaño del Área de Procesamiento de Materia Orgánica. La cantidad de operarios se determina en la sección de [Sueldos](#), dentro de la sección [Estructura del Concesionario](#).

Además, para que el presente proyecto se encuentre alineado con los ideales del Proyecto Académico Parque Laguna Carén, se espera que todas las aguas grises que se produzcan como consecuencia de los menesteres de los trabajadores puedan ser reutilizadas en la hidratación de pilas de compost, para así dar un carácter de Economía Circular al presente modelo de producción.

Tamaño de la planta

Para aproximar el tamaño de la planta, se le modela con una forma rectangular. Así, sólo se debe aproximar la longitud de cada uno de sus lados para encontrar el monto requerido.

El lado más largo de la planta será el resultado de sumar la longitud del Área de Compostaje, la longitud del Área de Recepción, la longitud del Área de Maduración, la distancia de las lindes del terreno, y sumar una cantidad arbitraria que represente el espacio entre las áreas mencionadas.

$$\begin{aligned} \text{Lado largo [m]} \\ &= \text{Lado}_{\text{Compostaje}}[\text{m}] + \text{Lado}_{\text{Recepción}}[\text{m}] + \text{Lado}_{\text{Maduración}}[\text{m}] \\ &+ \text{Lindes del terreno}[\text{m}] + \text{Espacio entre áreas}[\text{m}] \end{aligned}$$

$$\text{Lado largo} = 66,2 \text{ m} + 7,8 \text{ m} + 34,6 \text{ m} + 10 \text{ m} \times 2 + 10 \text{ m} = 138,6 \text{ m}$$

Mientras que el lado más corto de la planta será el resultado de sumar la longitud del Área de Compostaje, 20 metros para considerar el espacio de los trabajadores, el linde del terreno y una cantidad arbitraria que represente el espacio entre las áreas en cuestión.

$$\begin{aligned} \text{Lado corto [m]} \\ &= \text{Lado}_{\text{Compostaje}}[\text{m}] + 20 \text{ m} + \text{Lindes del terreno}[\text{m}] \\ &+ \text{Espacio entre áreas}[\text{m}] \end{aligned}$$

$$\text{Lado corto} = 66,2 \text{ m} + 20 \text{ m} + 10 \text{ m} \times 2 + 10 \text{ m} = 116,2 \text{ m}$$

Así, ya se puede aproximar la superficie que ocupará la planta de compostaje.

$$\begin{aligned} \text{Superficie de la planta [m}^2\text{]} &= \text{Lado largo [m]} \times \text{Lado corto [m]} = 138,6 \text{ m} \times 116,2 \text{ m} \\ &= 16.111 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Ilustración 30: Distribución de espacio planta de compostaje



Fuente: elaboración propia.

DISEÑO PRODUCTIVO

De entre los métodos estudiados para el compostaje de los residuos, se escoge mostrar el diseño con el de "Pila Estática con Aireación Forzada", ya que se muestra como el más favorable según el análisis cualitativo.

Para enmarcar el diseño productivo de la planta, se distinguen 5 procesos que se deben llevar a cabo en cada pila en distintos momentos, estos corresponden a los siguientes:

- 1. Entrada de pila nueva:** corresponde al proceso inicial de cada pila, desde que se recibe el material vegetal bruto hasta que se construye la pila inicial.
- 2. Medición de parámetros para pilas en proceso:** medición y registro de parámetros de cada pila para tener una idea de la eficiencia de los procesos biológicos e identificar cada una de las fases del compostaje en la pila.
- 3. Egreso de pilas del proceso de compostaje:** proceso que se marca cuando se identifica que la pila ha iniciado su proceso de maduración. Se miden los parámetros que indican el egreso de la pila y se transporta el material hacia la zona de maduración.
- 4. Maduración de la pila:** se miden los parámetros de la pila con énfasis en el pH, ya que este parámetro determinará la estabilización química del compost.
- 5. Ensacado del producto final:** se ensaca el producto final, momento desde el cual se vuelve comercializable.

Ilustración 31: Procesos productivos



Entrada de pila nueva

La formación de una pila nueva es el proceso de mayor relevancia para los procesos biológicos en la formación del compost, ya que la composición de la pila será determinante para los parámetros de medición del compostaje. Una correcta composición inicial hará que sea menos probable la necesidad de intervención de los parámetros de las pilas, especialmente en la relación Carbono-Nitrógeno ya que esta es especialmente difícil de cambiar una vez que ya se han iniciado los procesos biológicos dentro de la pila.

Así, este proceso se caracteriza por las siguientes etapas:

1. Acopio de los desechos brutos, separación y medición: se reciben los desechos vegetales recién llegados de la feria, los cuales serán recibidos en el Área de Recepción. Una vez recibidos, estos deben ser separados según sus relaciones C/N dispuestas en [Picado de material y amontonamiento](#) descartando todos los elementos ajenos al proceso de compostaje (metales, plásticos, etc), después de lo cual a cada grupo se le debe medir su masa con una balanza, con el fin de preparar la mezcla final.

La masa total de la descarga debe ser registrada, tanto para llevar una trazabilidad del producto como para informar a la municipalidad sus costos de disposición final. Esta etapa es de suma relevancia ya que los elementos no orgánicos, como los metales, podrían causar condiciones desfavorables para los procesos biológicos, que podrían terminar por representar un riesgo para la vida vegetal.

Se propone que los restos que no puedan ser utilizados en la planta de compostaje, se acopien para ser retirados por una planta de biodigestión anaeróbica contemplada dentro del Proyecto Académico Parque Laguna Carén.

2. Preparación de la mezcla: se debe calcular la proporción de grupos de desechos que optimice la relación Carbono/Nitrógeno dentro de la pila. Dicha proporción será la que se utilice para la formación de la pila. Luego se deben procesar los desechos para alcanzar el tamaño de partícula ideal para la formación de la pila según lo expuesto en [Picado de material y amontonamiento](#), utilizando tanto herramientas manuales como palas y chuzos, como la chipeadora en caso de ser necesario. La composición final de la pila debe ser registrada.

3. Transporte del material a la zona de camas de compost: el material seleccionado y procesado para conformar la cama de compost es transportado por una minicargadora contemplada dentro del proyecto, la cual facilitará las labores de transporte y construcción de la pila.

4. Construcción de la pila de compost: se comienza a construir la pila de compost ubicando primero los tubos de aireación, y agregando luego el material mezclado de la forma más homogénea posible si sólo se tiene un tipo de material, mientras que si se tienen varios tipos de material se recomienda depositarlos en capas alternadas. También se recomienda aplicar capas de compost maduro pues este está cargado de microorganismos aceleradores del proceso para las pilas nuevas.

No obstante de lo anterior, se recomienda privilegiar los desechos de mayor tamaño en la base de la pila, para que el mayor tamaño de los poros facilite el paso del aire al resto de la pila. Vale decir que se recomienda cubrir, con una carpeta de plástico, las pilas de compost cuando se finalice la jornada laboral.

Se contempla que cada pila puede ser conformada en aproximadamente 60 minutos por un equipo de dos personas (además de la minicargadora), lo que corresponde a un uso de 2 horas-hombre por pila sólo para este proceso.

Medición de parámetros para pilas en proceso de compostaje

La medición de parámetros para las pilas en proceso de compostaje sirve para llevar un control de los procesos biológicos que suceden dentro de ella.

El primer indicador de un proceso ineficiente es el mal olor de la pila, el cual es generado por procesos anaeróbicos que suceden dentro de la pila. Esto podría ser indicador de falta de aireación, exceso de humedad o una mala relación Carbono-Nitrógeno.

Luego, se debe medir la temperatura de la pila abriendo un surco dentro de ella para que el termómetro entre en contacto con la sección interna de la pila. La humedad puede ser medida con la Técnica del puño cerrado ([Control de parámetros en pilas](#)) Todos los parámetros deben ser registrados al momento de su medición, y como también deben medirse y registrarse las acciones que se toman para normalizar los parámetros, según indica el [Control de parámetros en pilas](#) según la fase en la que se encuentre la pila.

Se estima que esta tarea puede ser llevada a cabo por una sola persona en 45 minutos, lo cual equivale a un costo de 0,75 horas-hombre por pila. Vale decir que el tiempo asignado a esta etapa se reducirá en la medida que la pila sea correctamente conformada en un principio.

Egreso de pilas del proceso de compostaje

Una vez que se ha detectado que la pila ha finalizado las primeras 3 etapas de compostaje según los [Comprobación de que ha entrado en fase de Maduración](#), lo cual ocurriría en 8 semanas desde su ingreso, se debe harnear el compost, filtrando todos los desechos que no pudieron ser completamente compostados, los cuales pueden ser reutilizados en otras pilas de compost. Luego de harnear el compost, este se debe transportar hacia el área de maduración si es que ha sido destinado para compost de clase A, donde podrá ser mezclada con otras pilas cuyo origen no diste en más de una semana de tiempo entre ellas. Pero si ha sido destinado a compost de clase B, pasa directamente a ser ensacado como producto final.

Se estima que esta tarea puede ser llevada a cabo en 60 minutos por dos personas, lo que equivale a un costo de 1 hora-hombre por pila, y debe ser realizado una vez al día para tener un mayor control en caso de detectar una medición anómala.

Maduración de la pila

Una vez que la pila se encuentra en el área de maduración, se debe mantener una revisión periódica de sus parámetros, especialmente del pH. Esta medición se puede llevar a cabo cada una semana, ya que la estabilización del pH es el proceso más lento de las fases del compostaje, y se estima que puede ser realizada por una persona en 30 minutos, lo que representa un costo de 0,5 horas-hombre por pila.

Ensamado del producto final

Cuando se requiere vender el producto o desocupar espacio en el área de maduración, se procede a envasar el producto en sacos con 25 kg de compost cada uno, para luego almacenarlo en la bodega del producto final.

Se estima que esta tarea puede ser llevada a cabo en 5 minutos por saco, entre dos personas, lo que representa un costo de 0,16 horas-hombre por saco producido. Debido a que las pilas de compost clase A contienen más kg de compost que las pilas de compost clase B, existe una diferencia en la cantidad de horas-hombre utilizadas para ensacar una pila de compost clase A y una pila de compost clase B. Se calcula que para ensacar una pila de compost clase

A se requieren 78 horas-hombre, mientras que cada pila de compost clase B requiere de 20 horas-hombre.

Fuerza laboral

Se considera la contratación de 1 supervisor de la planta, 2 obreros calificados para el manejo de la maquinaria, 1 persona a cargo de la estructura de ventas, 1 persona a cargo de los quehaceres administrativos del proyecto, y una cantidad de obreros no calificados que llevarían a cabo la mayor parte de las labores productivas de la planta de compostaje. Las vacantes para puestos laborales con propósito de reinserción social serían aquellas de obrero no calificado, y su cantidad se determina a continuación.

Para estimar la cantidad de operarios necesarios, se calculará la cantidad de horas-hombre que requiere la operación de la planta a capacidad máxima por una semana.

Se toman en cuenta los siguientes antecedentes para basar el cálculo de la cantidad de operarios necesarios para la operación de la planta:

- Debido al promedio diario de cantidad de desechos producidos por las ferias de la comuna de Pudahuel, se puede decir que cada semana se pueden formar 15,4 pilas nuevas en la planta de compostaje.
- La planta destina el 50% de su materia prima a la producción de compost clase A, y 50% a la producción de compost clase B.
- Debido al flujo de material dispuesto a ser compost clase A, cada semana se pueden formar 1,97 pilas en fase de maduración.
- Cada pila de compost clase A puede albergar el contenido necesario correspondiente a 468 sacos de compost.
- Cada pila de compost clase B puede albergar el contenido necesario correspondiente a 120 sacos de compost.
- Cada saco demora 5 minutos en ser ensacado, independiente de la clase de compost a la que pertenezca.
- El proceso de compostaje para pilas de compost clase A toma 24 semanas.
- El proceso de compostaje para pilas de compost clase B toma 8 semanas.

- Hay un 10% de las horas-hombre que se diluyen en la operación de la planta.

Así, se puede construir una tabla que muestre el cálculo de horas-hombre requerido por cada etapa del diseño productivo, con la planta de compostaje funcionando a un máximo de capacidad.

Tabla 15: Horas-hombre requeridas por cada etapa productiva

Etapas del diseño productivo	Horas-hombre requeridas por cada pila	Cantidad de pilas semanales	Horas-hombre requeridas semanalmente
Entrada de pila nueva	2	15,4	30,8
Medición de parámetros	0,75	123,1	323,2
Egreso de pila	2	15,4	30,8
Maduración de pila clase A	0,5	31,5	15,8
Ensamblado de pila clase A	78	1,97	153,9
Ensamblado de pila clase B	20	7,7	153,9
TOTAL			708,5

Fuente: elaboración propia.

