



**“ASESORÍA SOBRE EL MANEJO DE RESIDUOS  
ORGÁNICOS GENERADOS A NIVEL MUNICIPAL  
EN CHILE”**

ID 608897-104-LE18

**INFORME 3 FINAL**  
30 DE DICIEMBRE DE 2019

## Índice de contenidos

1	Introducción .....	6
2	Metodología.....	6
2.1	Identificación de sistemas de manejo de residuos orgánicos.....	6
2.2	Recopilación de información y análisis .....	6
2.3	Identificación y análisis de los instrumentos para incentivar la valorización de residuos orgánicos.....	7
2.3.1	Recopilación de información y análisis.....	7
2.4	Análisis de la aplicabilidad de los instrumentos de incentivos analizados en la normativa de Chile .....	8
3	Identificación de los sistemas de manejo para valorizar residuos orgánicos en Chile .....	8
3.1	Tecnologías identificadas .....	9
3.1.1	Compostaje.....	9
3.1.2	Vermicompostaje .....	10
3.1.3	Secado térmico de residuos orgánicos.....	10
3.1.4	Digestión anaeróbica.....	11
3.2	Tecnologías de tratamiento a pequeña escala.....	17
3.2.1	Compostaje y vermicompostaje domiciliario .....	17
3.2.2	Digestión anaeróbica a pequeña escala.....	36
3.3	Tecnologías de tratamiento a mediana escala.....	43
3.3.1	Compostaje comunitario.....	44
3.3.2	Secado térmico de residuos orgánicos.....	51
3.4	Tecnologías de tratamiento a gran escala .....	59
3.4.1	Compostaje municipal para 1.300 toneladas anuales de residuos orgánicos .....	59
3.4.2	Compostaje Municipal para 7.800 toneladas al año de residuos orgánicos verdes.....	75
3.4.3	Digestión anaeróbica a gran escala .....	82
3.5	Cuadro comparativo sobre el costo unitario por tonelada tratada de residuos orgánicos para cada sistema de manejo analizado .....	95
4	Identificación y análisis de instrumentos para incentivar la valorización de residuos orgánicos.....	98
4.1	Financiamiento e incentivos.....	99
4.1.1	Modificación al decreto ley de rentas municipales.....	99

4.1.2	Incentivo a través de la implementación de programas ambientales que incluyan el compostaje.....	101
4.1.3	Incentivo a través de la rebaja del derecho de aseo considerando la frecuencia, volumen, o accesibilidad.....	103
4.1.4	Regular el desperdicio de alimentos en supermercados, restaurantes y otros generadores .....	104
4.1.5	Incentivar la generación de energías renovables a través de la biomasa.....	106
4.1.6	Incentivar la gestión de orgánicos en las licitaciones de los contratos de recolección y disposición de residuos .....	107
4.2	Educación ambiental y fortalecimiento de capacidades .....	108
4.2.1	Levantamiento de instrumentos para el fortalecimiento de la educación ambiental.....	108
4.2.2	Instrumentos para el fortalecimiento de la educación ambiental para cada actor clave	113
4.2.3	Objetivos y acciones para cada actor según proceso.....	120
4.3	Generación y gestión de proyectos.....	128
4.3.1	Implementación de la unidad de asistencia técnica .....	128
4.3.2	Áreas de trabajo de la unidad de asistencia técnica.....	129
5	Bibliografía.....	133

## Índice de figuras

Figura 1. Esquema de biodigestor tipo chino. ....	14
Figura 2. Esquema de biodigestor tipo hindú. ....	14
Figura 3. Esquema de biodigestor tipo Taiwán. ....	15
Figura 4. Propuesta de gobernanza para sistema de compostaje o vermicompostaje domiciliario. ....	35
Figura 5. Equipo biodigestor domiciliario. ....	38
Figura 6. Alternativas para mitigar las bajas temperaturas en este tipo de sistema. ....	39
Figura 7. Propuesta de gobernanza para sistema de digestión anaeróbica a pequeña escala. ....	42
Figura 8. Propuesta de gobernanza sistema de compostaje a mediana escala. ....	50
Figura 9. Equipo Deshidratador con capacidad para 600 kg/día. ....	53
Figura 10. Imagen referencial del emplazamiento óptimo donde se podría implementar el sistema de secado térmico de residuos orgánicos a mediana escala. ....	54
Figura 11. Propuesta de gobernanza sistema de secado térmico de residuos orgánicos. ....	57
Figura 12. Esquema de gobernanza para planta de compostaje de 1.300 toneladas al año de residuos orgánicos verde. ....	71
Figura 13. Esquema de gobernanza para planta de compostaje de 7.800 toneladas al año de residuos orgánicos verde. ....	82
Figura 14. Propuesta de gobernanza digestión anaeróbica a gran escala. ....	93

## Índice de fotografías

Fotografía 1. Jardín Infantil beneficiario de programa de entrega de composteras. ....	18
Fotografía 2. Compostera con residuos orgánicos domiciliarios en proceso de descomposición. ....	19
Fotografía 3. Composteras domiciliarias. ....	22
Fotografía 4. Vermicomposteras domiciliarias. ....	23
Fotografía 5. Planta de compostaje perteneciente al Programa “Compostaje de residuos sólidos domiciliarios para la Región de Magallanes y la Antártica Chilena”.....	47

## Índice de tablas

Tabla 1. Condiciones fisicoquímicas principales requeridas para un adecuado compostaje. ....	9
Tabla 2. Condiciones fisicoquímicas principales que favorecen el vermicompostaje. ....	10
Tabla 3. Configuraciones posibles para digestión anaeróbica. ....	15
Tabla 4. Rangos de temperatura en etapas de fermentación anaeróbica. ....	15
Tabla 5. Efecto de la temperatura sobre la tasa de producción de metano de lodos. ....	16

Tabla 6. Tipo de equipamiento utilizado por municipios en proyectos de valorización de residuos orgánicos a pequeña escala. ....	18
Tabla 7. Acciones recomendadas previas y posteriores a la entrega de equipamiento....	20
Tabla 8. Entrega de equipamiento para valoración de residuos orgánicos a nivel domiciliario a lo largo del tiempo. ....	20
Tabla 9. Costo equipamiento para la ejecución de programas de compostaje domiciliario. ....	26
Tabla 10. Presupuesto designado al “Programa compostaje y huertos orgánicos” de la Municipalidad de Concepción durante el año 2019. ....	28
Tabla 11. Costos de inversión en sistema de manejo de valorización de RO utilizando la tecnología del compostaje a pequeña escala. ....	29
Tabla 12. Costos anuales de operación en sistema de manejo de valorización de RO utilizando la tecnología del compostaje a pequeña escala. ....	30
Tabla 13. Costo equipamiento para la ejecución de programas de vermicompostaje domiciliario. ....	30
Tabla 14. Costos de inversión en sistema de manejo de valorización de RO utilizando la tecnología del vermicompostaje a pequeña escala. ....	32
Tabla 15. Costos anuales de operación en sistema de manejo de valorización de RO utilizando la tecnología del compostaje a pequeña escala. ....	32
Tabla 16. Ventajas y desventajas del compostaje y vermicompostaje aplicado a residuos orgánicos municipales a pequeña escala. ....	36
Tabla 17. Especificaciones técnicas biodigestor Taiwán. ....	38
Tabla 18. Costos de inversión para el sistema de manejo de digestión anaeróbica a pequeña escala. ....	40
Tabla 19. Costos anuales de operación en sistema de manejo de digestión anaeróbica a pequeña escala. ....	41
Tabla 20. Ventajas y desventajas de la digestión anaeróbica aplicada en residuos orgánicos municipales a pequeña escala. ....	43
Tabla 21. Equipamiento para planta de compostaje de 130 toneladas al año de residuos orgánicos verde. ....	45
Tabla 22. Superficie destinada para cada actividad en una planta de compostaje de 260 toneladas al año. ....	46
Tabla 23. Costos de inversión para un sistema de valorización de residuos orgánicos a través de la tecnología de compostaje a mediana escala o escala barrial. ....	48
Tabla 24. Costos anuales de operación en sistema de valorización de residuos orgánicos a través de la tecnología de compostaje a mediana escala o escala barrial. ....	49
Tabla 25. Ventajas y desventajas del compostaje de residuos orgánicos a mediana escala o escala barrial. ....	51
Tabla 26. Equipos disponibles para la aplicación de secado térmico de residuos orgánicos. ....	53
Tabla 27. Costos de inversión en sistema de manejo de valorización de residuos orgánicos utilizando la tecnología de secado térmico a mediana escala. ....	56

Tabla 28. Costos anuales de operación en sistema de manejo de valorización de residuos orgánicos utilizando la tecnología de secado térmico de residuos orgánicos a mediana escala. ....	56
Tabla 29. Ventajas y desventajas del secado térmico aplicado en residuos orgánicos municipales.....	58
Tabla 30. Estimación del número de viviendas participantes para lograr captura de 1.300 toneladas al año de residuos orgánicos verde. ....	61
Tabla 31. Equipamiento para una planta de compostaje de 1.300 toneladas al año de residuos orgánicos verde. ....	62
Tabla 32. Superficie destinada para cada actividad en una planta de compostaje de 1.300 toneladas al año de residuos orgánicos verde. ....	64
Tabla 33. Inversión asociada a planta de compostaje de capacidad de 1.300 toneladas al año de residuos orgánicos verde. ....	66
Tabla 34. Costos de operación unitarios estimados para una planta de compostaje de 1.300 toneladas al día de residuos orgánicos verdes.....	69
Tabla 35. Costos de operación totales estimados para una planta de compostaje de 1.300 toneladas al año, durante los primeros cuatro años. ....	69
Tabla 36. Equipamiento para una planta de compostaje de 7.800 toneladas al año. ....	76
Tabla 37. Superficie destinada para cada actividad en una planta de compostaje de 7.800 toneladas al año de residuos orgánicos verde. ....	77
Tabla 38. Inversión asociada a planta de compostaje de capacidad de 7.800 toneladas al año de residuos orgánicos verde. ....	78
Tabla 39. Costos de operación unitarios estimados para una planta de compostaje de 7.800 toneladas al año de residuos orgánicos verde. ....	80
Tabla 40. Costos de operación totales estimados para una planta de compostaje de 7.800 toneladas al año de residuos orgánicos verde en cuatro años. ....	81
Tabla 41. Proveedores internacionales y configuraciones utilizadas por cada uno de ellos para llevar a cabo el proceso de biodigestión de residuos. ....	83
Tabla 42. Equipamiento utilizado en proyectos de digestión anaeróbica.....	85
Tabla 43. Terreno necesario en metros cuadrados para proyectos de digestión anaeróbica. ....	86
Tabla 44. Costos de inversión plantas de digestión anaeróbica. ....	88
Tabla 45. Costos de operación anuales plantas de digestión anaeróbica. ....	90
Tabla 46. Costo asociado a manejar una tonelada de residuos orgánicos para distintas tecnologías analizadas en el estudio. ....	97
Tabla 47. Instrumentos existentes para el fortalecimiento de la educación ambiental según grupo objetivo. ....	113

## 1 Introducción

Teniendo a la vista las principales barreras que impiden el aumento de la valorización de residuos orgánicos en Chile, levantadas en el Informe 2 asociado a la presente consultoría, se identifican y desarrollan algunos sistemas de manejo e instrumentos posibles de implementar en nuestro país, considerando condiciones locales, posibles esquemas de financiamiento y el marco regulatorio entre otros aspectos.

## 2 Metodología

Con el fin de lograr el objetivo específico d) *“Identificar los sistemas de manejo y los instrumentos posibles de implementar en Chile para aumentar la valorización de los residuos considerados en este estudio”*, se aplicó la secuencia metodológica que se describen a continuación.

### 2.1 Identificación de sistemas de manejo de residuos orgánicos

Con el objetivo de definir los sistemas de manejo más apropiados para la valorización de residuos orgánicos municipales en Chile se revisaron estudios previos realizados por distintos organismos públicos y datos de fuentes bibliográficas, además de entrevistas y cuestionarios aplicados en el marco de esta consultoría. En base al análisis de esta información se seleccionó un conjunto de sistemas de manejo para los cuales se determinó un ámbito de aplicación y requisitos mínimos para su implementación.

### 2.2 Recopilación de información y análisis

En el marco del levantamiento de información efectuado para desarrollar los informes 1 y 2 asociados a este estudio, se identificaron diferentes tecnologías para valorizar residuos orgánicos a nivel municipal, siendo el compostaje y la digestión anaeróbica las más utilizadas a nivel nacional e internacional. A partir de estas tecnologías se pueden desarrollar diferentes configuraciones en función de las condiciones particulares de cada zona geográfica donde se emplace un proyecto. No obstante, se tuvieron en vista algunos criterios y parámetros que acotan el rango de alternativas posibles de desarrollar en nuestro país a nivel municipal, entre ellos, el desempeño ambiental, madurez y flexibilidad tecnológica, experiencias exitosas comparables en la operación para el manejo de residuos orgánicos, y costos de inversión y operación que viabilizan su potencial aplicabilidad en nuestro país.