En el caso de la medición de parámetros, no es claro por qué requiere la cantidad de horas-hombre señalada. Esto es debido a que cada pila exige una distinta frecuencia de medición de parámetros dependiendo de la fase de compostaje en que se encuentre, lo cual hace que la necesidad de horas-hombres no sea directamente proporcional a la cantidad de pilas que se encuentren en la planta.

A continuación, se detalla el cálculo de horas-hombre para la etapa de medición de parámetros:

Tabla 16: Horas-hombre requeridas por medición de parámetros

Fase de compostaje	Duración [semanas]	Mediciones semanales por cada pila	Cantidad máxima de pilas en la fase de compostaje, simultáneamente	Horas-hombre requeridas semanalmente
Mesofílica	1	3	15,4	34,6
Termofílica	3	7	46,2	242,4
Mesofílica II	4	1	61,6	46,2
TOTAL				323,2

Fuente: elaboración propia.

Aclarado el punto anterior, se puede decir que si bien se necesitaría un total de 708,5 horas-hombre semanalmente para poder operar la planta, se considera una pérdida del 10% de las horas-hombre por concepto de ineficiencias productivas, con lo cual se calcula una necesidad semanal de 779 horas-hombre.

Considerando una jornada laboral de 8 horas-hombre por cada operario, se puede calcular que la necesidad de horas-hombre de la planta de compostaje puede ser suplida por una cantidad de 14 operarios.

ESTRUCTURA DE COSTOS

La estructura de costos es una forma de organizar los distintos gastos que involucra la operación del proyecto. Usualmente se distinguen dos categorías: costos fijos y costos variables. Los primeros corresponden a aquellos gastos que se generan aunque la producción esté detenida (por ejemplo pago de sueldos, arriendos de inmuebles, etcétera), y los segundos son aquellos que dependen de la cantidad de mercancía producida (por ejemplo, cada saco que se utilizará para envasar el compost).

Sin embargo, se distingue también la inversión inicial, que es aquella que debe realizarse para iniciar la producción misma, y que se realizan sólo una vez, al menos durante el horizonte del proyecto.

Estructura del Concedente

En el planteamiento del presente proyecto, y bajo el enfoque de la Unidad Estratégica de Negocios, se propone que el Concedente financie la totalidad de la inversión inicial de la planta de compostaje, a fin de cederla lista para ser operada por el Concesionario. Es importante decir que, una vez entregada la planta al Concesionario, este debe hacerse cargo de la renovación de los insumos y herramientas necesarias para la operación, a excepción de infraestructura y maquinaria, las cuales seguirán siendo propiedad del Concedente.

A cambio de la inversión inicial, el Concesionario pagaría un arriendo fijo al Concedente, por el valor de 0,12 UF anuales por metro cuadrado utilizado para el funcionamiento de la planta de compostaje. Además, se paga un *Fee* o tarifa, la cual es proporcional a los niveles de venta de compost. Se propone que el *Fee* inicial sea de un 10%.

Estos dos conceptos conformarían la totalidad de los ingresos percibidos por el Concedente, mientras que sus egresos corresponden a las inversiones que se realicen en el proyecto.

Inversión inicial

La inversión inicial del proyecto se puede dividir en aquella que se realiza en el Área de procesamiento de la materia orgánica, y aquella que se realiza en el Área Complementaria; pero también debe contemplar los gastos de preparación del proyecto.

En el Área de procesamiento de la materia orgánica, la inversión corresponde a la preparación del suelo para la producción de compost, tanto para la nivelación inicial que facilite la faena para los operarios, como para las medidas de resguardo del medio ambiente involucradas.

Tabla 17: Costo marginal de las inversiones en terreno

Inversión inicial Área de procesamiento de materia orgánica	Estimación del costo por m²
Remoción de 1 m ³ de tierra con maquinaria	\$780
Geomembrana de polietileno de alta densidad	\$650
Geotextil no tejido	\$560

Fuente: elaboración propia

En el Área Complementaria, la inversión inicial corresponde a la instalación de una pequeña oficina con un ambiente para los trabajadores, el comedor de los trabajadores, los baños, las duchas, la bodega de herramientas y la bodega del producto terminado. Además, el proyecto contempla una estructura de ventas, ya que los ingresos por venta de compost serán la fuente principal de flujos. Se cotizaron soluciones modulares de contenedores para las dependencias de los trabajadores, y galpones de fierro para las bodegas, con lo cual se aproximan las siguientes cifras:

Tabla 18: Inversión inicial en Área Complementaria

Inversión inicial de Área Complementaria	Costo aproximado
Oficina y espacio para trabajadores	\$5.140.000
Asfalte de camino de ingreso, superficie de estacionamientos y bodegas	\$19.490.193
Comedor trabajadores	\$5.140.000
Baños	\$1.720.000
Duchas	\$1.720.000
Bodega de herramientas	\$4.200.000
Bodega de producto terminado	\$86.641.142
Minicargador con pala frontal	\$30.000.000/u
Apiladora eléctrica para bodega	\$10.000.000
Termo solar para ducha	\$2.000.000

Fuente: elaboración propia.

Algunas de estas inversiones sí cuentan con vida útil que se puede utilizar en las depreciaciones del estado financiero, por lo que también cuentan como parte de los activos fijos.

De manera conjunta se pueden categorizar las inversiones iniciales en la siguiente tabla:

Tabla 19: Inversión inicial del proyecto

Inversión inicial	Costo aproximado
Trabajo sobre el terreno	\$31.617.994
Infraestructura	\$104.841.142
Maquinaria	\$40.000.000
Herramientas	\$9.634.479
Costos de preparación del proyecto	\$2.583.333
TOTAL INVERSIÓN INICIAL	\$188.676.948

Fuente: elaboración propia.

La inversión en activos fijos corresponde principalmente a las herramientas utilizadas en el proceso de compostaje y a los enseres necesarios para que los trabajadores desempeñen sus funciones en pleno ejercicio de sus derechos laborales.

Tabla 20: Inversión inicial en activos fijos

Activo	Costo unitario	Cantidad	Vida útil [años]
Chipeador	\$800.000	1	7
Generador de electricidad	\$400.000	1	7
Computador	\$300.000	2	10
Bomba de agua	\$300.000	1	7
Selladora de sacos	\$200.000	1	7
Balanza	\$100.000	1	7
Bomba de aire	\$50.000	10	7
Carretilla	\$35.000	5	5
Harnero	\$25.000	2	5
Termómetro	\$20.000	10	10
Chuzo	\$15.000	3	5
Tubos PVC	\$11.400	123	20
Pala	\$10.000	5	5
Martillo	\$5.000	5	5
Alicate	\$5.000	5	5
Nylon [m ²]	\$300	5.586	1
Muebles y enseres de oficina	\$600.000	1	10
Enseres de baño	\$600.000	1	5
Muebles y enseres de comedor	\$600.000	1	10
TOTAL	\$8.974.527		

Fuente: elaboración propia con datos de https://www.sii.cl/pagina/valores/bienes/bienes_f.htm

La estructura de costos del Concedente carece de costos fijos y variables, ya que deriva la operación de la planta completamente al Concesionario.

Estructura del Concesionario

El Concedente es la figura que se hace cargo de la totalidad de las inversiones iniciales del proyecto, por lo que virtualmente el Concesionario no necesita invertir capital para comenzar a operar la planta de compostaje.

Sin embargo, el Concesionario sí tiene la responsabilidad de pagar los sueldos desde el inicio de las operaciones, y también debe renovar los insumos y herramientas que el Concedente brinda en un principio. Son estos egresos, junto al costo de arriendo, el Fee de producción, y los costos variables, los que conforman los costos del Concesionario.

Por otro lado, sus ingresos corresponden a los volúmenes de venta de compost, y al dinero que se recibe por disposición final de residuos.

Costos fijos

Los costos fijos del Concesionario se dividen principalmente en dos secciones: los sueldos correspondientes al personal que opere la planta, y el arriendo por uso del suelo al Concedente. Además, el Concesionario debe renovar los insumos y herramientas que entrega el Concedente en el primer período, y que están discutidos en la estructura de costos del Concedente.

Se considera que los sueldos forman parte de los costos fijos ya que corresponden a egresos financieros que se llevarán a cabo independientemente del nivel de producción dentro de la jornada laboral.

Los costos fijos con vida útil corresponden a las herramientas utilizadas en el proceso de compostaje, las cuales se especifican en la estructura de costo del Concedente.

Es deseable que todas las fuentes de energía migren hacia fuentes no contaminantes, aprovechando el parque solar del Proyecto académico Laguna Carén; sin embargo no se cuenta con información técnica al respecto por lo que se opta por no contemplarlo dentro del análisis.

Arriendo del terreno

El Concedente cobra 0,12 UF por metro cuadrado necesario para la operación de la planta de compostaje. Al escogerse la tecnología de Pilas Estáticas con Aireamiento Forzado según el análisis cualitativo, se condiciona a una utilización de 16.110 m², lo que hace que el monto por arriendo del terreno ascienda a \$58.037.340 al año (valor de la UF CLP\$30.021).

Sueldos

Se considera la contratación de 1 supervisor de la planta, 2 obreros calificados para el manejo de la maquinaria, 1 persona a cargo de la estructura de ventas, 1 persona a cargo de los quehaceres administrativos del proyecto, y una cantidad de 14 obreros no calificados.

Si se considera un sueldo de \$430.000 para cada operario no calificado, \$1.000.000 para el supervisor, \$500.000 para el vendedor, \$500.000 para un trabajador administrativo y \$600.000 para los operarios calificados que controlarían la maquinaria, se incurre en un costo mensual de \$9.183.942 por concepto de sueldos.

Costos variables

Los costos variables del proyecto corresponden fundamentalmente al uso de agua para las pilas de compost, al costo de las tiras de pH para medir este parámetro, y finalmente a los sacos que serán utilizados para ensacar el producto.

El producto final a comercializar son sacos de 25 kg, por lo que, a pesar de que tanto el agua como las tiras de pH se utilizan por pila de compost, se hace una estimación para poder asignar los costos variables en torno al formato de producto a comercializar.

Se estima que, durante todo el proceso, se podría utilizar 1 litro de agua por kilogramo de compost en pila. A un precio de \$1,5 por litro de agua, se calcula que cada saco de compost (25 kg) tendrá un gasto de \$39 en agua.

El valor de cada tira de pH es de \$17, y asumiendo que se utilizan 40 tiras de pH en todo el proceso por cada pila de compost, la cual aporta con 3.000 kg de compost y se puede calcular que cada saco de compost producido conlleva un gasto de \$8 por medición del pH.

Por último, cada saco de compost necesita 1 saco vacío en el cual contenerse, el cual puede alcanzar un costo de \$200 c/u.

Finalmente, se puede decir que cada saco de compost tiene un costo variable asociado de aproximadamente \$240.

Capital de trabajo

Para conocer la solvencia económica con la que debe contar el Concesionario, en vez de definir el capital de trabajo como los activos corrientes menos los pasivos corrientes en un punto dado, se definirá como la cantidad de capital con la que se debe contar para asegurar la estabilidad del proyecto.

Considerando que los únicos costos en los que deberá incurrir el Concesionario, en caso de mantener la producción paralizada, son los relacionados a los sueldos y al arriendo del terreno, el Capital de Trabajo del Concesionario se definirá como $Capital\ de\ trabajo = Costo_{sueldos} + Costo_{arriendo}$.

Aplicando el caso de estudio escogido en el análisis cualitativo de la tecnología para la planta, se puede determinar el Capital de Trabajo anual.

$$Capital\ de\ trabajo = \$126.906.680 + \$58.037.340 = \$184.944.020$$

ELECCIÓN CUANTITATIVA DE LA TECNOLOGÍA PARA EL PROYECTO

Con los aspectos productivos más relevantes ya declarados, se permite dar paso a un análisis cuantitativo que soporte la elección de la tecnología, lo cual ya fue discutido, pero sólo cualitativamente, en la sección [ELECCIÓN CUALITATIVA DE LA TECNOLOGÍA PARA EL PROYECTO](#).

Se analiza el VAN de proyecto de las 3 tecnologías candidatas, tomando el mismo caso base de nivel de producción. El nivel de producción carece de un incremento, es decir, el caso base considera el mismo nivel productivo durante todo el horizonte del proyecto, lo cual no distorsiona los resultados relativos entre tecnologías.