Como insumo en esta etapa del estudio, entre otros elementos, se incorporó información del *“Estudio de Factibilidad Del Funcionamiento de Tecnologías que procesen Residuos Sólidos Domiciliarios, Asimilables y Otros”* (código 761-49-LP18), encargado por la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo al Núcleo Biotecnológico Curauma de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, el cual entrega información y orientación respecto de la factibilidad de aplicación de las tecnologías de compostaje y digestión anaeróbica como alternativas para Chile, por medio de una indicación clara y completa de variables específicas que afectan la viabilidad de los proyectos, como costos de inversión y operación, parámetros de operación y aspectos técnicos a considerar en la implementación de las tecnologías.

Además, se utilizaron para la identificación de los sistemas de manejo las recomendaciones técnicas contenidas en distintos documentos y análisis generados por el programa “Reciclo Orgánicos”.

En base a todo lo anterior, se definió que las tecnologías con mayor posibilidad de aplicación en nuestro país son el compostaje, vermicompostaje, digestión anaeróbica y secado térmico.

A su vez, los sistemas de manejo de residuos orgánicos asociados a las tecnologías definidas se analizaron considerando variables tales como: número de habitantes, condición urbano-rural, climáticas e incluyendo de forma general características y requisitos mínimos para su implementación, entre los que se encuentran:

1. Equipamiento y maquinaria
2. Necesidad de terreno
3. Servicios básicos
4. Costos de inversión y operación
5. Esquemas de financiamiento
6. Sistemas de gobernanza

Finalmente, los sistemas de manejo se categorizaron de acuerdo con los siguientes niveles: domiciliario, comunitario (entre 600 kilos y 1 tonelada al día de tratamiento) y gran escala municipal (mayor a 1 tonelada por día de tratamiento).

## 2.3 Identificación y análisis de los instrumentos para incentivar la valorización de residuos orgánicos

### 2.3.1 Recopilación de información y análisis

La presentación a distintos actores relevantes, en materia de gestión de residuos orgánicos del *benchmarking* establecido a partir de la recopilación de información de la experiencia internacional, sumado al contraste con las barreras levantadas a lo largo del estudio, permitieron extraer una serie de recomendaciones de instrumentos de política pública a distintas escalas y naturalezas.

Para efectos de este apartado del estudio, se definió como “instrumentos” a todas aquellas acciones en el ámbito regulatorio, político, institucional, financiero o de capacidades y conocimiento que contribuyan a mejorar la gestión de los residuos orgánicos municipales bajo las definiciones estratégicas del Ministerio de Medio Ambiente.

Estas recomendaciones de instrumentos de políticas fueron clasificadas y priorizadas en términos de su potencial impacto y viabilidad, a partir de información levantada de la experiencia internacional, pero principalmente a partir de los elementos recogidos desde los actores consultados. En términos de los ejes principales de acción hubo coincidencia entre los actores consultados y sus planteamientos sobre los ámbitos necesarios de intervenir, con el fin de avanzar en esta temática.

## 2.4 Análisis de la aplicabilidad de los instrumentos de incentivos analizados en la normativa de Chile

Las medidas presentadas en el ámbito regulatorio para mejorar el financiamiento y generar incentivos, atienden a las tecnologías identificadas en el punto 3.2. Para cada una de ellas se realizó una caracterización y un análisis de su aplicabilidad en Chile.

Sobre los instrumentos de política pública para los ámbitos de educación y generación y gestión de proyectos se proponen acciones que contribuirían a superar las barreras identificadas y que deberían ser implementables de acuerdo con las competencias de las distintas instituciones involucradas y las herramientas o instrumentos vigentes.

## 3 Identificación de los sistemas de manejo para valorizar residuos orgánicos en Chile

El desarrollo de este capítulo da cumplimiento al Objetivo específico d) “Identificar los sistemas de manejo y los instrumentos posibles de implementar en Chile para aumentar la valorización de los residuos considerados en este estudio”.

Un **sistema de manejo** es el conjunto de todas las acciones operativas a las que se somete un residuo orgánico, incluyendo, entre otras, recolección, almacenamiento, transporte, pretratamiento y tratamiento. Las acciones operativas asociadas al correcto funcionamiento de los sistemas de manejo que se desarrollan en este informe se describen a continuación:

- a. **Separación en origen:** Corresponde a la separación de residuos en el momento que se generan (valorizables/descartables); el presente estudio se referirá a la separación de residuos orgánicos.
- b. **Recolección y transporte de residuos:** Corresponde a la operación consistente en recoger residuos en el lugar que son generados, incluido su almacenamiento inicial, con el objeto de transportarlos a una instalación de valorización o de eliminación, según corresponda<sup>1</sup>.
- c. **Tratamiento:** Corresponde a las operaciones de valorización y eliminación de residuos. La valorización es un conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar un residuo, uno o varios de los materiales que lo componen y, o el poder calorífico de los mismos. La valorización comprende la preparación para la reutilización, el reciclaje (incluyendo el coprocesamiento y compostaje) y la valorización energética. Y la eliminación es todo procedimiento cuyo objetivo es disponer en forma definitiva o destruir un residuo en instalaciones autorizadas<sup>3</sup>.

A continuación, se presentan las diferentes tecnologías de valorización de RO y su aplicación a pequeña, mediana y gran escala, para luego presentar un cuadro

---

<sup>1</sup> Ver Artículo 2° de la Ley 20.920. (2016). Diario Oficial de la República de Chile. Disponible en: <http://bcn.cl/1vy3u>

comparativo con costo unitario por cada tonelada de RO para cada sistema de tratamiento en su escala correspondiente.

### 3.1 Tecnologías identificadas

En esta sección, se darán a conocer con mayor detalle las tecnologías posibles de implementar en Chile para aumentar la valorización de los residuos orgánicos a nivel municipal.

#### 3.1.1 Compostaje

El compostaje es un sistema aeróbico de tratamiento de residuos orgánicos biodegradables, mediante el cual los residuos se descomponen en condiciones controladas por efecto de la acción de microorganismos. Este proceso ocurre en presencia de humedad y genera elevadas temperaturas que permiten higienizar la mezcla, produciendo dióxido de carbono, agua y materia orgánica estabilizada<sup>2</sup> denominada como compost.

Las condiciones que favorecen el crecimiento de los microorganismos aeróbicos son: presencia de oxígeno, temperatura adecuada, humedad y una nutrición balanceada. Otros factores que pueden influir en el desarrollo son el pH, fuentes energéticas de fácil solubilización como azúcares simples y la superficie de contacto o tamaño de partícula<sup>3</sup>.

En la siguiente tabla, se presentan las condiciones principales requeridas para un adecuado el proceso de compostaje.

Tabla 1. Condiciones fisicoquímicas principales requeridas para un adecuado compostaje.

Factores fisicoquímicos	Rangos ideales
Temperatura	Compostaje activo: 50°C Etapa de curado: 40°C
Relación Carbono/Nitrógeno	En proceso inicial 25/1 - 30/1
Humedad	50 - 60% en peso
Aireación	Concentraciones de oxígeno mayores al 10%
pH	Compostaje activo: 5.0 aproximadamente Etapa de curado: 8.0 - 9.0 aproximadamente

Fuente: Elaboración propia a partir de Programa Reciclo Orgánicos (2019)<sup>4</sup>.

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Normalización (INN). (2015). NCh 2880: Compost - Requisitos de calidad y composición.

<sup>3</sup> Jaramillo, G. y Zapata, L. (2008). Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia. Tesis de especialización, Facultad de Ingeniería Ambiental esp. Gestión ambiental; Universidad de Antioquia, Colombia. Disponible en: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>

<sup>4</sup> Programa Reciclo Orgánicos. (2019). Manual Compostaje, una herramienta para combatir el cambio climático.

Se debe considerar que, para la operación óptima de una planta de compostaje, se requiere de una fracción de residuos orgánicos café (material lignocelulósico que aporta carbono) que iguale en peso la fracción verde. A modo de observación general, en la zona norte del país (entre la Región de Arica y Parinacota y la Región de Coquimbo), dada las condiciones climáticas áridas, la vegetación arbórea es prácticamente nula y cuando se presenta, se restringe a zonas muy específicas. La vegetación existente se caracteriza principalmente por ser arbustiva pequeña, suculentas y herbáceas<sup>5</sup>, por lo tanto, se dificulta la aplicación de este sistema en zonas con estas particularidades debido a la falta de material lignocelulósico.

### 3.1.2 Vermicompostaje

El vermicompostaje es un proceso de bio-oxidación, degradación y estabilización de la materia orgánica por la acción combinada de lombrices y microorganismos, mediante el cual se obtiene un producto final estabilizado, homogéneo y de granulometría fina denominado vermicompost, lombricompost, compost de lombriz o humus de lombriz<sup>6</sup>.

Los insumos para el vermicompostaje son los mismos del compostaje, sin embargo, tienen algunas restricciones relacionadas con las condiciones y contenidos necesarios para que las lombrices puedan llevar a cabo su metabolismo, condiciones ambientales apropiadas para su buen desarrollo son una óptima alimentación y respiración<sup>7</sup>.

En la siguiente tabla, se presentan las condiciones principales que favorecen el proceso de compostaje.

Tabla 2. Condiciones fisicoquímicas principales que favorecen el vermicompostaje.

Factores fisicoquímicos	Rangos ideales
Temperatura	20 - 33 °C
Humedad	Alrededor de un 80%

Fuente: Elaboración propia a partir de Jaramillo, G. y Zapata, L. (2008)<sup>6</sup>.

### 3.1.3 Secado térmico de residuos orgánicos

Consiste en la deshidratación de los residuos orgánicos a través de fuentes de calor externas. Este método se ha utilizado para aplicaciones de ingeniería ambiental como el secado RDF (*refuse derived fuel*, combustible derivado de los residuos), deshidratación

<sup>5</sup> Servicio Agrícola Ganadero. (2014). Reseña de la vegetación de Chile, Servicio Agrícola y Ganadero. Disponible en: [http://www.sag.cl/sites/default/files/la\\_flora\\_de\\_chile\\_continental\\_5f\\_junio\\_2014\\_final2.pdf](http://www.sag.cl/sites/default/files/la_flora_de_chile_continental_5f_junio_2014_final2.pdf)

<sup>6</sup> Red Española de Compostaje. (2014). Vermicompostaje: procesos, productos y aplicaciones III.5. Ediciones Paraninfo, S.A., 01-01-2014 - 170 páginas.

<sup>7</sup> Jaramillo, G. y Zapata, L. (2008). Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia. Tesis de especialización, Facultad de Ingeniería Ambiental esp. Gestión ambiental; Universidad de Antioquia, Colombia. Disponible en: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>

de lodos y secado de RSD para combustible y reducción en la disposición final<sup>8</sup>. La apariencia del producto final obtenido a través de esta tecnología es muy similar a la del compost, no obstante, a través de este pretratamiento los residuos no atraviesan por el proceso de descomposición microbológica, el cual permite la mineralización de los nutrientes, razón por la que las propiedades del producto final no llegan a los rangos del compost maduro.

La opción de deshidratación se denomina secado térmico cuando utiliza una fuente de energía auxiliar externa para aumentar la temperatura de los residuos<sup>8</sup>. Durante el secado térmico, se necesita transferir una cantidad significativa de energía térmica a los sólidos húmedos para evaporar el agua y calentar los sólidos y el agua restante. A partir de información bibliográfica se desprende que, si bien el uso del secado térmico permite obtener rápidamente un producto con alto contenido de sólidos, implica mayores costos e impactos debido al consumo energético necesario para su funcionamiento<sup>9</sup>.

El secado térmico se ha desarrollado ampliamente para el manejo de lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales<sup>13</sup>, sin embargo, recientemente han surgido aplicaciones de secado de residuos orgánicos<sup>10</sup> en países como China<sup>11</sup> y Rusia<sup>12</sup>.