Se construye un modelo de flujo anual del proyecto, basado en la Ilustración 1 de la "Metodología General de identificación, preparación y evaluación de proyectos de inversión pública" (2005), el cual se utiliza para la proyección de flujos, y calcular el VAN final. Dicho modelo se muestra a continuación:

Ilustración 32: Modelo del flujo del proyecto utilizado

INGRESOS	
Ventas compost	1
Comisiones por ventas	2
Disposición final de residuos	3
TOTAL INGRESOS	4=1-2+3
EGRESOS	
Costos fijos	
Sueldos	5
Arriendo espacio, dependencias y maquinaria	6
Depreciaciones de bienes de uso concedente	A
Depreciaciones de bienes de uso concesionario	7
Costos energéticos	8
Materiales y herramientas	9
Costos variables	
Agua y tiras de pH	10
Fee producción	11
TOTAL EGRESOS	12=5+6+7+8+9+10+11
Resultado antes de impuestos concedente	E=6+11-A-B-C-D
Resultado antes de impuestos concesionario	13=4-12
Impuesto a la renta concedente	F=E x 0,27
Impuesto a la renta concesionario	14=13 x 0,27
Resultado después de impuestos concedente	G=E-F
Resultado después de impuestos concesionario	15=13-14
INVERSIONES	
Inversiones en terreno	B
Inversiones en activos fijos	C
Costos de preparación del proyecto	D
TOTAL INVERSIONES	H=B+C+D
Depreciaciones de bienes de uso concedente	A
Depreciaciones de bienes de uso concesionario	7
FLUJO DEL CONCEDENTE	I=G+A
FLUJO DEL CONCESIONARIO	16=15+7

Fuente: elaboración propia en base a referencias de Ortegón et. Al, (2005)

Las filas azuladas corresponden a los flujos que atañen exclusivamente al "Concedente".

Los ingresos del Concedente consisten en el arriendo anual de la superficie en la que se emplaza el proyecto, y en un "Fee" o tarifa proporcional al nivel de producción de la planta de compostaje, el cual se calcula como un 10% del monto de la venta de compost. Mientras que los ingresos del Concesionario son determinados por la venta de compost y por el cobro realizado por conceptos de disposición final de residuos.

De esta manera, se construye el VAN para el Concedente y el Concesionario, considerando las 3 tecnologías candidatas al proyecto. Se considera la Tasa Social de Descuento, la cual tiene un valor de un 6% para el 2021 (SNI, 2021).

Tabla 21: Flujos y VAN del Concedente en cada tecnología de compostaje

Período	Flujo del Concedente con Volteo Mecanizado	Flujo del Concedente con Aireación Pasiva	Flujo del Concedente con Aireación Forzada
0 (inversión inicial)	\$-257.725.837	\$-240.959.233	\$-188.676.948
1	\$111.875.505	\$193.276.055	\$84.042.185
2	\$111.875.505	\$165.358.764	\$84.042.185
3	\$111.875.505	\$145.771.494	\$80.949.476
4	\$88.946.109	\$145.771.494	\$65.950.559
5	\$88.544.931	\$145.771.494	\$65.950.559
6	\$88.458.801	\$145.685.364	\$65.864.429
7	\$88.431.801	\$145.658.364	\$65.837.429
8	\$11.875.505	\$145.588.935	\$36.548.714
9	\$78.934.916	\$145.588.935	\$65.748.714
10	\$88.362.372	\$145.588.935	\$65.748.714
Valor residual en Horizonte de proyecto	\$58.342.857	\$24.057.143	\$24.057.143
VAN en Horizonte de proyecto	\$435.202.188,6	\$907.152.766,2	\$337.894.576,2
VAN con renovación del proyecto (20 años)	\$687.101.618,4	\$1.493.847.504,5	\$527.007.121,3

Fuente: elaboración propia.

Se observa que, para el Concedente, conviene renovar el proyecto más allá del horizonte del proyecto, pues el VAN es mayor. Luego, se realiza un análisis homólogo, pero esta vez para el Concesionario.

Tabla 22: Flujos y VAN del Concesionario en cada tecnología de compostaje

Período	Flujo del Concesionario con Volteo Mecanizado	Flujo del Concesionario con Aireación Pasiva	Flujo del Concesionario con Aireación Forzada
0 (inversión inicial)	\$0	\$0	\$0
1	\$9.085.901	\$-65.587.971	\$52.614.489
2	\$7.711.141	\$-73.117.005	\$51.843.660
3	\$7.711.141	\$-73.117.005	\$51.843.660
4	\$7.711.141	\$-73.117.005	\$51.843.660
5	\$7.711.141	\$-73.117.005	\$51.843.660
6	\$6.632.921	\$-74.712.005	\$50.765.440
7	\$7.386.271	\$-73.717.005	\$51.518.790
8	\$6.579.699	\$-74.917.005	\$50.366.505
9	\$7.893.699	\$-73.117.005	\$52.045.505
10	\$7.893.699	\$-73.117.005	\$52.045.505
VAN en Horizonte de proyecto	\$56.575.566,7	\$-533.697.447,9	\$380.630.284,2
VAN con renovación del proyecto (20 años)	\$86.664.227,0	\$ -837.632.495,6	\$ 592.023.240,6

Fuente: elaboración propia

Se observa que, para el Concesionario, la opción de la Pilas Estática con Aireación Pasiva sólo entrega flujos negativos, y que la opción de Pila Estática con Aireación Forzada ofrece el VAN más atractivo.

Para realizar un análisis comparativo entre Concedente y Concesionario, se visualizan sus respectivos VAN en cada una de las tecnologías, para el horizonte de proyecto de 10 años.

Tabla 23: VAN del Concedente y Concesionario en cada tecnología de compostaje

Tecnología	VAN Concedente	VAN Concesionario	VAN Concedente + VAN Concesionario
Volteo Mecanizado	\$435.202.188,6	\$56.575.566,7	\$491.777.755,3
Pila Estática con Aireación Pasiva	\$907.152.766,2	\$-533.697.447,9	\$373.455.318,3
Pilas Estática con Aireación Forzada	\$337.894.576,2	\$380.630.284,2	\$718.524.860,4

Fuente: elaboración propia.

Se observa que, si bien el VAN del concedente es mayor con la técnica de Pilas con aireamiento pasivo, esta opción es inviable ya que el Concesionario registra un VAN negativo. Esto se debe a que, como se indicó en la [ELECCIÓN CUALITATIVA DE LA TECNOLOGÍA PARA EL PROYECTO](#), la técnica en cuestión requiere de un uso de espacio muy superior a las otras técnicas evaluadas, por lo que el Concedente percibiría un alto ingreso por concepto de arriendo del espacio, monto por el cual la operación del Concesionario se vuelve inviable económicamente.

Una vez descartada la opción económicamente inviable, teniendo en cuenta el análisis cualitativo de las técnicas, y haciendo énfasis en que el presente proyecto se lleva a cabo en el contexto de un plan mayor que contempla muchos otros proyectos más, se puede aducir que si bien la técnica de Volteo Mecanizado ofrece una mayor rentabilidad para el Concedente, esta exige un uso del suelo mayor, por lo que este factor podría ser una limitante para la planificación del Proyecto académico Parque Laguna Carén.

Además, la técnica de Volteo Mecanizado no ofrece control sobre algunos parámetros internos que condicionan la generación de malos olores en la planta de compostaje, lo que también podría conformar una amenaza para el normal funcionamiento del proyecto.

Al observar la generación conjunta de valor capital por parte de Concedente y Concesionario, se puede notar que la técnica de compostaje que ofrece un mayor valor conjunto del proyecto (VAN Concesionario + VAN Concedente) es la de la Pila Estática con Aireación Forzada, además de generar un mayor control sobre los factores que determinan la estabilidad del proceso productivo y sobre la posible generación de malos olores en el lugar, y también minimiza el espacio requerido para la operación de la planta de compostaje.

Así, teniendo un enfoque que es capaz de compartir el valor generado por el proyecto entre todas las partes involucradas, tomando en cuenta las comparaciones tanto cualitativas como cuantitativas, y buscando que la planta de compostaje se encuentre alineada con el propósito mayor del Proyecto académico Parque Laguna Carén, es que se decide que la tecnología utilizada para la planta de compostaje debería ser la de las Pilas con aireamiento forzado.

ÍNDICES DE RENTABILIDAD DEL PROYECTO

Habiendo escogido la tecnología más rentable para el proyecto, se procede a proyectar los flujos tanto del Concedente como del Concesionario. Sin embargo, para esgrimir los resultados finales, sí se considera un incremento en la producción de la planta.

Incremento de la producción

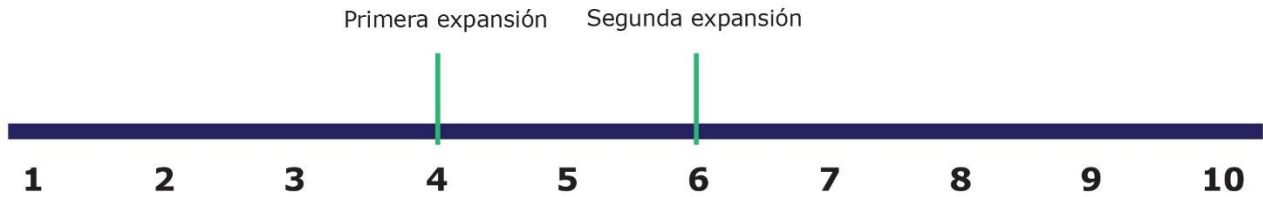
Se consideran dos expansiones de la capacidad productiva, cada una de las cuales aumenta la producción en un 50% de su capacidad inicial, cerrando el horizonte del proyecto con el doble de la capacidad productiva inicial. Vale decir que no se consideran más expansiones de manera que el proyecto logre percibir un aumento significativo de su VAN antes de finalizar el Horizonte del Proyecto.

La primera de estas expansiones se lleva a cabo antes de finalizar el cuarto período del proyecto, permitiendo realizar la inversión a la vez que se conserva el Capital de Trabajo con el fin de asegurar la solvencia económica del proyecto en caso de que cualquier riesgo obligue a detener la producción parcial o totalmente.

El financiamiento de esta inversión es ejecutado por el Concedente, momento en el cual se eleva el Fee de Producción a un 20%, es decir, desde la expansión de la capacidad productiva, el Concesionario comienza a tributar al Concedente el 20% de sus ingresos por concepto de venta de compost, además del costo fijo por arriendo del terreno.

La segunda expansión en la capacidad productiva se lleva a cabo antes de finalizar el sexto período de funcionamiento, implicando una mayor inversión en infraestructura y maquinaria debido al crecimiento de la cantidad de trabajadores. Esta inversión también es financiada por el Concedente, e implica la duplicación de la fuerza productiva inicial, y un alza del Fee de Producción a un 25%. Con estas cifras el volumen de ventas de la planta alcanza los 548 millones de pesos anuales.

Ilustración 33: Expansión en la capacidad de producción del proyecto



Fuente: elaboración propia.

Debido a que hay restricciones de crecimiento por la naturaleza de la ubicación de la planta, no se toma en cuenta una expansión de la capacidad productiva una vez que se cumple el horizonte del proyecto.

Parámetros de producción

Se presentan los parámetros más relevantes en la construcción del VAN.

Tabla 24: Parámetros de producción del caso de estudio

Parámetro	Valor inicial	Valor primera expansión	Valor segunda expansión
Horizonte del proyecto	10 años	-	-
Tasa de descuento	6%	-	-
Cantidad de operarios	14	21	28
Sueldo operarios	\$530.000	-	-
Superficie utilizada por la planta	16.111 m ²	19.190 m ²	22.268 m ²
Valor arriendo /m2	0,12 UF	-	-
Costo arriendo	\$58.037.340	\$69.128.030	\$80.218.720
Ingreso por venta de compost	\$274.495.584	\$411.743.376	\$548.991.168
Fee producción	15%	20%	25%

Fuente: elaboración propia

Se escoge un nivel de sueldo bruto de operarios de \$530.000, ya que ese es el monto que el empleador tendría que pagar para que el operario perciba un ingreso equivalente a la línea de la pobreza para un hogar de 4 personas.

RESULTADOS

Bajo el escenario base, con los parámetros de producción bien definidos, se muestran los índices de rentabilidad del proyecto para cada uno de los actores del proyecto.

Tabla 25: Índices de rentabilidad de Concedente y Concesionario

Actor	VAN horizonte de proyecto	VAN 20 años	Período de repago	TIR
Concedente	\$641.623.790,5	\$1.200.824.523,0	Año 2	49,2%
Concesionario	\$309.265.113,1	\$521.851.179,3	-	-

Fuente: elaboración propia

Si bien no se proyecta otra alza de la capacidad productiva, es útil saber qué consecuencias tendría para la planta, a fin de teorizar acerca del aumento en la capacidad productiva de la planta de compostaje.