### 3.1.4 Digestión anaeróbica

Este tratamiento consiste en tratar residuos orgánicos biodegradables (vegetales, residuos lignocelulósicos, residuos de origen animal, entre otros) en ausencia de oxígeno. Producto de este proceso se obtiene biogás, un gas rico en metano (CH<sub>4</sub>) en una concentración de 30% a 50% en volumen y trazas de nitrógeno (N<sub>2</sub>), hidrógeno (H<sub>2</sub>), sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), vapor de agua y amoníaco (NH<sub>3</sub>), pudiendo existir otros compuestos azufrados. La composición del biogás es muy variable y dependerá de múltiples factores<sup>13</sup>. El metano es el componente energético útil en el biogás, teniendo este último un poder calorífico variable. De esta forma se puede utilizar como reemplazo de diferentes fuentes energéticas, por ejemplo, 1 m<sup>3</sup> de biogás puede sustituir aproximadamente 0,58 litros de kerosene, 0,5 a 1,5 kg de leña, 0,61 litros de gasolina y 0,74 kg de carbón vegetal<sup>14</sup>. Dependiendo de las condiciones climáticas, podría haber diversas aplicaciones para aprovechar el biogás, como, por ejemplo: cocción de

<sup>8</sup> Ragazzi, M., Rada, EC., Panaitescu, V. y Apostol, T. Municipal solid waste pre-treatment: A comparison between two dewatering options. WIT Trans. Ecol. Environ. 2007; 102:943-949. Disponible en: <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/SDP07/SDP07090FU2.pdf>

<sup>9</sup> Yuan J., Zhang D., Li Y., et al. (2017). Effects of adding bulking agents on biostabilization and drying of municipal solid waste. Waste Manage. 2017; 62:52-60

<sup>10</sup> Tun, M. y Juchelková, D. (2018). Drying methods for municipal solid waste quality improvement in the developed and developing countries: A review. Environmental Engineering Research. 10.4491/eer.2018.327.

<sup>11</sup> Zhang, Y., Chen, M., Meng, A., Li, Q. y Chen, Y. (2007). Experimental study on drying of typical MSW under incinerator-like conditions. Sci. China Ser. E: Technol. Sci. 2007; 50:636-643.

<sup>12</sup> Bukhmirov, VV., Kolibaba, OB. y Gabitov, RN. (2015). Experimental research of solid waste drying in the process of thermal processing. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering; October 2015. p. 012006. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/93/1/012006/pdf>

<sup>13</sup> Guerrero, L., Huiñir, C., Montalvo, S. y Barahona, A. (2019). Tratamiento anaerobio de residuos. Fundamentos y avances en la producción de biogás. Editorial USM.

<sup>14</sup> Anchundia, G. y Ruiz, B. (2012). Implementación de un biodigestor, para la utilización y aprovechamiento de los residuos generados en las actividades productivas del camal municipal de Manta. Disponible en: [https://www.academia.edu/15157818/UNIVERSIDAD\\_LAICA\\_ELOY\\_ALFARO\\_DE\\_MANAB%C3%8D](https://www.academia.edu/15157818/UNIVERSIDAD_LAICA_ELOY_ALFARO_DE_MANAB%C3%8D)

alimentos, iluminación, combustible de motores, refrigeración, calefacción y generación eléctrica. En comparación con el Gas Licuado de Petróleo (GLP) doméstico<sup>15</sup>, un balón de gas de 10 kg equivale a 20 m<sup>3</sup> de biogás, debido a que el GLP posee un poder calorífico de 11.739 kcal por kg, mientras que el biogás posee un poder calorífico de 6 000 kcal por m<sup>3</sup>.

Se debe considerar que *“durante los procesos aerobios, cerca del 50% del carbono contenido en el sustrato se convierte a biomasa y el otro 50% pasa a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)”* mientras que *“durante los procesos anaerobios cerca del 95% pasa a biogás, que es una mezcla de gases (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y trazas de otros gases) y solo el 5% es convertido a biomasa...”*<sup>16</sup>, aprovechando de mejor manera el carbono contenido en la materia orgánica.

La biomasa generada corresponde al digestato, este producto es un lodo con propiedades de biofertilizante, que resulta en ciertos casos, más valioso desde el punto de vista económico que el biogás obtenido en el proceso, si se tienen en cuenta los problemas de contaminación que generan los fertilizantes químicos, su elevado costo de fabricación y que no son utilizables como acondicionadores de suelos, propiedad que si poseen los biofertilizantes<sup>21</sup>. El digestato se encuentra higienizado y estabilizado, a raíz de ello, se puede utilizar como aditivo o estabilizador de suelos en la agricultura, en mezclado de tierras, así como en la horticultura y el paisajismo. Con la tasa de aplicación adecuada, los nutrientes contenidos en el sustrato, tales como nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y otros micronutrientes cubrirán la demanda para el crecimiento de plantas. Los compuestos de carbono estables no degradados conducen además a la formación de la estructura en el suelo, incrementando así su fertilidad, funcionalidad, actividad microbiana, aireación y capacidad de almacenamiento de agua<sup>17</sup>.

El proceso de digestión anaeróbica de residuos orgánicos ocurre, generalmente, al interior de un reactor o biodigestor en donde la degradación de la materia orgánica y la producción de biogás están en función de los insumos, la temperatura, la velocidad de carga orgánica y del tiempo de retención hidráulica del residuo orgánico en el digestor, entre otros requisitos<sup>18</sup>.

Existen dos clasificaciones de biodigestores que agrupan múltiples tipos de estas tecnologías. A continuación, se describen según tipo de operación y según tipo de construcción.

---

<sup>15</sup> Jaimovich, O., Acevedo, F., Badell, N. E., Cerdá, A., Hardoy, E. y Vallarino, J. M. (2015). Tratamiento de residuos cloacales con Biodigestores. Buenos Aires, Argentina. Disponible en: [http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini\\_2015/trabajos/A047\\_COINI2015.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini_2015/trabajos/A047_COINI2015.pdf)

<sup>16</sup> Guerrero, L., Huilñir, C., Montalvo, S. y Barahona, A. (2019). Tratamiento anaerobio de residuos. Fundamentos y avances en la producción de biogás. Editorial USM.

<sup>17</sup> Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, GIZ. 2012. Digestato como fertilizante. Disponible en: [https://www.digestate-as-fertilizer.com/Download/Digestato\\_como\\_fertilizante.pdf](https://www.digestate-as-fertilizer.com/Download/Digestato_como_fertilizante.pdf)

<sup>18</sup> Instituto Nacional de Normalización (INN). (2016). NCh 3381: Gestión de Residuos – Plantas de digestión anaeróbica – Consideraciones para el diseño y operación.

### 3.1.4.1 Biodigestores según tipo de operación

#### a. Flujo discontinuo

También conocido como biodigestor de lote o *batch*. La carga se realiza una sola vez, descargándose cuando ha dejado de producir biogás o los desechos orgánicos se encuentran suficientemente degradados, luego se repite la operación de carga. Este tipo de biodigestores suelen ser usados cuando los desechos orgánicos a procesar están disponibles de manera intermitente<sup>19</sup>.

#### b. Flujo semicontinuo

Los biodigestores de flujo semicontinuo son los más usados a nivel doméstico. Se cargan por gravedad una vez por día y también generan un efluente, el biofertilizante, el cual también se descarga diariamente para el riego de las plantas. Suelen ser biodigestores que no necesitan mucha mano de obra para su construcción y tampoco un mantenimiento complejo<sup>20</sup>.

#### c. Flujo continuo

La carga en este tipo de biodigestores se realiza de manera periódica, y se descarga en forma simultánea en la misma cantidad en que se ingresan los residuos orgánicos, siendo un proceso ininterrumpido. Este tipo de biodigestores son de gran tamaño y requieren de una inversión tecnológica, porque es necesario el seguimiento y control de los desechos orgánicos para su rápida fermentación. Se utilizan principalmente en el tratamiento de aguas negras<sup>21</sup>.

### 3.1.4.2 Biodigestores según tipo de construcción

#### a. Tipo chino

Este modelo es el más difundido en el mundo, también conocido como biodigestor de cúpula fija. Se construye enterrado a partir de ladrillos y concreto, y no posee un gasómetro integrado, por lo tanto, el gas se acumula en el interior del biodigestor, aumentando la presión progresivamente y forzando al biofertilizante a salir por el otro extremo. Estos biodigestores tienen como principal objetivo la producción de biofertilizante y no la de biogás, debido a las variaciones de presión en su interior (ver siguiente figura)<sup>22</sup>.

---

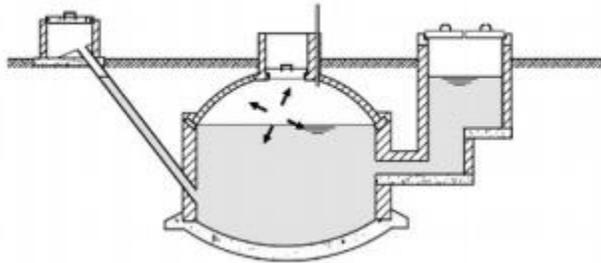
<sup>19</sup> Garzón, M. (2011). Estudio de un biodigestor generador de gas metano mediante abono orgánico para prácticas de energías alternativas en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.

<sup>20</sup> Salamanca, J. (2009). Diseño, Construcción y Puesta en Marcha de un Biodigestor a Escala Piloto para la Generación de Biogás y Fertilizante Orgánico. Universidad de San Francisco de Quito, Ecuador.

<sup>21</sup> Bolívar, H. y Ramírez, E. (2012). Propuesta para el diseño de un biodigestor para el aprovechamiento de la materia orgánica generada en los frigoríficos de Bogotá.

<sup>22</sup> Guardado, J. (2007). Diseño y Construcción de plantas de biogás sencillas. Ciudad de la Habana, Cuba: CUBASOLAR.

Figura 1. Esquema de biodigestor tipo chino.

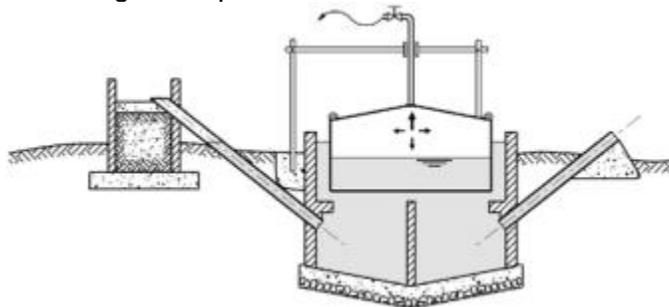


Fuente: Guardado, J. (2007).

### b. Tipo hindú

El biodigestor hindú, también conocido como biodigestor de cúpula flotante, fue desarrollado con el objetivo de buscar energías alternativas que pueda reemplazar al combustible en India. Al igual que los de tipo chino, son enterrados y construidos de ladrillo y cemento. La gran diferencia es que poseen una cúpula flotante anticorrosiva, la cual se desplaza hacia arriba si se produce biogás y se desplaza hacia abajo si consume biogás (ver siguiente figura). Es muy eficiente en la producción de biogás, debido a que la presión dentro del biodigestor se mantiene casi constante, con pocas fluctuaciones, y posee un gasómetro integrado<sup>23</sup>.

Figura 2. Esquema de biodigestor tipo hindú.



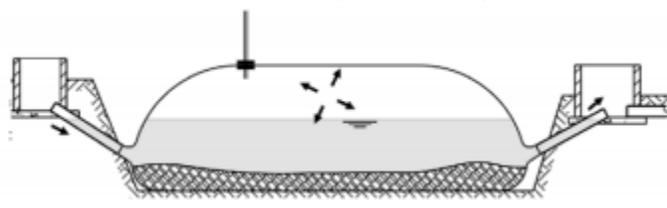
Fuente: Guardado, J. (2007).

### c. Tipo Taiwán

Comúnmente llamado biodigestor tubular, fabricado de material sintético de alta densidad, tiene una forma tubular horizontal. El flujo de materia se desplaza horizontalmente de la entrada de la carga y la salida del biofertilizante (ver siguiente figura). Las ventajas de este tipo de biodigestores es que tienen un bajo costo y facilidad de operación y mantenimiento<sup>79</sup>.

<sup>23</sup> Guardado, J. (2007). Diseño y Construcción de plantas de biogás sencillas. Ciudad de la Habana, Cuba: CUBASOLAR.

Figura 3. Esquema de biodigestor tipo Taiwán.



Fuente: Guardado, J. (2007).

La digestión anaeróbica se puede aplicar a las fracciones orgánicas de los residuos sólidos municipales, residuos silvoagropecuarios, residuos orgánicos de procesos industriales como, por ejemplo, residuos de la industria agroalimentaria, lodos de plantas de tratamiento de aguas servidas, entre otras posibles fuentes de suministro<sup>18</sup>. Existen distintas alternativas y configuraciones para llevar a cabo la digestión anaeróbica, en la siguiente tabla se mencionan algunas.

Tabla 3. Configuraciones posibles para digestión anaeróbica.

Criterio	Alternativas disponibles
Tipo de alimentación	Continua
	Discontinua
	Semicontinua
Etapas en que se desarrolla el proceso	Una etapa
	Multietapas
Tipo de digestión	Húmeda
	Semi seca o semi húmeda
	Seca
Temperatura de operación	Psicrofílica
	Termofílica
	Mesofílica

Fuente: Elaboración propia a partir de SUBDERE (2019)<sup>24</sup>.

En este proceso existen tres rangos de temperaturas aplicados, dentro de los cuales proliferan distintos tipos de microorganismos anaeróbicos (ver siguiente tabla).