Tabla 26: Efectos de una expansión de producción del 50% de la capacidad inicial

Factor del proyecto	Alza de producción 50%	Cambio porcentual
Ventas anuales compost	+\$130.024.224	+50%
Cantidad de trabajadores	+7	+50%
Sueldos anuales	+\$63.453.340	+50%
Inversión en terreno	+\$6.126.525	+23%
Infraestructura	+\$32.166.984	+48%
Herramientas y maquinaria	+\$17.312.746	+35%
Superficie necesaria	+3.422,47 m ²	+21%
Costo arriendo	+\$11.090.690	+19%

Fuente: elaboración propia

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

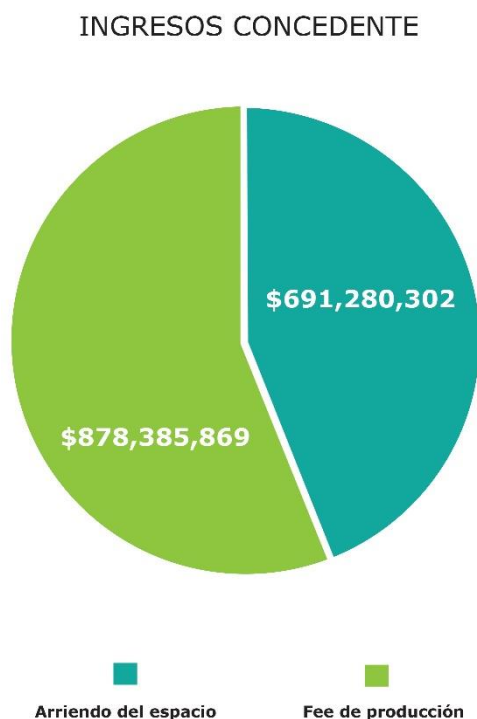
Para medir la variación que tendría la rentabilidad del proyecto ante distintas perturbaciones de factores importantes como el precio del producto, se simulan los índices de rentabilidad del proyecto considerando distintos escenarios. Esta práctica busca cuantificar la sensibilidad del proyecto ante variables internas o externas.

Para visualizar la importancia de cada flujo, se grafican los ingresos y egresos que percibirían tanto el Concedente como el Concesionario. Vale decir que el caso base contempla 13 operarios no calificados con sueldo de \$350.000 cada uno, y la estructura de expansión del nivel productivo que se describe en la sección anterior.

Sensibilidad del Concedente

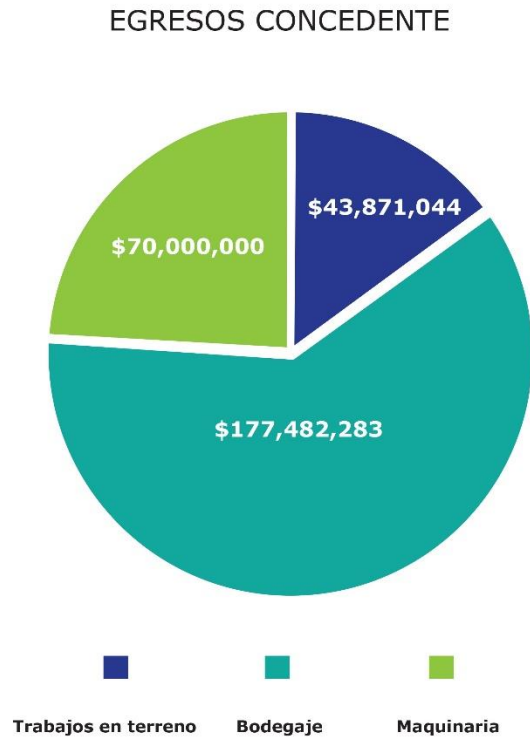
A continuación, se muestran gráficos con los ítems más relevantes correspondientes a los ingresos y los egresos del Concedente, sumados hasta el horizonte del proyecto.

Ilustración 34: Gráfico de Ingresos del Concedente en todo el horizonte de proyecto



Fuente: elaboración propia.

Ilustración 35: Gráfico de Egresos del Concedente en todo el horizonte del proyecto



Fuente: elaboración propia.

Al notar los flujos en cada una de las categorías de ingresos, se observa que ambas son relevantes para el proyecto, por lo que vale la pena evaluar la sensibilidad de la rentabilidad con variaciones en la cantidad de espacio que utiliza la planta, y con variaciones en el precio de cada saco de compost, pues estos financian el Fee de producción percibido por el Concedente.

En cuanto a los egresos, más de la mitad de ellos están destinados a la construcción de las bodegas que almacenan el producto. Vale recordar que el proyecto contempla el espacio necesario para almacenar, como máximo, el 90% de la producción anual, por lo que vale la pena evaluar las fluctuaciones en el nivel máximo de almacenaje de la planta.

Sensibilidad del precio del saco de compost

Se evalúan los índices de rentabilidad con 3 casos de distorsión del precio base del saco de compost.

Tabla 27: Sensibilidad del Concedente al Precio del saco de compost

Caso	Precio saco	Variación precio	VAN horizonte de proyecto	Variación porcentual del VAN	Período de repago	TIR
Muy pesimista	\$1.500	-50%	\$420.893.574,1	-34,4%	Año 3	37,7%
Pesimista	\$2.400	-20%	\$554.042.318	-13,6%	Año 3	44,8%
Base	\$3.000	-	\$641.623.790,5	-	Año 2	49,2%
Optimista	\$3.600	+20%	\$729.205.263	+13,6%	Año 2	53,5%

Fuente: elaboración propia.

Se observa que la elasticidad del VAN en relación al precio del saco de compost es de 0,69. Es decir, por cada punto porcentual de variación del precio del saco de compost, el VAN varía en 0,69 puntos porcentuales.

Sensibilidad de la superficie necesaria para el funcionamiento de la planta

Se evalúan los índices de rentabilidad con 3 casos de distorsión de la superficie necesaria para el funcionamiento de la planta.

Tabla 28: Sensibilidad del Concedente a la Superficie necesaria para la planta

Caso	Superficie inicial necesaria	Variación Superficie	Ingreso por arriendo del terreno	Variación porcentual	VAN horizonte de proyecto	Variación porcentual del VAN	Período de repago	TIR
Muy pesimista	19.333	+20%	\$69.644.808	+20%	\$704.472.253	+9,8%	Año 2	54,2%
Pesimista	17.722	+10%	\$63.841.074	+10%	\$673.048.022	+4,9%	Año 2	51,7%
Base	16.111 m ²	-	\$58.037.340	-	\$641.623.790	-	Año 2	49,2%
Optimista	13.694	-15%	\$49.331.739	-15%	\$594.487.443	-7,3%	Año 3	45,6%

Fuente: elaboración propia.

Se observa que, por cada punto porcentual de variación del ingreso por arriendo del terreno, el VAN varía en 0,49 puntos porcentuales.

Sensibilidad del nivel del almacenamiento de sacos de compost

Se evalúan los índices de rentabilidad con 3 casos de distorsión del nivel de almacenamiento de sacos de compost.

Tabla 29: Sensibilidad del Concedente al nivel de almacenamiento de sacos de compost

Caso	Porcentaje de sacos anuales que se almacenan simultáneamente	Variación porcentual	VAN horizonte de proyecto	Variación porcentual del VAN	Período de repago	TIR
Pesimista	115%	+25%	\$617.363.053	-3,8%	Año 3	43,1%
Base	90%	-	\$641.623.790	-	Año 2	49,2%
Optimista	75%	-15%	\$656.180.233	+2,3%	Año 2	53,8%
Muy optimista	50%	-40%	\$680.094.790	+6,0	Año 2	63,3%

Fuente: elaboración propia.

Se observa que, por cada punto porcentual de variación del porcentaje de almacenamiento simultáneo, el VAN varía en -0,15 puntos porcentuales.

Elasticidades del Concedente

Luego de evaluar las distintas sensibilidades, se da cuenta de que el Concedente es relativamente insensible a las variaciones de los factores productivos estudiados. Este resultado es posible ya que la estructura de costos del Concedente se enfoca en inversiones que se realizan sólo una vez, mientras que gran parte de sus ingresos son percibidos de forma estable debido al costo de arriendo del Concesionario.

Tabla 30: Elasticidades del Concedente

Factor sensible	Elasticidad del VAN del Concedente
Precio del saco de compost	0,69
Ingreso por costo de arriendo	0,49
Egreso por costo de bodega	-0,15

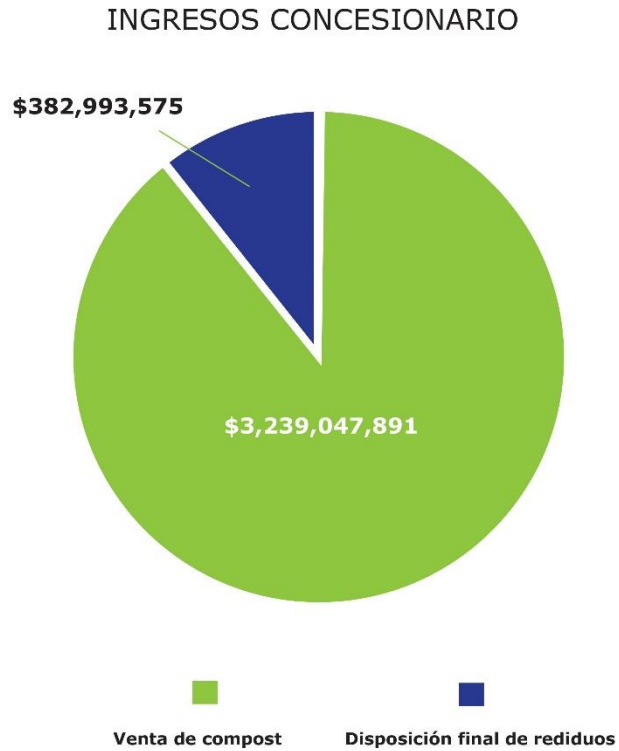
Fuente: elaboración propia.

En conclusión, se puede decir que el Concedente es poco sensible a las perturbaciones de los factores productivos más relevantes.

Sensibilidad del Concesionario

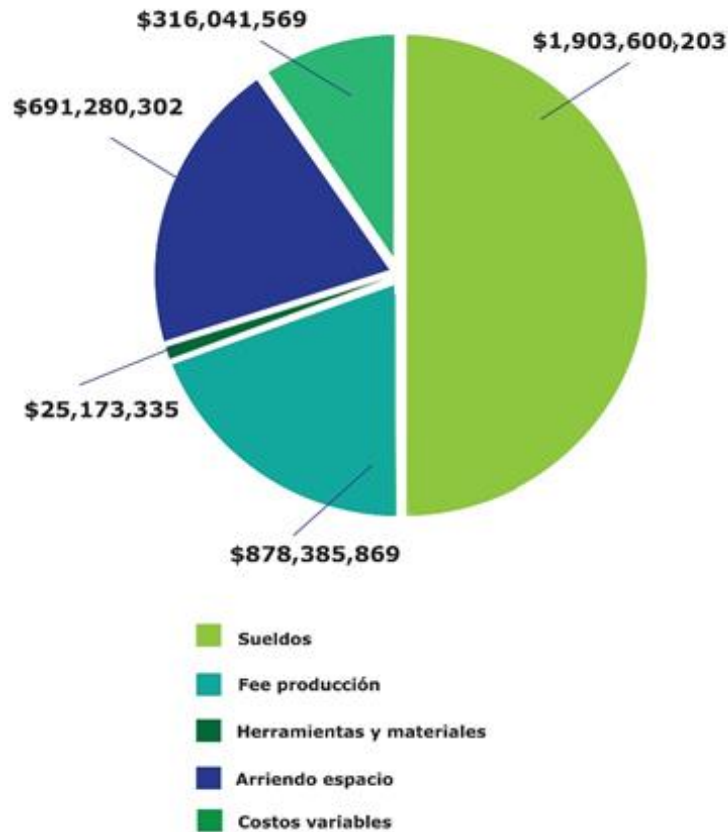
A continuación, se muestran gráficos con los ítems más relevantes correspondientes a los ingresos y los egresos del Concesionario sumados durante el horizonte del proyecto.

Ilustración 36: Gráfico de Ingresos del Concesionario en todo el horizonte del proyecto



Fuente: elaboración propia.

Ilustración 37: Gráfico de Egresos del Concesionario en todo el horizonte del proyecto



Fuente: elaboración propia.

Se observa que el ítem más relevante en los ingresos del Concesionario es el de la venta directa de compost, por lo que es relevante también evaluar la sensibilidad del precio del saco de compost, pues es lo que condiciona los ingresos por ventas.

En cuanto a los egresos del Concesionario, se observa que la mayor parte de estos se destinan a los sueldos de los trabajadores; en segundo lugar, aparecen relevantes los montos del Fee de producción cobrado por el Concedente, y el tercer egreso más relevante corresponde al costo por arriendo del espacio, el cual también es cobrado por el Concedente. Así, cabe notar la importancia de estudiar la sensibilidad del costo de sueldos, el precio de saco de compost que condiciona el Fee de producción, y el espacio necesario para la operación de la planta, ya que estos 3 factores tienen una gran incidencia para las finanzas del Concesionario.

Sensibilidad del costo por sueldos

Se evalúan los índices de rentabilidad con 2 casos de distorsión de la cantidad de operarios necesarios, para 3 niveles de sueldos.

Tabla 31: Sensibilidad del Concesionario al Costo de sueldos

Caso	Sueldo operarios inicial anual	Cantidad operarios iniciales	Costo sueldos inicial	Variación porcentual	VAN 10 años	Variación porcentual
Sueldo alto con aumento de operarios	\$530.000	19	\$158.706.680	+25,1%	\$64.845.856	-79,0%
Sueldo medio con aumento de operarios	\$430.000	19	\$136.007.307	+23,4%	\$239.316.423	-45,3%
Sueldo alto sin aumento de operarios	\$530.000	14	\$126.906.680	-	\$309.265.113	-
Sueldo medio sin aumento de operarios	\$430.000	14	\$110.207.307	-	\$437.618.840	-
Sueldo bajo con aumento de operarios	\$350.000	19	\$117.847.808	+21,7%	\$378.892.877	-29,9%
Sueldo bajo sin aumento de operarios	\$350.000	14	\$96.847.808	-	\$540.301.821	-
Sueldo alto con reducción de operarios	\$530.000	11	\$107.826.680	-15,0%	\$455.916.668	+47,4%
Sueldo medio con reducción de operarios	\$430.000	11	\$94.727.307	-14,0%	\$556.600.289	+27,2%
Sueldo bajo con reducción de operarios	\$350.000	11	\$84.247.808	-9,9%	\$637.147.187	+17,9%

Fuente: elaboración propia.

Al agrupar los datos según el sueldo pagado, y tomando como caso base la cantidad de trabajadores igual a 13, se observa que cuando el sueldo de cada

operario es de \$350.000, por cada punto porcentual de variación del costo en sueldo, el VAN varía en -1,37 puntos porcentuales, mientras que cuando el sueldo es de \$430.000, por cada punto porcentual de variación en el costo de sueldos, el VAN varía en -1,94 puntos porcentuales; y cuando el sueldo es de \$530.000, por cada punto porcentual en la variación del costo de sueldo, el VAN varía en -3,15 puntos porcentuales. Es decir, mientras más alto es el sueldo, el VAN es más sensible al costo de sueldos. Y en general, se puede decir que, en cualquier nivel de sueldos, el VAN sí es sensible al costo de sueldos.

Al comparar las sensibilidades de cada nivel de sueldos, se puede generalizar que, por cada punto porcentual de variación en el nivel de sueldos entre \$350.00 y \$430.000, la propia elasticidad del VAN con respecto al coste de sueldos es de 1,14 puntos porcentuales; mientras que entre \$430.000 y \$530.000, por cada punto porcentual de variación en el nivel de sueldos hace variar la elasticidad del VAN con respecto al costo de sueldos en 1,32 puntos porcentuales. Es decir, a mayor nivel de sueldos, la elasticidad del VAN con respecto al costo de sueldos, aumenta.

La elección del alza del sueldo de operarios no calificados a \$430.000 no es azarosa. Este sueldo corresponde al monto que permite mantenerse sobre la línea de la pobreza, considerando un hogar de 4 personas (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2019).

Sensibilidad del precio del saco de compost

Se plantean los mismos escenarios que en el análisis del precio del saco de compost para el Concedente.

Tabla 32: Sensibilidad del Concesionario al Precio del saco de compost

Caso	Precio saco	Variación precio	VAN horizonte de proyecto	Variación porcentual del VAN
Muy pesimista	\$1.500	-50%	\$-520.169.708	-268,2%
Pesimista	\$2.400	-20%	\$-22.508.815	-107,2%
Base	\$3.000	-	\$309.265.113	-
Optimista	\$3.600	+20%	\$641.039.041	+107,2%

Fuente: elaboración propia

Se observa que, por cada punto porcentual de variación en el porcentaje de almacenamiento del producto, el VAN varía en 5,36 puntos porcentuales.

Sensibilidad de la superficie necesaria para el funcionamiento de la planta

Se evalúan los índices de rentabilidad con 3 casos de distorsión de la cantidad de superficie necesaria para el funcionamiento de la planta.

Tabla 33: Sensibilidad del Concesionario a la Superficie necesaria para la planta

Caso	Superficie inicial necesaria	Variación Superficie	Egreso por arriendo del terreno	Variación porcentual	VAN horizonte de proyecto	Variación porcentual del VAN
Muy pesimista	19.333	+20%	\$69.644.808	+20%	\$246.899.771	-20,1%
Pesimista	17.722	+10%	\$63.841.074	+10%	\$278.082.442	-10,1%
Base	16.111	-	\$58.037.340	-	\$309.265.113	-
Optimista	13.694	-15%	\$49.331.739	-15%	\$356.039.120	+15,1%

Fuente: elaboración propia.

Se observa que, por cada punto porcentual de variación en la superficie necesaria para el funcionamiento de la planta, el VAN varía en -1,01 puntos porcentuales.

Elasticidades del Concesionario

Al evaluar las sensibilidades del Concesionario con respecto a los factores productivos estudiados, se observa que el Concesionario es muy sensible al precio del saco de compost, lo cual se puede explicar debido a que la venta del producto compone casi la totalidad de sus ingresos. También se observa una considerable sensibilidad al costo de sueldos pagados, lo cual se puede explicar debido a que el egreso más importante del Concesionario es el costo de los sueldos pagados. Finalmente, se puede decir que el Concesionario es relativamente sensible a los egresos por costo de arriendo, lo cual se explica por la estructura misma de los egresos.

Tabla 34: Elasticidades del Concesionario

Factor sensible	Elasticidad del VAN del Concedente
Costo de sueldos con sueldo base de \$350.000	-1,37
Costo de sueldos con sueldo base de \$430.000	-1,94
Costo de sueldos con sueldo base de \$530.000	-3,15
Precio del saco de compost	5,36
Egreso por costo de arriendo	-1,01

Fuente: elaboración propia.

En conclusión, se puede decir que el Concesionario es altamente sensible en las perturbaciones de los factores productivos relacionados a sus ingresos, y, aunque en menor medida, también presenta una considerable sensibilidad a los factores que determinan su costo de arriendo y costo de sueldos.

PILOTO DEL PROYECTO

Al tratarse de una faena dependiente de las características bióticas y, especialmente microbiológicas del lugar, y además de sus características meteorológicas, es que el proceso productivo de compostaje presenta un nivel de incerteza debido a que la literatura existente respecto al tema se basa en ensayos de laboratorio o en la experiencia empírica registrada en otras latitudes del mundo.

Es por estas razones que un diseño piloto del proyecto, el cual avance gradualmente hasta garantizar un producto que se rija por la normal chilena del compost y que sea capaz de recibir todos los recursos de las ferias libres de la comuna de Pudahuel, es conveniente para una mejor estimación de los costos de operación de la planta de compostaje.

El paso a paso del plan piloto sería marcado por dos hitos del producto: el punto en que la primera partida de materia orgánica se convierte en compost Clase B, y el punto en que esa misma partida se convertiría en Compost Clase A. Vale recordar que la literatura sugiere una demora de 8 semanas hasta alcanzar el punto de compost Clase B, y 16 semanas más para el punto del compost Clase A.

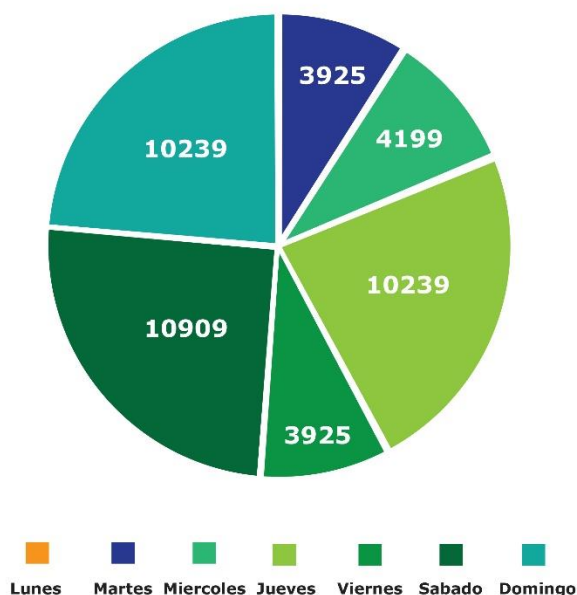
Así, se propone un nivel de producción inicial equivalente a un cuarto de la producción máxima (recibiendo todos los residuos de las ferias) hasta la semana 16 desde iniciadas las faenas. Se proponen 16 semanas ya que esta cantidad de semanas permitiría a la planta procesar dos partidas de compost clase B con metodologías distintas, es decir, se produciría la primera partida de compost con la información que se tiene ex ante, y la segunda se produciría con la información adicional que brinda la retroalimentación del proceso de la primera partida.

De forma homóloga, se proponen 16 semanas más para depurar el proceso del compost Clase A, esta vez recibiendo otro cuarto de la producción de desechos de ferias.

Vale decir que los niveles producidos propuestos buscan adaptarse a la estacionalidad en la producción de residuos de las ferias, la cual se puede aproximar según los metros lineales recorridos por cada día de la semana. Es notable que la mitad de la producción se produce durante el fin de semana, mientras que un cuarto se produce el día jueves, y cerca de un doceavo se produce los días martes, miércoles y viernes; los días lunes las ferias libres no funcionan.

Ilustración 5: Metros lineales recorridos por día de feria

TOTAL METROS LINEALES POR DIA



Fuente: elaboración propia en base a datos de la licitación pública ID 2277-61-LR19

De esta manera, al término del octavo mes de funcionamiento se estaría procesando aproximadamente la mitad de los desechos totales de las ferias, los cuales se recogen dentro de martes a viernes.

Una vez que se logren certificar, a través de laboratorios, la calidad del compost, se puede tener la seguridad de que no habrían problemas en el diseño de producción a un 100% de capacidad.

Vale decir que el efecto del plan piloto tiene un efecto despreciable en los índices de rentabilidad del proyecto, ya que sólo disminuiría en un tercio el volumen de producción del primer año, así como también sus costos variables y costo de sueldos. Con lo cual, en el horizonte del proyecto, el VAN del Concedente sería de \$631.787.254,7 y el del Concesionario sería de \$288.728.071,2.

ESTADO DEL ARTE DEL SECTOR

Demanda del sector

Según cifras del SII (2021), el año 2019 la industria agrícola en Chile registró ventas por un valor de 569.899.877 UF, lo cual, según el valor de la unidad de fomento a la fecha del 1 de diciembre de dicho año, se traduce a CLP\$ 16.088.176.632.592 (dieciséis billones ochenta y ocho mil ciento setenta y seis millones seis cientos treinta y dos mil quinientos noventa y dos pesos chilenos). Mientras que los datos de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (2019) indican que, de las potenciales 31.635.041 hectáreas potenciales de cultivo, a fecha de 2009 sólo se utilizaban 2.123.943 hectáreas para el cultivo anual y permanente. La distribución geográfica por región se visualiza en la siguiente tabla:

Tabla 35: Superficie utilizada en cultivos por región

Región	Superficie utilizada para cultivos anuales y permanentes [ha]	Porcentaje de la superficie total
Arica y Parinacota	10.891	0,5%
Tarapacá	7.210	0,3%
Antofagasta	3.071	0,1%
Atacama	29.150	1,4%
Coquimbo	231.832	10,9%
Valparaíso	121.189	5,7%
Metropolitana	155.488	7,3%
O'Higgins	259.896	12,2%
Maule	326.431	15,4%
Ñuble y Biobío	343.452	16,1%
La Araucanía	362.363	17,1%
Los Ríos	104.347	4,9%
Los Lagos	113.370	5,3%
Aysén	17.968	0,8%
Magallanes	37.285	1,8%
TOTAL	2.123.943	100%

Fuente: elaboración propia con datos de ODEPA (2019)

Por dar un ejemplo para dimensionar la participación de la planta de compostaje en la industria, si la totalidad de residuos orgánicos de todas las ferias libres de la comuna de Pudahuel se utilizaran en la fertilización anual de hortalizas (5 kg/m²), la producción anual de la planta de compostaje alcanzaría a cubrir 48 hectáreas de cultivo, lo cual corresponde al 0,0003% de la superficie cultivada sólo en la Región Metropolitana. Estas cifras dan cuenta del gran mercado existente para los fertilizantes en Chile, y dan indicios del bajo nivel de dificultad al que se podría enfrentar la planta para penetrar en el mercado.