Tabla 4. Rangos de temperatura en etapas de fermentación anaeróbica.

Fermentación	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo de fermentación
Psicrofílica	4-10 °C	15-18 °C	20-25 °C	Más de 100 días
Mesofílica	15-20 °C	25-35 °C	35-45 °C	30-60 días
Termofílica	25-45 °C	50-60 °C	75-80 °C	10-15 días

Fuente: ONUDI (2017); Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD); Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), GEF. (2011).

<sup>24</sup> Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE). (2018). Estudio de Factibilidad Del Funcionamiento de Tecnologías que procesen Residuos Sólidos Domiciliarios, Asimilables y Otros – ID 761-49-LP18.

De los tres rangos de temperatura, el régimen mesofílico es el más usado, por razones de requerimientos energéticos. Se debe tener en cuenta como regla general, que la tasa de generación del metano se duplica por cada 10 °C de incremento de temperatura<sup>25</sup>. La biodigestión aplicada en climas fríos ha sido tradicionalmente escasa, principalmente debido a la relación desfavorable entre las bajas temperaturas y la velocidad de la digestión<sup>26</sup>. Por lo tanto, **se recomienda aplicar en sitios con condiciones climáticas no muy frías (temperatura medio anual menor a 20°C) ya que habría un gasto de energía extra en condicionar la temperatura.**

Para que el proceso sea eficiente, los microorganismos implicados deberían encontrarse en condiciones de vida óptimas. Esto incluye un valor pH apropiado, la ausencia de oxígeno, un buen suministro de los nutrientes necesarios y la temperatura adecuada, que en la mayoría de los casos es de 40 °C (mesofílico) o de 50-55 °C (termofílico),<sup>27</sup> en regiones con climas fríos, gran parte del biogás generado debe ser empleado en el propio proceso para auto mantención energética<sup>28</sup>. En la siguiente tabla se puede apreciar cómo afecta la temperatura sobre en proceso de digestión anaeróbica en lodos.

Tabla 5. Efecto de la temperatura sobre la tasa de producción de metano de lodos.

Temperatura (°C)	Tasa de producción de CH <sub>4</sub> (µg/mol/g de lodo húmedo)
5	0,28
10	1,29
15	2,31
20	3,89
25	5,76

Fuente: Elaboración propia a partir de Guerrero, L., Huiñir, C., Montalvo, S. y Barahona, A. (2019).

Cabe destacar que, a pesar de las limitaciones climatológicas, el biogás resulta para cualquier país un recurso energético estratégico en periodos de contingencia, en el caso de países con climas fríos, las tecnologías de digestión anaerobia son muy utilizadas para el tratamiento de lodos de origen orgánico, debido a los altos requerimientos de oxígeno que se necesitan para su estabilización por vía aerobia<sup>23</sup>.

La configuración que tenga una planta de digestión anaeróbica se ajustará al tipo de suministro que reciba, y a un análisis local de ventajas y desventajas que presente cada alternativa. Para el caso de residuos sólidos municipales, existen instalaciones a nivel internacional que funcionan con **digestión seca**, a pesar de que la inversión es alta, los costos y complejidades operacionales suelen ser menores que aquellos de digestión húmeda. Además, el rendimiento para generar biogás es menor, por lo tanto, suele no ser

<sup>25</sup> Almeida, D. R. (2010). Estudio de la co-digestión anaeróbica de desechos orgánicos agroindustriales. AVANCES, Vol. 2, p. C12-C17.

<sup>26</sup> Poggio, D., Prado, M., Martí, I., y Velo, E. (2010). Biodigestores de bajo coste para climas andinos. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/44898990\\_Adaptacion\\_de\\_biodigestores\\_tubulares\\_de\\_plastico\\_a\\_climas\\_frios](https://www.researchgate.net/publication/44898990_Adaptacion_de_biodigestores_tubulares_de_plastico_a_climas_frios)

<sup>27</sup> Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). (2012). Digestato como fertilizante. Disponible en: [https://www.digestate-as-fertilizer.com/Download/Digestato\\_como\\_fertilizante.pdf](https://www.digestate-as-fertilizer.com/Download/Digestato_como_fertilizante.pdf)

<sup>28</sup> Guerrero, L., Huiñir, C., Montalvo, S. y Barahona, A. (2019). Tratamiento anaerobio de residuos. Fundamentos y avances en la producción de biogás. Editorial USM.

una opción competitiva en casos donde no existen incentivos directos. Por otro lado, existen numerosos casos en que se utiliza la **digestión húmeda** para valorizar los residuos orgánicos municipales. Mayores detalles podrán ser encontrados en las secciones 3.2.2 y 3.4.3.

A continuación, se presentan las tecnologías propuestas a pequeña escala a partir del análisis de experiencias nacionales e internacionales. Se define pequeña escala a los sistemas que se desarrollan a nivel domiciliario, es decir, en la vivienda.

## 3.2 Tecnologías de tratamiento a pequeña escala

### 3.2.1 Compostaje y vermicompostaje domiciliario

#### 3.2.1.1 Caracterización del proyecto tipo

El compostaje o vermicompostaje domiciliario, consiste en aprovechar el compost o humus originado del tratamiento de los restos orgánicos de la cocina y del jardín, en el hogar para obtener un fertilizante natural. El proyecto propuesto contempla la entrega de equipamiento para valorizar los residuos orgánicos *in situ* a través de composteras o vermicomposteras a las viviendas beneficiadas.

A nivel nacional, comunas como Rapa Nui, Concepción, El Quisco, Puerto Montt, Temuco, Providencia, Maipú y La Florida, entre otras, han ejecutado iniciativas que tienen como objetivo promover un buen manejo de los residuos orgánicos domiciliarios a través de la separación de la fracción orgánica y tratamiento en el domicilio. Las ventajas de este tipo de manejo son la reducción de los costos e impactos derivados del transporte de residuos, una mayor conciencia en el generador, al ser él mismo responsable del tratamiento de valorización.

#### 3.2.1.2 Equipamiento

Previo a la entrega del equipamiento requerido para la implementación del programa, se recomienda la concientización y capacitación a todos los actores involucrados en la gestión de los residuos domiciliarios tales como autoridades, funcionarios municipales, comunidad escolar, ciudadanía, entre otros. De acuerdo con la experiencia y lecciones aprendidas de los proyectos ya ejecutados en el país, se recomienda realizar al menos 3 talleres a los grupos de actores antes mencionados, sobre conceptos generales tales como la jerarquía en el manejo de residuos, impacto ambiental de los residuos generados en el hogar y los beneficios de la valorización de los residuos orgánicos. Estas charlas teóricas deberían tener una duración a entre 90 y 120 minutos.

Municipios que han realizado proyectos de valorización de residuos orgánicos a nivel domiciliario, han optado por composteras, vermicomposteras, o ambas, dependiendo de las características de las viviendas. Las municipalidades de Providencia y Concepción entregan un “kit de compostaje o vermicompostaje” en comodato, también conocido como préstamo de uso, es decir el municipio entrega el equipamiento al ciudadano beneficiario, quien puede utilizarla mientras viva en la comuna.

En la siguiente tabla, se presenta el equipamiento utilizado por diferentes municipios que han realizado este tipo de proyectos.

Tabla 6. Tipo de equipamiento utilizado por municipios en proyectos de valorización de residuos orgánicos a pequeña escala.

Comuna	Vermicomposteras	Composteras
Providencia	✓	✓
Maipú		✓
La Florida	✓	
El Quisco	✓	
Rapa Nui		✓
Concepción	✓	✓
Temuco	✓	✓

Fuente: Elaboración propia a partir de licitaciones presentadas en Mercado Público (2019).

En los casos analizados, el municipio entrega el equipamiento a las familias beneficiadas, pudiendo ser compostera o vermicompostera, dependiendo de las condiciones de las viviendas. Se recomienda que, en conjunto con la entrega, se realice en terreno al menos una capacitación práctica a las familias beneficiarias, indicando por ejemplo las condiciones en las que se debe ubicar y mantener la compostera o vermicompostera, el material a valorizar, el modo en que se deberán colocar los residuos, y la operación y mantención de los implementos.

Fotografía 1. Jardín Infantil beneficiario de programa de entrega de composteras.



Fuente: Proyecto del Fondo de Protección Ambiental (FPA) “Comité Santa Teresa educa y difunde sobre el cuidado Medio Ambiente mediante el uso de composteras y vermicomposteras”.

Para asegurar una implementación correcta, se requiere hacer un seguimiento a las viviendas beneficiadas, al respecto se recomienda habilitar vías de comunicación permanente entre la coordinación del programa y los usuarios, entre ellas aplicaciones o plataformas de redes sociales y acompañamiento remoto. Estas pueden ser herramientas útiles y fáciles de implementar para responder de manera permanente y oportuna todas las dudas de los beneficiarios. Se recomienda también llevar a cabo visitas en terreno para conocer las condiciones de cada compostera o vermicompostera y resolver las consultas o problemas que puedan surgir en cada vivienda.

Fotografía 2. Compostera con residuos orgánicos domiciliarios en proceso de descomposición.



Fuente: Extraído de la página web <http://tremending.com/wpcontent/uploads/2017/02/Capas-en-compostera.jpg>

Los procesos de seguimiento aplicados a la fecha en los municipios entrevistados han tenido una duración aproximada entre seis meses y un año, sin embargo, y de acuerdo con la experiencia internacional, se recomienda que el seguimiento sea una actividad permanente en el territorio con el fin de asegurar el éxito sostenido de este tipo de iniciativas. A continuación, se presenta una tabla resumen con las acciones recomendadas para el desarrollo de este tipo de programas.

Tabla 7. Acciones recomendadas previas y posteriores a la entrega de equipamiento.

Etapa	Beneficiado	Objetivo	Acciones	Responsable
Previo entrega	Autoridades	Actores conscientes sobre la gestión de residuos orgánicos.	Al menos tres talleres de conceptos generales de 120 minutos cada uno.	Unidad Medio Ambiente – Empresa contratada
	Funcionarios municipales			
	Comunidad escolar			
	Ciudadanía			
Entrega equipamiento	Ciudadanía	Ciudadanos con equipamiento para valorizar de RO	Entrega kits de compostaje o vermicompostaje.	
Pos entrega	Ciudadanía	Ciudadanos con asesoría continua	Al menos tres visitas durante el primer año a las viviendas beneficiadas.	
			Difusión en RRSS permanente.	
			Acompañamiento remoto permanente.	

Fuente: Elaboración propia (2019).

Existen municipios que luego de apreciar la efectividad de este tipo de proyectos en etapas piloto, han decidido expandirlo en el tiempo, aumentando paulatinamente la cobertura de beneficiarios, según la siguiente tabla.

Tabla 8. Entrega de equipamiento para valoración de residuos orgánicos a nivel domiciliario a lo largo del tiempo.

Municipio	Año	Composteras	Vermicomposteras	Total equipamiento anual	Total equipamiento por comuna
Rapa Nui	2011	400	-	400	900
	2017	500	-	500	
Concepción	2016	267	633	900	4.000
	2017	600	400	1.000	
	2018	501	549	1.100	
	2019	500	500	1.000	
Temuco	2018	1.000	-	1.000	3.000
	2019	2.000	-	2.000	

Fuente: Elaboración propia a partir de licitaciones presentadas en Mercado Público (2019).

En **Rapa Nui**, la licitación realizada el año 2017 denominada “Programa comunal de compostaje RSD de la comuna de isla de pascua. ID Proyecto: 5201161502” solicitó dentro de las especificaciones técnicas el seguimiento de las composteras entregadas durante el año 2011 (400 composteras respectivamente). La consultora a cargo declaró que a la fecha aún se mantenían en operación el 84%<sup>29</sup> de las composteras entregadas. En la entrevista con la contraparte municipal de Rapa Nui, se destacó que una de las

<sup>29</sup> Informe 3 – Línea Base. Programa Comunal de Compostaje RSD de la comuna de Isla de Pascua. Octubre 2018.

razones por las que los beneficiarios dejaban de usar las composteras, era debido a que algunas de estas “se volaban” por la intensidad de viento en el sector.

Sin perjuicio de lo anterior, la participación sostenida en el tiempo por parte de los beneficiarios en este programa de compostaje es destacable, tomando en cuenta el tiempo que pasó sin mayor seguimiento o supervisión. A partir de estos resultados se apreció un gran compromiso de la población a mantener conductas que promueven el cuidado del medio, existiendo un gran nivel de conciencia ambiental y de responsabilidad individual sobre los impactos relacionados con la generación de residuos.

En **Concepción**, la encargada de la Dirección de Medio Ambiente del municipio indicó que, a partir del seguimiento realizado se estima que un 5% de viviendas han dejado de participar en el programa de compostaje domiciliario, siendo una de las razones principales el cambio de residencia<sup>30</sup>. A partir de esta experiencia, se puede concluir que es necesario tener en consideración, a la hora de desarrollar este tipo de iniciativas, las siguientes acciones:

- a. La entrega de composteras se realizó a través de un proceso de inscripción voluntaria, es decir, solo aquellos ciudadanos interesados en realizar esta labor postularon. En este escenario, el porcentaje de permanencia en el programa es de largo plazo y baja deserción.
- b. El monitoreo y acompañamiento constante resultó ser un elemento central en la obtención de buenos resultados de largo plazo.

#### 3.2.1.2.1 Compostaje domiciliario

El compostaje a pequeña escala es un proceso bastante flexible en relación con el equipamiento requerido, puede realizarse a través de distintas técnicas: en sistemas cerrados o contenedores y en espacios abiertos o al aire libre. El sistema depende del espacio disponible, la cantidad y características del material a compostar y las condiciones climáticas. Los contenedores cerrados o composteras son el dispositivo donde se disponen los residuos orgánicos, la compostera busca garantizar un compostaje eficiente, manteniendo en niveles adecuados los parámetros de humedad, temperatura y aireación<sup>31</sup>.

A nivel domiciliario se utilizan frecuentemente composteras elaboradas con Polietileno de Alta Densidad (HDPE), sin fondo y con ranuras para ventilación, su volumen es de 300 litros aproximadamente. A continuación, se presentan imágenes referenciales de composteras que se han usado para programas de valorización de residuos orgánicos domiciliarios en diversas comunas del país.

---

<sup>30</sup> Entrevista telefónica con profesional de la Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Concepción.

<sup>31</sup> Jaramillo, G. y Zapata, L. (2008). Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia. Tesis de especialización, Facultad de Ingeniería Ambiental esp. Gestión ambiental; Universidad de Antioquia, Colombia. Disponible en:  
<http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>

Fotografía 3. Composteras domiciliarias.



Fuente: Equipamiento adjudicado en las licitaciones públicas realizadas a nivel nacional, para más detalles revisar Tabla 9.

De acuerdo con lo que se puede desprender de las licitaciones de compra de bienes y servicios publicada en el portal de Mercado Público<sup>32</sup>, la compra del equipamiento consiste generalmente en de un “*Kit de compostaje*” el que incluye, además de la compostera, el bastón aireador y un contenedor con una capacidad de 5 a 10 litros para la acumulación de residuos en la cocina.

De acuerdo con la información entregada por parte de uno de los proveedores de este tipo de tecnologías, la capacidad de la compostera es de aproximadamente 10 kilos al día, asegurando el manejo de los residuos orgánicos generados diariamente por los integrantes de una familia promedio en nuestro país (3,1 habitantes por vivienda<sup>33</sup>).

#### 3.2.1.2.2 Vermicompostaje domiciliario

Al igual que en el compostaje domiciliario, a través del vermicompostaje es posible transformar *in situ* un residuo en un recurso. Es una forma efectiva de convertir los residuos orgánicos domiciliarios en *humus*, un material rico en nutrientes, que al igual que el compost, proporciona beneficios al suelo, como mejoramiento de la estructura, aireación e incremento de la actividad biológica. No obstante, el humus, también llamado vermicompost, tiene más propiedades en comparación al compost, dado por su menor pH, menor salinidad, menor concentración de sodio y mayor humedad retenida, lo convierten en un mejor sustrato para ser utilizado en la agricultura<sup>34</sup>.

El vermicompostaje es una técnica que puede llevarse a cabo en espacios reducidos<sup>35</sup>, pudiendo desarrollarse al interior de departamentos o balcones, patios cerrados, en

<sup>32</sup> Mercado Público. Disponible en <https://www.mercadopublico.cl/Home>

<sup>33</sup> Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (INE). (2017). 2da Entrega Resultados Definitivos Censo 2017. Disponible en: [http://www.censo2017.cl/wp-content/uploads/2018/05/presentacion\\_de\\_la\\_segunda\\_entrega\\_de\\_resultados\\_censo2017.pdf](http://www.censo2017.cl/wp-content/uploads/2018/05/presentacion_de_la_segunda_entrega_de_resultados_censo2017.pdf)

<sup>34</sup> Vásquez, O. y Loli, O. (2018) Compost y vermicompost como enmiendas en la recuperación de un suelo degradado por el manejo de *Gypsophila paniculata*. 2018, vol.9, n.1, pp.43-52. ISSN 2077-9917. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6504607>

<sup>35</sup> Vanegas, D. (2018). Utilización de compostaje tradicional y vermicompostaje como estrategia para la implementación de agricultura urbana en Altos del Pino, Cazucá. Disponible en: [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1799&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1799&context=ing_ambiental_sanitaria)

superficies cementadas, al interior de salas de clases o terrazas, además de espacios al aire libre. A través de los programas de vermicompostaje, se ha utilizado principalmente vermicomposteras del tipo vertical con capacidad de al menos 50 litros, con sistemas de bandejas y llave.

Fotografía 4. Vermicomposteras domiciliarias.



Fuente: Equipamiento adjudicado en las licitaciones públicas realizadas a nivel nacional, para más detalles revisar Tabla 13.

Los municipios hasta ahora han adquirido este tipo de equipamiento a través de la publicación de licitaciones para la compra de bienes y servicios en el portal de Mercado Público<sup>36</sup>, requiriendo la compra de un “Kit de vermicompostaje” el cual incluye generalmente además de la vermicompostera, un núcleo de lombrices, un rastrillo y un contenedor con una capacidad de 5 a 10 litros para almacenar restos de vegetales.

De acuerdo con la información entregada por uno de los proveedores de este tipo de tecnologías, la capacidad de la vermicompostera es de aproximadamente 1 kilo de residuos orgánicos al día, asegurando el manejo diario de los residuos orgánicos generados por una familia promedio en nuestro país, integrada por 3,1 habitantes por vivienda<sup>37</sup>.

### 3.2.1.3 Necesidades de terreno

La superficie requerida para la instalación de una compostera o vermicompostera domiciliaria, no supera en promedio los dos metros cuadrados. Este tipo de soluciones es posible de ser implementada en comunas con alta o baja densidad. Existen experiencias exitosas en comunas urbanas, con alta densidad poblacional como Providencia y en comunas rurales con una menor densidad poblacional, como por ejemplo Rapa Nui. A continuación, se presentan los requerimientos específicos para cada sistema.

<sup>36</sup> Mercado Público. Disponible en <https://www.mercadopublico.cl/Home>

<sup>37</sup> Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (INE). (2017). 2da Entrega Resultados Definitivos Censo 2017. Disponible en: [http://www.censo2017.cl/wp-content/uploads/2018/05/presentacion\\_de\\_la\\_segunda\\_entrega\\_de\\_resultados\\_censo2017.pdf](http://www.censo2017.cl/wp-content/uploads/2018/05/presentacion_de_la_segunda_entrega_de_resultados_censo2017.pdf)

#### 3.2.1.3.1 Compostaje domiciliario

Las composteras deben instalarse en contacto directo con la tierra, en un sitio donde no reciba luz solar directa durante el día. Al encontrarse al aire libre, es necesario tener en cuenta factores climáticos que puedan afectar su funcionamiento, por ejemplo, en la comuna de Rapa Nui algunas de ellas no resistieron los fuertes vientos, a pesar de tener un sistema de anclaje al suelo.

Por otro lado, los microorganismos encargados de degradar el material orgánico tienen una fase de activación con temperaturas que se encuentran entre 40°C y 50°C, por lo tanto, el clima frío puede desacelerar la actividad de microorganismos. Sin embargo, de acuerdo con la experiencia adquirida en el programa “*Compostaje de residuos sólidos domiciliarios para la Región de Magallanes y la Antártica Chilena*”, realizado por el Ministerio del Medio Ambiente en conjunto con la Universidad de Magallanes, fue posible verificar que es posible aplicar este tipo de tecnología en sectores con temperaturas bajas.

#### 3.2.1.3.2 Vermicompostaje domiciliario

Las vermicomposteras utilizadas en los proyectos pueden instalarse sobre cualquier tipo de superficie, pero se deben ubicar en un lugar protegido de las temperaturas extremas y de la exposición directa del sol. Hay diferentes tipos de lombrices, pero la especie más conocida, manipulada y comercializada es la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). Esta especie es fotofóbica y se desarrolla de manera adecuada en zonas con temperaturas que fluctúan entre 15°C y 24°C, siendo el óptimo cercano a los 20°C. Al encontrarse expuestas a temperaturas inferiores a 5°C, las lombrices aumentan su mortalidad y bajan su metabolismo produciendo humus en menor cantidad. Sin embargo, de acuerdo con la experiencia adquirida en el Programa “*Compostaje de residuos sólidos domiciliarios para la Región de Magallanes y la Antártica Chilena*”, se pudo constatar que esta especie logra sobrevivir a temperaturas cercanas a los 0°C, teniendo un impacto en la cantidad de humus producido<sup>38</sup>.

#### 3.2.1.4 Servicios básicos, compostaje domiciliario

El compostaje domiciliario no requiere electricidad para su operación, ya que el proceso de aireación del compost se realiza manualmente. Con respecto a los requerimientos de agua, para que la compostera funcione en condiciones óptimas es necesario que durante el proceso se mantenga una humedad entre un 55% y 65% para asegurar la biodegradación óptima. La frecuencia del riego, para mantener los niveles adecuados de humedad antes mencionados, dependerá de las condiciones climáticas locales y el material tratado. Una manera sencilla de monitorear la humedad del compost es aplicar la “**técnica del puño cerrado**”, que consiste en introducir la mano en la compostera, sacar un puñado de material que no sea fresco, apretarlo y abrir la mano:

- El material debe quedar apelmazado, pero sin escurrimiento de agua.
- Si corre agua entre los dedos, se debe airear y/o añadir material secante alto en carbono (aserrín, hojas secas u otro similar).

---

<sup>38</sup> Ministerio del Medio Ambiente y Universidad de Magallanes. (2018). Manual de compostaje para zonas frías. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/1DKhD1dtFf9jPVYO3WrEpRbSvXwrhJhA9/view>

- Si el material queda suelto en la mano, entonces se debe añadir agua y/o añadir material fresco alto en nitrógeno (restos de frutas, hortalizas o césped)<sup>39</sup>.

### 3.2.1.5 Servicios básicos, vermicompostaje domiciliario

El sistema de vermicompostaje domiciliario, al igual que el compostaje domiciliario, no requiere electricidad para su operación, ya que tanto el recambio de bandejas en las vermicomposteras y el control del nivel de líquido se realiza manualmente.

Sobre los requerimientos de agua:

- Las lombrices necesitan vivir por lo menos con un 75% de humedad<sup>40</sup>, por lo tanto, se necesitará que la vermicompostera se encuentre con ese nivel de humedad.
- Generalmente con el aporte diario de restos húmedos de la cocina (frutas, verduras) no es necesario agregar más agua.
- Si por el contrario la vermicompostera está demasiado húmeda, puede ser un inconveniente y dificultar la respiración de las lombrices, en este caso habría que aportar materiales secos como papel, servilletas, cartón, hojas secas, entre otros.

### 3.2.1.6 Costos de inversión y operación, compostaje domiciliario

La siguiente información fue obtenida a partir de las licitaciones realizadas en Chile para la implementación de sistemas de manejo de residuos orgánicos a pequeña escala y cotizaciones extraídas de Mercado Público. En la siguiente tabla se presentan los costos de adquisición directa de distintos volúmenes de compra.

---

<sup>39</sup> Aranda, C. (2019). Análisis de Transformaciones Limpias de Residuos Orgánicos en Composteras Domésticas de Calidad. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/profile/Cesar\\_Aranda\\_Castillo/publication/331562706\\_Analisis\\_de\\_Transformaciones\\_Limpias\\_de\\_Residuos\\_Organicos\\_en\\_Composteras\\_Domesticas\\_de\\_Calidad/links/5c80aeb9458515831f8b3611/Analisis-de-Transformaciones-Limpias-de-Residuos-Organicos-en-Composteras-Domesticas-de-Calidad.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Cesar_Aranda_Castillo/publication/331562706_Analisis_de_Transformaciones_Limpias_de_Residuos_Organicos_en_Composteras_Domesticas_de_Calidad/links/5c80aeb9458515831f8b3611/Analisis-de-Transformaciones-Limpias-de-Residuos-Organicos-en-Composteras-Domesticas-de-Calidad.pdf)

<sup>40</sup> Villegas-Cornelio, C. y Laines, J. (2017). Vermicompostaje: I avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v8n2/2007-0934-remexca-8-02-393-en.pdf>

Tabla 9. Costo equipamiento para la ejecución de programas de compostaje domiciliario.