Según ODEPA (2019), más del 70% de los predios silvoagropecuarios en Chile son de un tamaño menor a 20 hectáreas, lo cual ayuda a caracterizar la potencial demanda, ya que esta estaría conformada principalmente por medianos y pequeños agricultores. En la siguiente tabla se detalla la caracterización de los predios silvoagropecuarios según su tamaño:

Tabla 36: Rangos de tamaños de predios silvoagropecuarios en Chile

Rangos de tamaños de la explotación [ha]	Número de predios	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Sin tierra	1.824	0,6%	0,6%
0,1 a 4,9	125.334	41,6%	42,2%
5 a 9,9	48.711	16,2%	58,4%
10 a 19,9	45.338	15,0%	73,4%
20 a 49,9	40.275	13,4%	86,8%
50 a 99,9	16.972	5,6%	92,4%
100 a 499,9	16.741	5,6%	97,9%
500 a 999,9	2.722	0,9%	98,9%
1.000 y más	3.459	1,1%	100,0%
TOTAL GENERAL	301.376	100,0%	

Fuente: elaboración propia con datos de ODEPA (2019).

De esta manera se logra dar cuenta de los altos niveles de demanda de la industria de fertilizantes en Chile, donde la participación de la planta de compostaje en estudio representa una proporción ínfima incluso dentro de la demanda regional.

Oferta del sector

Según la ODEPA (2009), Chile es un importador neto de fertilizantes, donde a fecha del 2009 se registraron importaciones de 1,1 millones de toneladas anuales.

Los fertilizantes de uso convencional son 4: fosfato diamónico, superfosfato triple, urea y sulfato de potasio. Con una baja cantidad de empresas oferentes, el mercado interno presenta una estructura oligopólica, donde cinco empresas concentran más del 60% de las importaciones totales. Cuatro de estas empresas importan la totalidad de la urea foránea, y también del fosfato diamónico; mientras que los otros dos tipos de fertilizantes también presentan una alta concentración de importación en pocas empresas.

Estas empresas importadoras incurren en costos de transporte marítimo y de almacenamiento en los puertos de desembarque, para luego ser vendidos a sus clientes y distribuidores. Para lograr una ventaja competitiva, estas empresas han desarrollado modelos de negocios que implican asesorías en terreno a sus clientes como forma de agregar valor a la cadena.

En general, los distribuidores manejan su negocio bajo la premisa de una rápida circulación de existencias, bajos niveles de stock y bajos niveles de inversión.

ODEPA (2009) señala que el uso de fertilizantes puede llegar a representar el 60% del costo de producción de algunos cultivos, por lo que las distorsiones en su precio afectan en gran magnitud a los productores agronómicos.

Estos antecedentes indican que la producción local de fertilizante vegetal presenta la ventaja de no incurrir en costos de importación, sin embargo, según la Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes (2002), idealmente los fertilizantes vegetales no son sustitutos de los fertilizantes minerales, sino que son productos complementarios. Esto debido a que, si bien el producto mineral presenta una mayor concentración de nutrientes, carece del carácter mejorador de suelos que permite la retención de los nutrientes y humedad en el suelo.

De esta manera, el análisis del mercado chileno de fertilizantes augura una fácil penetración en el mercado para un oferente pequeño de fertilizante vegetal.

MODELO DE NEGOCIOS

El Social Business Model Canvas es una herramienta que permite analizar ideas de negocios agrupadas dentro del emprendimiento social. Como una parte relevante del proyecto implica un bien social, se selecciona este lienzo para visualizar el modelo de negocios propuesto.

Se decide modelar el negocio para el Concesionario y no para el Concedente, debido a que es la UEN la que gestionaría todas las actividades operativas relevantes para el proyecto, enfrentándose a los problemas del mercado y del diseño productivo. Mientras que el Concedente no tiene mayor participación en los eventos del mercado que determinen el éxito de la planta de compostaje.

A continuación, se detallan los conceptos que se impregnan en el lienzo.

- 1. Propuesta de valor:** se propone la venta de fertilizante de origen vegetal con certificación, que provenga de un proceso productivo sostenible ambiental y socialmente, pues colaboraría a la reinserción laboral de infractores de la ley.
- 2. Segmento de clientes:** se apunta a ofrecer el producto principalmente a pequeños y medianos agricultores, ya que el volumen de producción de la planta sólo es capaz de proveer compost para no más de 50 hectáreas. Además, se busca resguardar a la planta de las negociaciones en el precio que podrían ejercer grandes compradores, ya que la rentabilidad del proyecto es especialmente sensible al precio del producto.
- 3. Canales:** se apunta a la venta con contacto directo hacia los clientes, ya que se considera que pocos clientes serían capaces de consumir toda la producción anual de la planta, por lo cual no se amerita del uso de canales masivos.
- 4. Relación con clientes:** se busca fidelizar a los clientes ofreciendo un stock estable y certificado, que entregue garantías a los clientes.
- 5. Fuentes de ingresos:** la fuente de ingreso más relevante es la venta directa de compost, pero en un segundo lugar se percibirían ingresos por concepto de disposición final de residuos, servicios que se brindaría a la Ilustre Municipalidad de Pudahuel.
- 6. Recursos clave:** los recursos claves en cuanto al proceso productivo corresponden, en primer lugar y para asegurar la inocuidad del proceso, a las inversiones en el terreno que evitan un daño medioambiental, pero

también cobra suma relevancia la materia prima del compostaje. Luego, el espacio de bodega resulta relevante ya que el consumo del producto presenta una estacionalidad anual en torno al crecimiento de las plantas. Finalmente, un recurso intangible que resulta clave para obtener el producto esperado y evitar las externalidades negativas, corresponde a la planificación del proceso de cada pila, ya que es esencial poder identificar el estado de cada una de las pilas, y poder llevar una trazabilidad respecto a ella, lo cual es una exigencia legal según las normas del Instituto Nacional de Normalización.

- 7. Actividades clave:** las actividades clave corresponden principalmente a las medidas de control que aseguren la calidad del producto, y la posterior venta de este.
- 8. Socios clave:** GENCHI, la Ilustre Municipalidad de Pudahuel, la Universidad de Chile y la Fundación Valle Lo Aguirre. Estas instituciones enmarcan las relaciones que debe llevar el proyecto en torno a su propósito social, carácter técnico, administración, y obtención de materias primas.
- 9. Estructura de costos:** la estructura de costos consta de los egresos más relevantes para el proyecto. En cuanto a los costos fijos, estos entran en dos categorías, las cuales representan cerca de dos tercios de los egresos totales de la planta. Los costos variables representan la menor proporción de los egresos totales de la planta de compostaje, pero destaca entre ellos el Fee de producción, el cual alcanza a representar casi un tercio de los egresos del proyecto en el horizonte del proyecto,

Tabla 37: Social Bussiness Model Canvas

Socios clave Gendarmería de Chile, Universidad de Chile, Fundación Valle Lo Aguirre, Ilustre Municipalidad de Pudahuel	Actividades clave Correcto compostaje, control de olores, certificación del producto y venta del producto	Propuesta de valor Venta de compost vegetal certificado + Valor social de la mano de obra	Relación con clientes Contacto directo	Segmento de clientes Pequeños y medianos agricultores de la zona central de Chile
	Recursos clave Desechos de ferias libres, espacio para compostaje, bodega, protección del suelo y planificación del proceso		Canales Contacto directo con clientes y canales digitales	
Estructura de costos Costos fijos: <ul style="list-style-type: none"> • Arriendo del terreno • Sueldos 		Fuentes de ingreso Venta directa de compost + Disposición final de residuos		
Costos variables: <ul style="list-style-type: none"> • Agua, sacos e instrumentos de medición • Fee de producción • Insumos y herramientas 				

Fuente: elaboración propia.

EXTERNALIDADES

Externalidades positivas

Según Zúñiga (2013) por cada tonelada de residuo que se envía al vertedero, se generan 258,1 kilogramos de CO₂, mientras que por cada tonelada de residuos compostados se generan 38,4 kilogramos de CO₂, es decir, se reduce la emisión de CO₂ en un 84,8%. Por lo que la instalación de la planta de compostaje se traduce en un aporte al mejor estado ambiental del aire.

Así, si en una etapa inicial la planta procesa 4.815 toneladas de residuos verdes al año, esto significaría una reducción de 1.058 toneladas de CO₂ emitido a la atmósfera anualmente.

Desde el punto de vista de los precios sociales, una fuerza laboral de 13 obreros no calificados representa un valor de \$32.594.640 al año, mientras que, gracias al valor social del proyecto, se busca pagar \$430.000 mensualmente a cada obrero no calificado, lo que implica un valor de mano de obra de \$67.080.000. La diferencia entre las valorizaciones de la mano de obra se puede interpretar como el valor social que el proyecto entrega a la sociedad en el ámbito de sueldos, el cual se cuantifica en un valor de \$34.485.360 anualmente. Este valor aumenta a medida que también aumenta la cantidad de trabajadores.

Además, la producción de compost contribuiría a terminar con la extracción ilegal de tierra de hojas, ya que corresponde a un producto sustituto de la tierra de hojas.

Externalidades negativas

Una posible consecuencia de la instalación de la planta de compostaje sería la liberación de malos olores producto de los procesos anaeróbicos. Vale decir que estos procesos anaeróbicos sólo se desencadenarían si el proceso de compostaje no se llevara a cabo correctamente.

Para prevenir este caso, se recomienda tomar en cuenta las direcciones del viento al momento de decidir el lugar de la instalación de la planta.

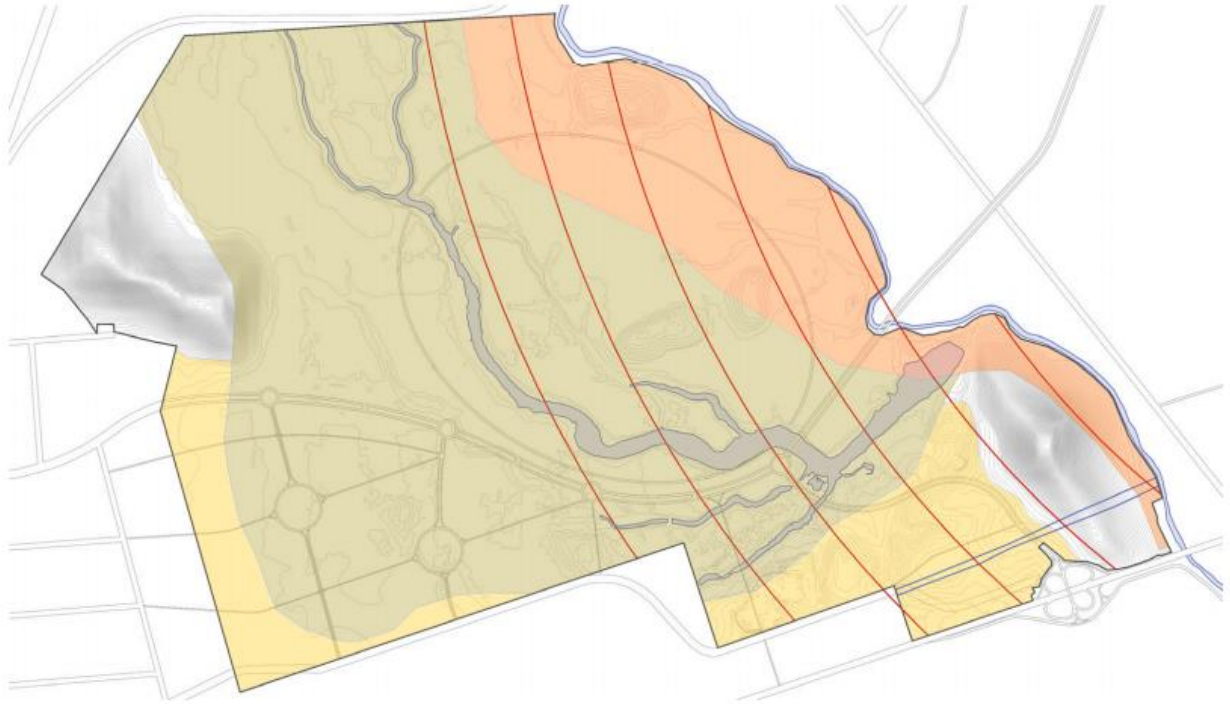
Ilustración 38: Comportamiento de los vientos en predio Laguna Carén



Fuente: Velásquez (2019)

Otra posible externalidad negativa es la posibilidad de atraer fauna a la planta de compostaje, cobrando especial relevancia la fauna aviar, ante lo cual la Dirección General de Aeronáutica Civil dicta zonas en las que no se permite la instalación de plantas de disposición transitoria o final de residuos sólidos. En el caso del predio de Laguna Carén, esta zona se marca con líneas rojas en la siguiente ilustración:

Ilustración 39: Zona de peligro aviar en predio Laguna Carén



Fuente: Velásquez, 2019.