Tipo de contratación	Municipio	Descripción	Unidad	Costo unitario neto (\$)	Costo total neto (\$)	Costo total (\$ IVA incl.)
Licitación: Entrega de insumos	Puerto Montt <sup>41</sup>	Kit compostaje: Compostador Huerto Jardín con Bastón Aireador Espiral	50	55.462	2.773.100	3.299.989
Licitación: Entrega de insumos	Concepción <sup>42</sup>	Kit compostaje: Compostador Huerto Jardín con Bastón Aireador Espiral	500	45.042	22.521.000	26.799.990
Licitación: Entrega de insumos	Temuco <sup>43</sup>	Kit de compostaje domiciliario. Compostera, contenedor de residuos orgánicos y bastón aireador.	1.000	36.450	36.449.580	43.375.000
Licitación: Entrega de insumos	Temuco <sup>44</sup>	Kit de compostaje domiciliario. Compostera, contenedor de residuos orgánicos y bastón aireador.	2.030	34.900	70.847.000	84.307.930
Licitación: Entrega de insumos + Capacitación y seguimiento	El Quisco <sup>45</sup>	Compostera 300 Litros + bastón aireador + contenedor 8 Litros  Capacitación de vecinos, entrega y capacitación sobre el uso del equipo compostador a contribuyentes y funcionarios municipales. Seguimiento y acompañamiento durante 7 meses.	500	113.649	56.824.885	61.444.735

Fuente: Elaboración propia a partir de información extraída de Mercado Público y cotizaciones (2019).

<sup>41</sup> Licitación ID: 2324-195-L117 Kit compostaje separación de residuos programa compostaje en origen / DI.M.A.O- Dpto. Medio ambiente.

<sup>42</sup> Licitación ID: 748891-8-LP19 Adquisición de kit de composteras y vermicomposteras 2019.

<sup>43</sup> Licitación ID: 1658-307-LP18 P.102-2018. Adquisición de 1000 sets para compostaje domiciliario.

<sup>44</sup> Licitación ID: 1658-447-LQ19 P.134-2019 Adquisición de kits de compostaje domiciliario.

<sup>45</sup> Licitación ID: 3693-91-LP19 Capacitación programa compostaje domiciliario.

Tabla 9. Costo equipamiento para la ejecución de programas de compostaje domiciliario. (continuación).

Tipo de contratación	Comuna	Ítem	Unidad	Costo unitario neto (\$)	Costo total neto (\$)	Costo total (\$ IVA incl.)
Licitación: Entrega de insumos + Capacitación y seguimiento	Rapa Nui <sup>46</sup>	Compostera 300 Litros + bastón aireador + contenedor 8 Litros  Servicio de asesoría, capacitaciones, talleres y provisión de equipamiento. Seguimiento y acompañamiento durante 6 meses.	500	196.482	98.241.000	116.906.790
Cotización	-	Kit Compost Compostera 300 Litros + bastón aireador + contenedor 8 Litros	100	50.420	5.042.000	5.999.980
Cotización	-	Kit Compost Compostera 300 Litros + bastón aireador + contenedor 8 Litros	300	46.000	13.800.000	16.422.000
Cotización	-	Kit Compost Compostera 300 Litros + bastón aireador + contenedor 8 Litros	500	45.000	22.500.000	26.775.000
Cotización	-	Kit Compost Compostera 300 Litros + bastón aireador + contenedor 8 Litros	1.000	40.000	40.000.000	47.600.000
Cotización	-	Kit Compost Compostera 300 Litros + bastón aireador + contenedor 8 Litros	2.000	38.000	76.000.000	90.440.000

Fuente: Elaboración propia a partir de información extraída de Mercado Público y cotizaciones (2019).

<sup>46</sup> Licitación ID: 4044-51-LQ17 Programa compostaje RSD Isla de pascua.

Como se puede apreciar en las cotizaciones, el precio de los equipos varía de acuerdo con la cantidad que se desea comprar, obteniendo un menor costo al realizar una compra por un mayor número de composteras.

Las municipalidades de Rapa Nui y El Quisco, junto con la adquisición de las composteras y vermicomposteras, contrataron la capacitación y el seguimiento durante seis y siete meses respectivamente. En el caso de las municipalidades restantes, no incluyeron este costo junto con la adquisición del equipamiento, por tanto, financiaron la capacitación y el seguimiento de manera separada. En Concepción se hicieron cargo de la entrega del equipamiento y el seguimiento desde la Dirección de Medio Ambiente, destinando un profesional encargado a tiempo completo del “Programa de compostaje y huertos orgánicos”. Este profesional cuenta adicionalmente con el apoyo de cuatro asistentes técnicos, quienes están a cargo de realizar, al menos, tres visitas anuales a los beneficiarios del programa<sup>47</sup>. Al respecto, en la siguiente tabla se presenta el presupuesto asignado durante el año 2019 al “Programa compostaje y huertos orgánicos”.

Tabla 10. Presupuesto designado al “Programa compostaje y huertos orgánicos” de la Municipalidad de Concepción durante el año 2019.

Ítem	Cuenta	Denominación	Descripción	Total (\$)
1	21.04.004.001	Honorarios	Honorarios, profesional y 4 monitores.	36.544.210
2	22.04.007	Materiales y útiles de aseo	Toalla de papel, alcohol gel, guantes de látex, cloro, etc.	200.000
3	22.01.001	Alimento personas	Servicios de café para las reuniones, galletas, jugo, café y té.	150.000
4	22.07.002.001	Servicios de impresión	Impresos de difusión, afiches, volantes, dípticos, pendones, strikes, formularios, calendarios, bolsas reciclables y manuales de compostaje.	6.000.000
5	29.16.001	Equipos computacionales	1 data y 1 disco duro (registros masivos comunales)	400.000
6	22.04.001.002	Materiales de Oficina	Papelería, accesorios de oficina, tablas de terreno.	300.000
7	22.04.002.001	Textos de enseñanza	Libros especializados en técnicas de compostaje y huertos orgánicos.	500.000
Monto total programa				44.094.210

Fuente: Elaboración propia a partir de Municipalidad de Concepción (2019)<sup>48</sup>.

Con respecto a los costos de operación, los programas de compostaje domiciliario que se ejecutan actualmente tienen un costo de operación asociado al seguimiento y acompañamiento de los beneficiarios de este. Este seguimiento implica realizar al menos una visita a cada vivienda, en un periodo de tiempo definido, con el objetivo de verificar el estado de la compostera y brindar asesoría técnica, en caso de que se identifique algún problema en su operación (olor, presencia de vectores, entre otros). Además del

<sup>47</sup> En el caso de Concepción, son aproximadamente 1.000 viviendas beneficiadas mediante la entrega de composteras o vermicomposteras, quienes tienen a lo menos 3 visitas anuales.

<sup>48</sup> Detalle de gastos de “Programa de compostaje y huertos orgánicos” de la municipalidad de Concepción, disponible en Plataforma Mercado Público (2019).

seguimiento, será necesario considerar costos asociados al recambio de las composteras dañadas o que terminen su vida útil. De acuerdo con la información recabada, las composteras y vermicomposteras tendrían una vida útil de 10 y 12 años respectivamente.

### 3.2.1.6.1 Costos de inversión

A partir de los costos de las experiencias existentes, en la siguiente tabla se presenta una estimación de los costos de inversión para el tratamiento de residuos orgánicos a través de compostaje domiciliario para 1.000 viviendas, asumiendo una tasa de participación<sup>49</sup> de 100% y una tasa de captura<sup>50</sup> del 60%.

Tabla 11. Costos de inversión en sistema de manejo de valorización de RO utilizando la tecnología del compostaje a pequeña escala.

Ítem	Unidades	Costo unitario neto (\$)	Costo total neto (\$)	Costo total (\$) IVA incl.
Kit compostera + contenedor cocina Incluye despacho domiciliario	1.000	40.000	40.000.000	47.600.000
Equipos computacionales	1	336.134	336.134	400.000
Materiales de oficina	1	252.101	252.101	300.000
Textos de enseñanza (libros especializados en técnicas de compostaje)	1	420.168	420.168	500.000
Total costos inversión				48.800.000

Fuente: Elaboración propia a partir de cotizaciones solicitadas y Municipalidad de Concepción (2019).

### 3.2.1.6.2 Costos de operación

A partir de los costos de las experiencias existentes, en la siguiente tabla se presenta una estimación del costo anual asociado a la operación para el tratamiento de residuos orgánicos a través de compostaje domiciliario para 1.000 viviendas, con un 100% de participación y una tasa de captura del 60%.

<sup>49</sup> La tasa de participación se refiere al porcentaje de las viviendas que participan activamente de un programa de separación en origen y recolección diferenciada de residuos. Se obtiene de la división entre las viviendas que efectivamente participan entregando sus residuos de forma separada al sistema de recolección diferenciada y la cantidad total de viviendas consideradas en el programa, multiplicada por 100. Más detalles sobre la determinación de este número podrán ser revisados en la sección 3.4.

<sup>50</sup> La tasa de captura se refiere al porcentaje de los residuos orgánicos domiciliarios que son efectivamente separados en origen. Se obtiene de la división entre la cantidad de residuos orgánicos que son separados en origen y la cantidad máxima que podría ser separada, multiplicada por 100. Más detalles sobre la determinación de este número podrán ser revisados en la sección 3.4.

Tabla 12. Costos anuales de operación en sistema de manejo de valorización de RO utilizando la tecnología del compostaje a pequeña escala.

Ítem	Unidades	Costo unitario neto (\$)	Costo total neto (\$)	Costo total (\$) IVA incl.
Honorarios (Encargado Programa)	1	10.200.000	10.200.000	10.200.000
Honorarios monitores	4	6.600.000	26.400.000	26.400.000
Materiales y útiles de aseo	1	168.067	168.067	200.000
Alimento para talleres	1	126.050	126.050	150.000
Servicios de impresión	1	5.042.017	5.042.017	6.000.000
Total costos operación				42.950.000

Fuente: Elaboración propia, a partir de cotizaciones solicitadas y Municipalidad de Concepción (2019).

### 3.2.1.7 Costos de inversión y operación, vermicompostaje domiciliario

A continuación, se presenta un levantamiento de información a partir de las licitaciones realizadas en Chile para la implementación de sistemas de manejo de residuos orgánicos a pequeña escala, a través de vermicompostaje.

Tabla 13. Costo equipamiento para la ejecución de programas de vermicompostaje domiciliario.

Tipo de contratación	Municipio	Descripción	Unidad	Costo unitario neto (\$)	Costo total neto (\$)	Costo total (\$) IVA incl.
Licitación: Entrega de insumos	Providencia <sup>51</sup>	Set de vermicompostaje Vermicompostera + Nido de lombrices + rastrillo + contenedor de residuos orgánicos.	2.000	37.000	74.000.000	88.060.000
Licitación: Entrega de insumos	Concepción <sup>52</sup>	Vermicompostera Worm Factory	500	40.000	20.000.000	23.800.000
Licitación: Entrega de insumos	Temuco <sup>53</sup>	Set de vermicompostaje Vermicompostera + Nido de lombrices + rastrillo + contenedor de residuos orgánicos.	1.000	45.000	45.000.000	53.550.000
Licitación: Entrega de insumos	La Florida <sup>54</sup>	Vermicompostera Worm Café	75	50.000	3.750.000	4.462.500

Fuente: Elaboración propia a través de Mercado Público (2019).

<sup>51</sup> Licitación ID: 2490-54-LQ19 Adquisición de vermicomposteras “Programa de reciclaje orgánico”.

<sup>52</sup> Licitación ID: 748891-8-LP19 Adquisición de Kit de composteras y vermicomposteras 2019.

<sup>53</sup> Licitación ID: 1658-468-LP19 Adquisición de vermicomposteras.

<sup>54</sup> Licitación ID: 2377-287-L119 75 Vermicompostador SP 1061.

Tabla 13. Costo equipamiento para la ejecución de programas de vermicompostaje domiciliario (continuación).

Tipo de contratación	Comuna	Ítem	Unidad	Costo unitario neto (\$)	Costo total neto (\$)	Costo total (\$ IVA incl.)
Cotización	-	Kit Vermicompostera: Vermicompostera + Núcleo de lombrices + Contenedor de cocina	100	66.000	6.600.000	7.854.000
Cotización	-	Kit Vermicompostera: Vermicompostera + Núcleo de lombrices + Contenedor de cocina	300	60.000	18.000.000	21.420.000
Cotización	-	Kit Vermicompostera: Vermicompostera + Núcleo de lombrices + Contenedor de cocina	500	58.000	29.000.000	34.510.000
Cotización	-	Kit Vermicompostera: Vermicompostera + Núcleo de lombrices + Contenedor de cocina	1.000	56.000	56.000.000	66.640.000
Cotización	-	Kit Vermicompostera: Vermicompostera + Núcleo de lombrices + Contenedor de cocina	2.000	54.000	108.000.000	128.520.000

Fuente: Elaboración propia a través de Mercado Público (2019).

### 3.2.1.7.1 Costos de inversión

A partir de los costos de las experiencias existentes, en la siguiente tabla se presenta una estimación de los costos de inversión para el tratamiento de residuos orgánicos a través de vermicompostaje domiciliario para 1.000 viviendas, con un 100% de participación y una tasa de captura del 60%.

Tabla 14. Costos de inversión en sistema de manejo de valorización de RO utilizando la tecnología del vermicompostaje a pequeña escala.

Ítem	Unidades	Costo unitario neto (\$)	Costo total neto (\$)	Costo total (\$) IVA incl.
Kit vermicompostera + contenedor cocina. Incluye despacho domiciliario	1.000	56.000	56.000.000	66.640.000
Equipos computacionales	1	336.134	336.134	400.000
Materiales de oficina	1	252.101	252.101	300.000
Textos de enseñanza (libros especializados en técnicas de compostaje)	1	420.168	420.168	500.000
Total costos inversión				67.840.000

Fuente: Elaboración propia, a partir de cotizaciones solicitadas y el detalle gastos del “Programa de compostaje y huertos orgánicos” de la municipalidad de Concepción, disponible en Plataforma Mercado Público (2019).

### 3.2.1.7.2 Costos de operación

A partir de los costos de las experiencias existentes, en la siguiente tabla se presenta una estimación del costo anual asociado a la operación de un programa de vermicompostaje domiciliario para 1.000 viviendas, con un 100% de participación y una tasa de captura del 60%.

Tabla 15. Costos anuales de operación en sistema de manejo de valorización de RO utilizando la tecnología del compostaje a pequeña escala.

Ítem	Unidades	Costo unitario neto (\$)	Costo total neto (\$)	Costo total (\$) IVA incl.
Honorarios (Encargado Programa)	1	10.200.000	10.200.000	10.200.000
Honorarios monitores	4	6.600.000	26.400.000	26.400.000
Materiales y útiles de aseo	1	168.067	168.067	200.000
Alimento para talleres	1	126.050	126.050	150.000
Servicios de impresión	1	5.042.017	5.042.017	6.000.000
Total costos operación				42.950.000

Fuente: Elaboración propia, a partir de cotizaciones solicitadas y el detalle gastos del “Programa de compostaje y huertos orgánicos” de la municipalidad de Concepción disponible en Plataforma Mercado Público (2019).

### 3.2.1.8 Esquemas de financiamiento

Este tipo de proyectos puede ser financiado con recursos provenientes del presupuesto municipal o a través de la postulación de una iniciativa de inversión a alguna línea de financiamiento externo, como las que se describen a continuación:

**Programa Nacional de Residuos Sólidos (PNRS)<sup>55</sup> de SUBDERE.** Este es un programa de inversión pública que tiene por objeto mejorar las condiciones de salubridad y calidad ambiental de los centros urbanos y rurales del país, promoviendo un manejo eficiente de los residuos sólidos domiciliarios. En esta línea, uno de sus objetivos específicos se orienta a *“Fomentar programas o iniciativas destinadas a la prevención y reducción de la generación de residuos sólidos domiciliarios y asimilables, promoviendo su reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización que permita aumentar la vida útil de los sitios de disposición final”*.

El financiamiento del PNRS se otorga vía Ley de Presupuestos del Sector Público. Para el año 2019, el programa dispuso de \$4.931.162.000.- (cuatro mil novecientos treinta y un millones ciento sesenta y dos mil pesos). Tal como expresamente indica dicha Ley en su glosa N°08, los recursos del programa se destinarán a financiar iniciativas de inversión destinadas a la gestión y manejo de residuos sólidos domiciliarios, asimilables y otros, incluyendo obras, la compra de terrenos y equipamientos, la elaboración de estudios, factibilidad e ingeniería y programas para la valorización de residuos, definidos en la Guía Operativa del Programa Nacional de Residuos Sólidos<sup>56</sup>. Asimismo, la Guía señala en particular, que se pueden financiar, entre otras iniciativas elegibles *“la prevención y valorización de residuos, incluyendo la **fracción orgánica**, fomentando la separación en origen mediante el compostaje en el domicilio o a través del retiro y tratamiento en sitios indicados por cada municipio”*.

**Programa de Mejoramiento de Barrios (PMB)<sup>57</sup> de SUBDERE.** Este Programa considera entre sus objetivos *“Mejorar la calidad de vida de la población de escasos recursos que habita en condiciones de marginalidad sanitaria”*. Aunque se enfoca principalmente en el saneamiento sanitario, también financia proyectos asociados a la gestión de residuos. En este contexto, los proyectos especificados precedentemente en su mayoría han sido financiados utilizando esta línea.

El financiamiento de este programa se otorga vía Ley de Presupuestos del Sector Público. En efecto, para el año 2019 el programa dispuso de \$27.030.897.000.- (veintisiete mil treinta millones ochocientos noventa y siete mil pesos). Tal como expresamente indica la Ley, en su glosa N°05, estos fondos se destinarán a municipalidades y asociaciones municipales con personalidad jurídica y aquellas que convengan acciones en conjunto para reducir la marginalidad en los ámbitos de *“saneamiento sanitario, residuos sólidos, energización y protección del patrimonio”*<sup>58</sup>.

Según señala la glosa N°05, se podrá financiar, entre otras, proyectos y acciones concurrentes *“de minimización y mejoramiento integral del manejo de residuos sólidos*

---

<sup>55</sup> Para más información, ver: <http://www.subdere.gov.cl/programas/divisi%C3%B3n-desarrollo-regional/programa-nacional-de-residuos-s%C3%B3lidos-pnrs>

<sup>56</sup> Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE). (2018). Guía Operativa del Programa Nacional de Residuos Sólidos. Resolución Exenta N° 9187/2018. Disponible en: [http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos/guia\\_operativa\\_pnrs-res.ex\\_9187\\_de\\_2018.pdf](http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos/guia_operativa_pnrs-res.ex_9187_de_2018.pdf)

<sup>57</sup> Para más información, ver: <http://www.subdere.gov.cl/programas/divisi%C3%B3n-municipalidades/programa-mejoramiento-de-barrios-pmb>

<sup>58</sup> Diario Oficial de la República de Chile. (2018). Ley N°21.125 Ley de Presupuestos del Sector Público año 2019, p. 106. Disponible en: [http://www.dipres.gob.cl/598/articulos-187231\\_doc\\_pdf.pdf](http://www.dipres.gob.cl/598/articulos-187231_doc_pdf.pdf)

*domiciliarios y asimilables, modelos de gestión, infraestructura y equipamiento de puntos limpios”, pudiendo acceder a recursos para adquirir composteras o vermicomposteras domiciliarias hasta por un monto de 241 millones de pesos aproximadamente (5.000 UTM), sin necesitar la recomendación técnica favorable del Ministerio de Desarrollo Social y Familia.*

**Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR).** Es *“un programa de inversiones públicas, con fines de compensación territorial, destinado al financiamiento de acciones en los distintos ámbitos de infraestructura social y económica de la región, con el objetivo de obtener un desarrollo territorial armónico y equitativo” y “financia todo tipo de proyectos de infraestructura social y económica, estudios y/o programas, de cualquier sector de inversión pública, siempre y cuando no se infrinjan las restricciones establecidas en la Ley de Presupuestos del Sector Público de cada año y se enmarque dentro de la normativa del Sistema Nacional de Inversiones (S.N.I.)”.* A modo de ejemplo, se puede indicar que la Municipalidad de Concepción se encontraba, al momento de la elaboración de este estudio, en proceso de presentación al FNDR del programa llamado *“Capacitación, educación ambiental en reciclaje con uso de composteras y puntos limpios, Concepción. Código IDI 40010828-0”*, el que contempla la entrega de kits de compostaje y/o vermicompostaje para 4.000 viviendas de la comuna y actividades de seguimiento durante un año desde la entrega de los equipos.

Otra opción asociada a este fondo es obtener recursos por medio de la línea de financiamiento **FNDR Vía Circular 33 – Provisión de Residuos Sólidos** del Ministerio de Hacienda. La Circular puede financiar la *“adquisición de activos no financieros”* mediante el *Subtítulo 29, Ítem 05 “Máquinas y equipos”*.

**Fondo para el Reciclaje del Ministerio del Medio Ambiente.** Este fondo tiene por objeto financiar o cofinanciar proyectos, programas y acciones para prevenir la generación de residuos y fomentar su reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización, ejecutados por municipalidades o asociaciones de municipalidades. A este respecto, es pertinente señalar que antes de postular a esta vía de financiamiento, será necesario asegurarse que las bases especiales del fondo, asociadas al llamado que se postulará, incluyan este tipo de proyectos dentro de las iniciativas financiables, ya que dependerá del objeto asociado a cada llamado el enfoque del financiamiento. Por ejemplo, las Bases Especiales del Fondo para el Reciclaje 2020<sup>59</sup> señalaron expresamente que el fondo para ese año *“busca financiar proyectos piloto de separación en origen con infraestructura para el manejo de residuos de envases y embalajes y de residuos orgánicos, que contemplen sensibilización ciudadana y/o promoción del conocimiento técnico municipal y de recicladores de base”*.

**Financiamiento internacional.** El Fondo Verde del Clima<sup>60</sup> es un fondo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, constituido como mecanismo para ayudar a países en desarrollo en prácticas de adaptación al cambio climático y mitigación de sus efectos. Este fondo podría ser una alternativa para financiar un proyecto de estas características, considerando que **“el financiamiento para proyectos del**

---

<sup>59</sup> Para más información, ver: <https://fondos.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/12/BASES-ESPECIALES-FPR-2020.pdf>

<sup>60</sup> Para más información, ver: <https://www.greenclimate.fund/home>

**sector público se extiende a países en desarrollo y entidades del sector público, como las empresas estatales. Estas opciones pueden incluir préstamos y subvenciones”.**

### 3.2.1.9 Sistema de gobernanza

A partir de experiencias exitosas nacionales e internacionales, en la implementación de este tipo de proyectos, se presenta una propuesta de gobernanza posible de seguir para la ejecución de programas similares.

Figura 4. Propuesta de gobernanza para sistema de compostaje o vermicompostaje domiciliario.



Fuente: Elaboración propia (2019).

Para la **preparación del proyecto** se requiere de al menos un profesional o técnico del municipio con experiencia en gestión de residuos, el que debería recibir apoyo de la Secretaría de Planificación Comunal, durante el proceso de elaboración de la iniciativa, sobre todo si esta será postulada a una línea de financiamiento externa. Un caso destacable o modelo para seguir es el implementado por la Municipalidad de Maipú, que dentro de la Subdirección de Medio Ambiente cuenta con una Unidad de Planificación y Proyectos Ambientales, compuesta por dos profesionales, los cuales se encargan específicamente de elaborar proyectos enmarcados en la gestión ambiental municipal.

En cuanto a **la gestión de financiamiento** de este tipo de proyectos que se orientan a implementar mejoras en la gestión de los residuos orgánicos, es el municipio la institución encargada de financiar o gestionar financiamiento para la compra del equipamiento necesario para su implementación. Tal como se mencionó en la sección anterior, el municipio puede financiar este sistema de manejo de residuos con presupuesto propio o a través de fondos externos tales como: el Programa Nacional de Residuos Sólidos, el Fondo Nacional de Desarrollo Regional o el Fondo para el Reciclaje.

La **implementación y el seguimiento** de este tipo de sistemas, siempre debe ser liderada por el municipio. La distribución del equipamiento, capacitación y puesta en marcha puede ser realizada de manera directa por funcionarios municipales y/o por la empresa proveedora de este. En este caso particular y considerando que la valorización de los residuos se lleva a cabo en el hogar, el ciudadano tiene un rol fundamental en la adecuada identificación, separación y tratamiento de sus propios residuos orgánicos, por lo tanto, **para que este tipo de sistemas se implemente de manera óptima, es**

**fundamental que la ciudadanía reciba asesoría técnica y capacitación, antes, durante y después de la entrega del equipamiento.**

### 3.2.1.10 Ventajas y desventajas

A continuación, se presenta un cuadro resumen con algunas ventajas y desventajas asociadas a la implementación de estas tecnologías a pequeña escala.

Tabla 16. Ventajas y desventajas del compostaje y vermicompostaje aplicado a residuos orgánicos municipales a pequeña escala.

Ventajas	Desventajas
Reduce los costos e impactos derivados del transporte de residuos	No se debe incorporar residuos orgánicos de origen animal
Equipamiento de bajo costo en comparación con otras tecnologías a pequeña escala	La capacidad de tratamiento de residuos orgánicos es limitada, sobre todo para las vermicomposteras domiciliarias
El generador toma conciencia sobre el todo el proceso de tratamiento de sus residuos	Dificultad para cuantificar la cantidad real de residuos orgánicos valorizados
Como producto se genera humus o compost que puede ser utilizado como biofertilizante	Si no son bien manejadas existe el riesgo de afectar la población de lombrices (en el caso de la vermicompostera) o atraer vectores (en el caso de la compostera)
No requiere mantenimiento	

Fuente: Elaboración propia (2019).