Vale decir que no se da énfasis a estas disposiciones en el presente documento ya que atañen al área de urbanismo.

CONCLUSIÓN

Para escoger el método de compostaje más conveniente para el proyecto, se utilizaron análisis tanto cualitativo como cuantitativo. El análisis cualitativo consistió de comparar factores relevantes para el sistema productivo en base a criterios establecidos en la literatura especializada del tema. Mientras que el análisis cuantitativo consistió en simular los flujos financieros del proyecto asumiendo cada uno de los métodos de compostaje estudiados, y estudiar sus respectivos índices de rentabilidad. Luego, ambas comparaciones apuntaron a que el método más conveniente sería el de la Pila Estática con Aireamiento Forzado.

Esta elección condicionaría, finalmente, los factores de producción que influyen en la rentabilidad del proyecto. Así, el Concedente percibiría un VAN de \$641.623.790, una TIR del proyecto de 49,2%, y recuperaría su inversión en el año 2 de operación. Mientras que el Concesionario distinguiría un VAN de \$309.265.113.

El posterior análisis de sensibilidad muestra que el Concedente es generalmente insensible a las variaciones en las cantidades determinadas en el diseño del proyecto, tales como la cantidad de espacio que ocuparía la planta o el espacio de bodega necesario. Mientras que el Concesionario, si bien se muestra más sensible a las variaciones en el diseño del proyecto, en general sigue obteniendo niveles de rentabilidad positivos, aunque ellos se vean fuertemente perturbados. Sin embargo, la mayor sensibilidad encontrada, tanto en Concedente como en Concesionario, se registró en el precio del saco de compost, un factor que depende escasamente del diseño del proyecto.

Es decir, la rentabilidad del proyecto, en su conjunto, depende mucho más del mercado que del correcto diseño de las operaciones de la planta. Tanto así, que incluso los escenarios más pesimistas en torno a las perturbaciones en el diseño del proyecto siguen ofreciendo un VAN superior a los \$600 millones para el Concedente, y, en general, superior a los \$200 millones para el Concesionario, siendo el escenario más pesimista del precio del saco de compost, el único capaz de amenazar la viabilidad económica del proyecto.

Este resultado motiva la pregunta de por qué ocurre este fenómeno, donde el diseño del proceso productivo parece perder relevancia antes los índices de rentabilidad estudiados.

Si se compara una planta de compostaje con casi cualquier otra faena productiva, se puede reparar en dos discrepancias sumamente relevantes:

1. Materia prima: a diferencia de otros procesos industriales como la producción de fideos, o de muebles, una planta de compostaje adquiere su materia prima sin ningún costo. Es más, la capacidad de recibir altos volúmenes de desechos vuelve a la planta una opción viable para la disposición final de residuos por parte de las municipalidades, por lo que una planta de compostaje no sólo se ahorra el costo de adquirir su materia prima, sino que además percibe un ingreso por ello.

Esta característica hace que cualquier planta de compostaje capaz de recibir altos volúmenes de desechos sea potencialmente rentable.

2. Costo de agregar valor: de forma similar al punto anterior, se puede dar cuenta de que el costo monetario de agregar valor a la materia prima es cercano a cero. El proceso de compostaje es un conjunto de transformaciones metabólicas por parte de microorganismos, por lo que ocurre regularmente en la naturaleza sin necesidad de intervenciones exógenas.

Así, la tarea de la planta de compostaje no consiste en agregar valor a su materia prima, sino en proveer las condiciones óptimas que aceleren dicho proceso.

Sin embargo, estas potenciales rentabilidades no son gratuitas, ya que existe un *trade-off* entre ellas y los dos puntos recién discutidos.

En primer lugar, para poder adquirir la materia prima sin costo, primero se debe ser percibido como una opción viable para la disposición final de residuos por parte de las municipalidades, para lo cual se debe contar con una gran capacidad productiva, lo cual, finalmente, exige de contar con una gran superficie para el proceso productivo.

Como ejemplo, cabe recordar que la planta de compostaje estudiada necesita de más de 16.000 m² para su correcto funcionamiento. Sin embargo, lo anterior también representa una barrera de entrada para otras firmas que quieran entrar en el mercado. Finalmente, es dable recordar que la planta de compostaje se emplaza dentro de un Proyecto Académico que alberga más iniciativas, por lo que una limitante para los niveles de producción de la planta podría no estar relacionada al costo monetario del terreno, sino al costo de oportunidad de otras iniciativas contempladas dentro del Proyecto Académico Parque Laguna Carén.

En segundo lugar, si bien la literatura acerca del proceso de compostaje ofrece parámetros confiables que permiten aproximar un resultado cuantificable, estos parámetros corresponden, en su mayoría, a rangos de valores obtenidos en la experimentación directa. El proceso productivo propuesto se desarrolla a la intemperie, por lo que intervienen diversos y fluctuantes factores dentro del proceso de compostaje, lo que vuelve esperable que el resultado empírico diste del resultado teórico.

Por lo tanto, el segundo trade-off consiste en que la estabilidad del proceso de compostaje dependerá en gran medida del conocimiento técnico que se adquiera empíricamente durante el proceso productivo. Por esta razón, se vuelve sumamente aconsejable que el conocimiento técnico se concentre en una persona de alta longevidad dentro de la organización, como el supervisor de la planta. Lo anterior expone al proyecto al riesgo de perder su estabilidad productiva a causa de la persona que concentre el conocimiento técnico. Por otra parte, la inseguridad práctica acerca de la estabilidad del proceso de compostaje se vuelve un espacio de mejoras, que ofrece mayores rentabilidades al Concesionario a cambio de una mayor eficiencia.

Lo anterior se ve reforzado al notar que la estrategia de empleo para la planta de compostaje consiste en tener una alta rotación de obreros no calificados provenientes del sistema penitenciario del país, pues esto provoca que el conocimiento del proceso se concentre en la mano de obra de menor rotación. Sin embargo, la alta rotación de la mayor parte de la fuerza laboral permite que, además de presentar un beneficio medioambiental, la planta de compostaje genere un valor social que crece cada año con cada rotación, pues, en cada período de tiempo, el proyecto brindará puestos laborales que incidan directamente en una disminución de la probabilidad de reincidencia delictual de las personas en proceso de reinserción social, contribuyendo también a una disminución en los índices socio-delictivos del país.

Es observable que el alcance del proyecto en cuanto a reinserción social se limita a ofrecer puestos laborales, lo cual es prudente debido a que la revisión bibliográfica del tema indica que la intervención social, de una persona con riesgo de reincidencia delictual, debe ser concebido como un proceso integral que dotar a la persona con herramientas sociales que la alejen de conductas antisociales.

La amplitud de las necesidades sociales, que precisa una persona que busca reinsertarse al cuerpo social, escapan a las competencias e influencias que es capaz de ofrecer un proceso productivo, ante lo cual el proyecto de planta de compostaje se enfoca sólo en un factor de reinserción: el laboral.

De esta manera, se plantea que el proyecto pueda representar un apoyo a la reinserción social de las personas, ofreciendo un nivel de sueldo que permita que aquellas personas con necesidad de reinserción social puedan contar con una estabilidad y solvencia económica que las aleje de factores de riesgo de reincidencia delictual, y les ayude a desarrollar habilidades sociales que contribuyan al comportamiento social. Así, se propone un nivel de sueldo líquido de \$430.000 ya que este monto permite a un hogar de 4 personas mantenerse sobre la línea de la pobreza.

Así, la planta de compostaje demuestra no solamente su viabilidad económica, sino que lo hace a través de los ideales de sustentabilidad medioambiental y social impulsados por el Proyecto Académico Parque Laguna Carén, de la Universidad de Chile.

GLOSARIO

- **Ácidos fúlvicos:** son uno de los principales componentes de las sustancias húmicas, pero se diferencian de los ácidos húmicos en cuanto a su solubilidad en medios ácidos.
- **Ácidos húmicos:** son uno de los principales componentes de las sustancias húmicas, las cuales consisten en mezclas heterogéneas de moléculas de pequeño tamaño que se forman a partir de la transformación bioquímica de células muertas y se asocian mutuamente.
- **Ex ante:** término proveniente del latín que significa "antes del suceso".
- **Helmineto:** gusano, especialmente parásito del intestino y del hígado en el ser humano y otros animales.
- **Hotspot:** es un área del territorio donde hay una especial concentración de biodiversidad.
- **Humificación:** transformación química y biológica de la materia orgánica en humus.
- **Meta-análisis:** consiste básicamente en fusionar estadísticamente los resultados de diversos estudios independientes, pero en cierta medida combinables entre sí, con el objeto de verificar si existe un efecto que pueda ser evaluado estadísticamente.
- **Positivismo (psicología):** corriente filosófica que afirma que todo conocimiento deriva de alguna manera de la experiencia, la cual se puede respaldar por medio del método científico.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, K. (2016). Vive Feria: Sistema de Recolección de Residuos Orgánicos para Ferias Libres. Memoria para optar al Título de Diseñadora Industrial. Santiago de Chile. Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. 15p.
- Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes. (2002). Los Fertilizantes y su Uso [en línea]. <<https://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>> [consulta: 12 julio 2021].
- ASOF C.G. (2014). En Peñalolen se firmó acuerdo para Feria limpia y sustentable. [En línea] <<http://asof.cl/en-penalolen-se-firmo-acuerdo-para-feria-limpia-y-sustentable/>> [consulta: 22 julio 2017].
- ASOF C.G. (2015). Mujeres feriantes realizan su primer congreso nacional. [En línea]. El Feriante. Septiembre – Noviembre / Año 2015. 38. <<http://www.asof.cl/wordpress/wp-content/uploads/2015/12/El-Feriante-38-final-b-1.pdf>> [consulta: 22 julio 2017]
- Bertoldi, M. & Vallini, Giovanni & Pera, A. (1983). The biology of composting: A review. Waste Management & Research. (1): 157-176.
- Chile. Instituto Nacional de Normalización (INN). 2003. NCh2880.
- Chile. Ministerio de Salud. 1961. Decreto N°144 Establece normas para evitar emanaciones o contaminantes atmosféricos de cualquier naturaleza. 18 mayo 1961.
- Chile. Ministerio de Salud. 1968. Decreto con Fuerza de Ley N°725 Código Sanitario. 31 enero 1968.
- Chile. Ministerio de Salud. 1969. Decreto N°735 Reglamento de los Servicios de Agua destinados al consumo humano. 19 diciembre 1969.
- Chile. Ministerio de Salud. 1999. Decreto Supremo N°594. 15 septiembre 1999.
- Chile. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. 1992. Decreto N°47 Fija Nuevo Texto de la Ordenanza General de la Ley General de Urbanismo y Construcciones. 05 junio 1992.
- Chile. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. 1994. Resolución N°20 Aprueba Plan Regulador Metropolitano de Santiago. 06 octubre 1994.
- Chile. Ministerio del Trabajo y Previsión Social. 1969. Decreto N°146 Rectifica Texto de Decreto N°163, de esta Secretaría de Estado, Publicado el 13 de septiembre de 1968. 25 julio 1969.
- Chile. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. 1994. Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente. 09 marzo 1994.
- Chile. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. 1998. Decreto N°59 Establece Norma de Calidad Primaria para material particulado

respirable MP10, en especial de los valores que definen situaciones de emergencia. 25 mayo 1998.

- Fundación SOL (2020). Sueldos en Chile: 54,5 por ciento de los trabajadores no logra sacar a una familia promedio de la pobreza [en línea] <<https://www.fundacionsol.cl/blog/actualidad-1/post/sueldos-en-chile-54-5-por-ciento-de-los-trabajadores-no-logra-sacar-a-una-familia-promedio-de-la-pobreza-6707>> [consulta: 16 julio 2021].
- Gallardo, I. (1987). Nivelación de Suelos Agrícolas: una mejora permanente. [en línea] <<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/41238/NR05443.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> [consulta: 14 junio 2021].
- Gendarmería de Chile (2019). Informe Final Evaluación Programas Gubernamentales: Programas de Rehabilitación y Reinserción Social. [en línea] <https://www.dipres.gob.cl/597/articles-189326_informe_final.pdf> [consulta: 02 junio 2021].
- Gendarmería de Chile (2021). Estadística General [en línea] <<https://www.gendarmeria.gob.cl/estadisticaspp.html>> [consulta: 10 julio 2021].
- Iglesias, D. Movimiento Disposición KDM 2017 2021 [en línea] En: <Gmail> 04 junio 2021 <diglesias@mpudahuel.cl> [consulta: 04 junio 2021].
- IPCC. (2014). Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resúmenes, preguntas frecuentes y recuadros multicapítulos. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [en línea] Organización Meteorológica Mundial, Ginebra (Suiza). Editado por: Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, L.L. White, E.C. Buendía y J.M. Moreno. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIAR5-IntegrationBrochure_es-1.pdf> [consulta: 6 junio 2021].
- Márquez, D. (2012). Actualización de la Tasa Social de Descuento en el Marco del Sistema Nacional de Inversiones de Chile para el año 2012. Memoria para optar al Título de Ingeniera Civil Industrial. Santiago de Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 53p.
- Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (2019). Valor de la Canasta Básica de Alimentos y Línea de la Pobreza [en línea]. Chile. <http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/storage/docs/cba/nueva_serie/2019/Valor_CBA_y_LPs_19.01.pdf> [consulta: 3 septiembre 2021].

- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2019). Texto refundido y sistematizado: Ordenanza Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS). [en línea] <https://metropolitana.minvu.cl/wp-content/files_mf/1549050083OrdenanzaPRMSENERO2019.pdf> [consulta: 29 mayo 2021].
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2018). Tercer Informe Bienal de Actualización de Chile sobre Cambio Climático [en línea] Chile. <<https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/12/3rd-BUR-Chile-Spanish.pdf>> [consulta: 20 julio 2021].
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2020). Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos Chile 2040 [en línea] Chile. <<https://economiacircular.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/03/Estrategia-Nacional-de-Residuos-Organicos-Chile-2040.pdf>> [consulta: 28 septiembre 2021].
- Misra, R., Roy, R., & Hiraoka, H. (2003). On-Farm Composting Methods. [en línea] <<http://www.fao.org/3/y5104e/y5104e00.htm>> [consulta: 10 mayo 2021].
- Morales, A., Welsch, G., Cárcamo, J., Aguilar, L., Sosa, M.E. (2013). Reinserción Social y Laboral: Estudio técnico y comparado de la evidencia internacional y nacional existente en torno a la reinserción social de los infractores de ley, con enfoque laboral, en adultos y jóvenes. [en línea] <https://www.academia.edu/10029886/Reinserci%C3%B3n_Social_y_Laboral_Estudio_te%C3%B3rico_y_comparado_de_la_evidencia_internacional_y_nacional_existente_en_torno_a_la_reinserci%C3%B3n_social_de_los_infractores_de_ley_con_enfoque_laboral_en_adultos_y_j%C3%B3venes> [consulta: 20 mayo 2021].
- Nova Agora. (2019). Mil años para producir 1 cm de suelo: Los agricultores deberían preocuparse más por la salud del suelo que cultivan [en línea]. <<https://www.interempresas.net/Grandes-cultivos/Articulos/265146-Mil-anos-producir-1-cm-suelo-agricultores-deberian-preocuparse-mas-salud-suelo-cultivan.html>> [consulta: 10 septiembre 2021].
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). (2009). Fertilizantes en Chile: Coyuntura y Perspectivas [en línea]. Santiago de Chile. <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2009/07/Fertilizantes_julio_2009.pdf> [consulta: 06 julio 2021].
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). (2019). Panorama de la Agricultura Chilena [en línea]. Chile. <<https://www.odepa.gob.cl/wp->

content/uploads/2019/09/panorama2019Final.pdf> [consulta: 06 julio 2021].

- Ortegón, E., Pacheco, J.F., Roura, H. (2005). Metodología General de identificación, preparación y evaluación de proyectos de inversión pública. Santiago de Chile.
- Reyes, O.C. (2012). Centro de Difusión de Prácticas Sostenibles: Infraestructura de educación ambiental en Pudahuel. Memoria para optar al Título Profesional de Arquitecto. Santiago de Chile. Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. 27p.
- Roman, Pilar & Martinez, Maria & Pantoja, Alberto. (2013). Manual de compostaje del agricultor- FAO. [en línea] Santiago de Chile <<http://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf>> [consulta: 15 abril 2021]
- Senado de la República de Chile (2019). Extracción de tierra de hojas: desde 541 días a 5 años de presidio se exponen quienes cometan este delito [en línea]. <<https://www.senado.cl/extraccion-de-tierra-de-hojas-desde-541-dias-a-5-anos-de-presidio-se/senado/2019-04-11/113406.html>> [consulta: 20 julio 2021].
- Servicio de Impuestos Internos (2021). Estadísticas de Empresa [en línea] <https://www.sii.cl/sobre_el_sii/estadisticas_de_empresas.html> [consulta: 10 junio 2021].
- Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA). (2018). Cuarto Reporte del Estado del Medio Ambiente [en línea]. Chile. <<https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/10/4.residuos-rem-a-2018.pdf>> [consulta: 15 junio 2021].
- Sistema Nacional de Inversiones (SNI). (2021). Precios Sociales 2021 [en línea] Chile. <http://sni.gob.cl/storage/docs/Precios_Sociales_Vigentes.pdf> [consulta: 20 septiembre 2021].
- Velasco, Erik & Roth, Matthias. (2010). Cities as Net Sources of CO2: Review of Atmospheric CO2 Exchange in Urban Environments Measured by Eddy Covariance Technique [en línea] Geography Compass. <https://www.researchgate.net/publication/229890288_Cities_as_Net_Sources_of_CO2_Review_of_Atmospheric_CO2_Exchange_in_Urban_Environments_Measured_by_Eddy_Covariance_Technique> [consulta: 04 julio 2021].
- Velásquez, K. (2019). Proyecto CICLO: en Plan Maestro Parque Laguna Carén. Proyecto para optar al Título Profesional de Arquitectura. Santiago de Chile. Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. 82p.

- Villegas, D. (2013). Ferias libres son el espacio público mejor valorado por los santiaguinos [en línea]. 20 mayo 2013 <<https://www.latercera.com/noticia/ferias-libres-son-el-espacio-publico-mejor-valorado-por-los-santiaguinos/>> [consulta: 10 junio 2021].
- World Resources Institute. (2005). Navigating the Numbers: Greenhouse Gas Data and International Climate Policy [en línea] <https://pdf.wri.org/navigating_numbers.pdf> [consulta: 24 junio 2021].
- Zúñiga, D.C. (2013). Estimación de la huella de carbono del proceso de compostaje y lombricultura de la Dirección de Gestión Ambiental de la Ilustre Municipalidad de La Pintana. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Santiago de Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. 32p.

ANEXO Y APÉNDICES

ANEXO 1

Disposición de residuos de la comuna de Pudahuel

30							
31			2019				
32	Empresa	Servicio	ene	feb	mar	abr	may
33	Municipal	Retiro Escombros Domiciliario	826.800	249.390	556.040	452.620	438.500
34	PSG	Microbasurales	1.745.570	1.777.380	2.073.940	2.052.070	2.322.060
35	HYDROSYM LTDA	Mantención Recintos Deportivos	13.790	11.880	9.610	6.670	17.670
36	Podas / Sepúlveda	Areas Verdes	152.000	9.270			
37	Transfich Barrido	Barrido Calle	110.120	163.390	146.840	164.490	199.780
38	Nucleo Paisajismo	Areas Verdes		360.970	493.670	558.400	585.020
39	Mobilia	Areas Verdes			34.050		
40	Transp.Fray Jorge LTDA.	Parque Amengual				8.110	14.120
41	Vicmar	RSD	7.681.450	6.421.320	7.100.190	6.935.370	6.621.890
42	Starco	Ferías / Persas	526.130	447.420	518.660	504.510	485.150
43		Total Kg	11.055.860	9.441.020	10.933.000	10.682.240	10.684.190
44							

jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	TOTAL
383.320	403.800	312.530	536.110	282.700	265.770	307.020	5.014.600
2.634.160	2.767.170	2.329.260	1.130.520	1.782.500	848.380	1.839.490	23.302.500
14.380	10.320	7.500	6.450	14.590	10.100	10.140	133.100
							161.270
176.320	94.120	194.640	47.930	122.520	28.410	185.960	1.634.520
537.600	550.450	576.120	450.190	553.810	503.070	534.460	5.703.760
							34.050
	10.010	9.960	9.610	10.660	7.760	7.990	78.220
6.086.330	6.540.640	6.562.530	6.402.410	6.744.430	6.456.120	7.746.680	81.299.360
489.270	475.620	490.030	460.920	522.600	545.680	553.650	6.019.640
10.321.380	10.852.130	10.482.570	9.044.140	10.033.810	8.665.290	11.185.390	123.381.020

ANEXO 2

Muestra del archivo Excel utilizado para proyectar el VAN

PERÍODO	0	PERÍODO	1
ESTADO ANTERIOR CONCEDENTE	\$ -	RESULTADO ANTERIOR CONCEDENTE	\$ -188.676.948
ESTADO ANTERIOR CONCESIONARIO	\$ -	RESULTADO ANTERIOR CONCESIONARIO	\$ -
INGRESOS		INGRESOS	
Ventas compost	\$ -	Ventas compost	\$ 274.495.584
Comisiones por ventas	\$ -	Comisiones por ventas	\$ 2.744.956
Disposición final de residuos	\$ -	Disposición final de residuos	\$ 25.532.905
TOTAL INGRESOS	\$ -	TOTAL INGRESOS	\$ 297.283.533
EGRESOS		EGRESOS	
Costos fijos		Costos fijos	
Sueldos	\$ -	Sueldos	\$ 110.207.307
Arriendo espacio	\$ -	Arriendo espacio, dependencias y maquinaria	\$ 58.037.340
Depreciaciones de bienes de uso	\$ -	Depreciaciones de bienes de uso concedente	\$ 18.779.874
		Depreciaciones de bienes de uso concesionario	\$ -
Costos energéticos	\$ -	Costos energéticos	\$ 5.184.000
Materiales y herramientas	\$ -	Materiales y herramientas	\$ -
Costos variables		Costos variables	
Agua y tiras de pH	\$ -	Agua y tiras de pH	\$ 21.069.440
Tiras pH	\$ -	Fee producción	\$ 41.174.338
TOTAL EGRESOS	\$ -	TOTAL EGRESOS	\$ 235.672.424
Resultado antes de impuestos conced	\$ -	Resultado antes de impuestos concedente	\$ 80.431.804
Resultado antes de impuestos conces	\$ -	Resultado antes de impuestos concesionario	\$ 61.611.109
Impuesto a la renta concedente	\$ -	Impuesto a la renta concedente	\$ -
Impuesto a la renta concesionario	\$ -	Impuesto a la renta concesionario	\$ 16.634.999
Resultado después de impuestos conc	\$ -	Resultado después de impuestos concedente	\$ 80.431.804
Resultado después de impuestos conc	\$ -	Resultado después de impuestos concesionario	\$ 44.976.110
TOTAL INVERSIONES	\$ 188.676.948	TOTAL INVERSIONES	\$ -
Depreciaciones de bienes de uso concedente	\$ -	Depreciaciones de bienes de uso concedente	\$ 18.779.874
Depreciaciones de bienes de uso concesiona	\$ -	Depreciaciones de bienes de uso concesionario	\$ -
FLUJO DEL CONCEDENTE	\$ -188.676.948	FLUJO DEL CONCEDENTE	\$ 99.211.678
FLUJO DEL CONCESIONARIO	\$ -	FLUJO DEL CONCESIONARIO	\$ 44.976.110
FLUJO TOTAL CONCEDENTE	\$ -188.676.948	FLUJO TOTAL CONCEDENTE	\$ -89.465.270
ESTADO DEL CONCEDENTE	\$ -188.676.948	ESTADO DEL CONCEDENTE	\$ -108.245.144
ESTADO DEL CONCESIONARIO	\$ -	ESTADO DEL CONCESIONARIO	\$ 44.976.110
		FLUJO DESCONTADO CONCEDENTE	\$ 93.595.922,4
		FLUJO DESCONTADO CONCESIONARIO	\$ 42.430.292,1

ANEXO 3

Esquema sobre el cual fue basado el VAN

Ilustración 1

INGRESOS	
VENTAS	1
-Comisiones por ventas	2
-Impuesto a los ingresos brutos	3
Ventas netas	4=1-2-3
EGRESOS	
Costo de mercaderías vendidas	5
Costos de administración	6
Costos de comercialización	7
Depreciación de bienes de uso y otros activos	8
Otros costos	9
TOTAL EGRESOS	10=5+6+7+8+9
Resultado antes del impuesto de las ganancias	11=4-10
Impuesto a las ganancias	12=11 x alícuota
Resultado después del impuesto a las ganancias	13=11-12
INVERSIONES	
Inversiones en activos fijos	14
Inversiones en capital de trabajo	15
Total inversiones	+16=14+15
+ Depreciación de bienes de uso y otros activos	17=+8
Flujo del proyecto	18=13-16+8
FINANCIAMIENTO	
Ingreso de fondos por préstamos	19
Pago de intereses	20
Pago de capital	21
Flujo del financiamiento	22=+18-19-20
Ahorro impositivo por intereses	23=+19 x alícuota IIGG
Flujo del accionista	24=+17+21+22