## 3.2.2 Digestión anaeróbica a pequeña escala

### 3.2.2.1 Caracterización del proyecto tipo

El proyecto tipo analizado en esta sección contempla la entrega e instalación de biodigestores a pequeña escala, para valorizar los residuos orgánicos generados en origen, principalmente en viviendas emplazadas en zonas rurales.

El biogás es un gas combustible y está formado principalmente de metano en una concentración de 55% al 70% y dióxido de carbono en un 30% a 45%. Su composición depende de la calidad de los residuos digeridos y de la tecnología del biodigestor. Posee una composición similar al gas natural, sin embargo, presenta una mayor cantidad de impurezas en un bajo porcentaje, entre estos están el ácido sulfhídrico, monóxido de carbono, nitrógeno, hidrógeno y oxígeno. Estas impurezas deben ser removidas de acuerdo con la aplicación que tendrá el biogás generado<sup>61</sup>.

<sup>61</sup> Marcelo, D. y Viera, J. (2017). Proyecto de implementación de sistemas biodigestores para el aprovechamiento de residuos orgánicos generados por usuarios residenciales en la región Piura. En E.

Como se mencionó en la sección 3.1.4, para que el proceso sea eficiente, los microorganismos deben estar en condiciones de vida óptimas, siendo uno de los factores más importantes la temperatura del ambiente, a mayor temperatura mayor eficiencia, a menor temperatura menor eficiencia. En zonas con clima frío se recomienda utilizar el biogás generado para mantener la temperatura óptima en el reactor y de esta forma mejorar la eficiencia del proceso, pasando a ser el digestato el principal producto que se obtiene como resultado del proceso.

### 3.2.2.2 Equipamiento

El biodigestor, es una cámara hermética cerrada e impermeable que se utiliza para producir biogás y un biofertilizante denominado digestato, el cual puede ser usado directamente en los cultivos. Estos productos se logran gracias a que en su interior se realiza un proceso de fermentación anaeróbica, el cual consiste en la descomposición de los desechos orgánicos que se vierten dentro de la cámara.

Para seleccionar el biodigestor adecuado de uso doméstico en zonas preferentemente residenciales, es necesario tener en cuenta dos parámetros: el costo de instalación y los principales usuarios domiciliarios<sup>62</sup>.

El sistema de biodigestor que se recomienda para implementar en hogares de acuerdo con experiencias internacionales es el tipo Taiwán, debido a su precio y facilidades de instalación, además de aprovechar de manera óptima los residuos orgánicos generados diariamente, al ser un biodigestor que trabaja dentro del régimen semicontinuo o continuo. Este sistema tiene una vida útil de 10 años aproximadamente<sup>63</sup>, la cual coincide con la duración de la cámara de biodigestión, usualmente construida con neopreno o PVC<sup>64</sup>.

A continuación, en la siguiente figura se puede ver un modelo de este tipo de sistema que se encuentra disponible en nuestro país y en la tabla siguiente se describen sus especificaciones técnicas.

---

Carrera (Dir.), I Congreso Internacional de Ingeniería y Dirección de Proyectos III Congreso Regional IPMA – LATNET, (pp. 231-243). Lima: Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.

<sup>62</sup> Marcelo, D. y Viera, J. (2017). Proyecto de implementación de sistemas biodigestores para el aprovechamiento de residuos orgánicos generados por usuarios residenciales en la región Piura. En E. Carrera (Dir.), I Congreso Internacional de Ingeniería y Dirección de Proyectos III Congreso Regional IPMA – LATNET, (pp. 231-243). Lima: Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.

<sup>63</sup> Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2014). Biogás Comunitario. Disponible en <http://www.fao.org/publications/card/es/c/727681b8-559e-4bdf-a753-92cef2199e21/>

<sup>64</sup> Poggio, D. (2007). Diseño y construcción de dos digestores anaeróbicos en el altiplano andino peruano. Universitat Politècnica de Catalunya, España.

Figura 5. Equipo biodigestor domiciliario.



Fuente: Extraído de la página web <http://biominerals.cl/biogas/>

Tabla 17. Especificaciones técnicas biodigestor Taiwán.

Parámetro	Valor
Volumen del Sistema	2,1 m <sup>3</sup> .
Volumen del tanque de gas	10 litros.
Volumen de la cámara digestora	1.200 litros.
Dimensiones (montado)	210 x 115 x 125 cm.
Peso (montado)	1.270 kg.
Longitud de la tubería de gas	Hasta 20 m.
Presión nominal del gas	10 mbar.
Capacidad de energía máxima	4,4 KWh / 15,4 MJ
Tiempo de cocinado diario (quemador de llama simple)	Hasta 2 horas
Máxima entrada diaria de desperdicios de cocina	Hasta 6 litros
Máxima entrada diaria de excremento animal	Hasta 40 litros
Producción diaria de biofertilizante	Hasta 40 litros
Temperatura de funcionamiento	> 20 °C

Fuente: Extraído de la página web <http://biominerals.cl/biogas/>

Para que este sistema funcione de manera óptima, se recomienda instalarlo en un lugar donde la temperatura promedio se mantenga “entre 15°C y 20°C”<sup>65</sup>. En caso de que la temperatura disminuya “se recomienda agregar un calentador de agua o instalarlo dentro de un invernadero. A bajas temperaturas las bacterias no morirían, sin embargo, la velocidad de degradación de residuos orgánicos disminuiría”<sup>64</sup>. Por lo tanto, **se recomienda instalar este sistema en lugares con las condiciones necesarias para mantener la temperatura dentro de los rangos recomendados por el fabricante.** En la figura a continuación se muestra algunas alternativas que se pueden implementar para mitigar las bajas temperaturas, cuando este tipo de sistemas se instalan en zonas frías.

<sup>65</sup> Información entregada en la página web de la empresa, sección de “Preguntas frecuentes”, disponible en: <http://biominerals.cl/biogas/>

Figura 6. Alternativas para mitigar las bajas temperaturas en este tipo de sistema.



Fuente: Extraído de la página web <http://biominerals.cl/biogas/>

En el sur del país se han implementado equipos de biodigestión a escalas similares con un modelo eco diseñado, sin embargo, para lograr una biodigestión óptima, se instalan bajo tierra con una especie de escudo adiabático o sistema térmico, utilizando la energía generada para mantener la temperatura óptima en el reactor<sup>66</sup>.

### 3.2.2.3 Necesidad de terreno

Para instalar el equipo se recomienda que sea en un espacio con la máxima exposición solar posible (idealmente sin sombra). El tamaño del sistema es de 2,10 metros x 1,2 metros y debe instalarse en un área de fácil acceso, a no más de 20 metros del lugar donde se utilizará el biogás.

### 3.2.2.4 Servicios básicos

#### 3.2.2.4.1 Electricidad

La digestión anaeróbica a partir de la tecnología propuesta no requiere uso de ninguna fuente de energía adicional, excepto cuando el equipo se instala en zonas frías y se utiliza un sistema alimentado con energía eléctrica para calentar el reactor.

#### 3.2.2.4.2 Agua

Para iniciar la operación de la tecnología propuesta, se recomienda llenar el tanque con agua hasta su capacidad máxima (aproximadamente 600 litros). Una vez que el equipo se encuentra operando, es necesario agregar un litro de agua por cada litro de desecho incorporado al reactor.

### 3.2.2.5 Costos de inversión y operación

A continuación, se especifican los costos de inversión y operación para el uso de digestión anaeróbica a pequeña escala.

<sup>66</sup> Información entregada por Profesor Alejandro Chacón Aguirre. Director de Ecodiseño.cl Limitada.

### 3.2.2.5.1 Costos de inversión

A partir de los costos de las experiencias ya existentes, en la siguiente tabla se presenta una estimación del costo de inversión para el tratamiento de residuos orgánicos a través de digestión anaeróbica domiciliaria para 1.000 viviendas, con supuestos de un 100% de tasa de participación y una tasa de captura del 70%<sup>67</sup>. No se considera el costo de instalación, ya que el equipo trae consigo una guía completa paso a paso sobre como instalarlo, así como recomendaciones para su óptima ubicación y manipulación.

Tabla 18. Costos de inversión para el sistema de manejo de digestión anaeróbica a pequeña escala.

Ítem	Unidades	Costo unitario neto (\$)	Costo total neto (\$)	Costo total (\$) IVA incl.
Biodigestor	1.000	588.235	588.235.294	700.000.000
Contenedor cocina 8 Litros	1.000	4.500	4.500.000	5.355.000
Equipos computacionales	1	336.134	336.134	400.000
Materiales de oficina	1	252.101	252.101	300.000
Textos de enseñanza (libros especializados en técnicas de compostaje)	1	420.168	420.168	500.000
Total costos inversión				706.555.000

Fuente: Elaboración propia, a partir de cotizaciones solicitadas y el detalle gastos del “Programa de compostaje y huertos orgánicos” de la municipalidad de Concepción, disponible en Plataforma Mercado Público (2019).

### 3.2.2.5.2 Costos de operación

Como todo equipo que se encuentra en constante funcionamiento, es necesario realizar mantenimiento periódicamente, de esta forma se previene la ocurrencia de posibles incidentes o problemas de funcionamiento, es este sentido las principales recomendaciones son las siguientes:

- a. Reemplazar su filtro de gas una vez al año. El filtro de gas elimina el sulfuro de hidrógeno del biogás que se produce. Se puede emplear un filtro de carbón activo, el cual tiene un costo de aproximadamente \$20.000.
- b. Eliminar los residuos que se acumulan en la parte inferior del tanque del biodigestor. Estos se deben retirar una vez cada 3 años, y se pueden utilizar, aplicándolos directamente en el jardín o huerto.
- c. Sustituir la tableta de cloro en caso de que se haya disuelto por completo, este comprimido ayuda a la desinfección de las bacterias restantes en el biofertilizante.

A partir de experiencias internacionales, en la siguiente tabla se presenta una estimación de los gastos anuales de operación para el tratamiento de residuos orgánicos a través de

<sup>67</sup> Cabe destacar que esta tasa es mayor a la de las otras tecnologías, ya que un biodigestor puede recibir todo tipo de residuos orgánicos, en comparación al compostaje o vermicompostaje domiciliario.

digestión anaeróbica domiciliaria en 1.000 viviendas, asumiendo un 100% en la tasa participación y 70% en la tasa de captura.

Tabla 19. Costos anuales de operación en sistema de manejo de digestión anaeróbica a pequeña escala.

Ítem	Unidades	Costo unitario neto (\$)	Costo total neto (\$)	Costo total (\$) IVA incl.
Honorarios (Encargado Programa)	1	10.200.000	10.200.000	10.200.000
Honorarios monitor	4	6.600.000	26.400.000	26.400.000
Materiales y útiles de aseo	1	168.067	168.067	200.000
Alimento para talleres	1	126.050	126.050	150.000
Servicios de impresión	1	5.042.017	5.042.017	6.000.000
Filtro de gas	1.000	20.000	20.000.000	23.800.000
Total costos operación				66.750.000

Fuente: Elaboración propia, a partir de cotizaciones solicitadas y Municipalidad de Concepción (2019).

### 3.2.2.6 Esquema de financiamiento

Para implementar este tipo de proyectos se proponen las mismas alternativas de financiamiento descritas en la sección 3.2.1.8 precedente, las cuales se enlistan a continuación:

- Programa Nacional de Residuos Sólidos (PNRS) de SUBDERE
- Programa de Mejoramiento de Barrios (PMB) de SUBDERE
- Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR) de los gobiernos regionales
- FNDR Vía Circular 33 - Provisión de Residuos Sólidos del Ministerio de Hacienda
- Fondo para el Reciclaje del Ministerio del Medio Ambiente, siempre y cuando las bases especiales del llamado al que se está postulando consideren expresamente el financiamiento o cofinanciamiento de este tipo de iniciativas de inversión.
- Fondo Verde del Clima.

### 3.2.2.7 Sistema de gobernanza

A partir de experiencias exitosas realizadas en la implementación de este tipo de proyectos en Latinoamérica, se presenta una propuesta de gobernanza posible de seguir para la ejecución de programas similares.

Figura 7. Propuesta de gobernanza para sistema de digestión anaeróbica a pequeña escala.



Fuente: Elaboración propia (2019).

Al igual que en para el caso del compostaje domiciliario, para la **elaboración de este tipo de proyectos** se requiere de un técnico o profesional del área ambiental del municipio, con experiencia en gestión de residuos, para elaborar el proyecto, de preferencia en coordinación con un profesional de la Secretaría de Planificación Comunal, sobre todo si este será postulado a una línea de financiamiento externa.

En cuanto a la **gestión de financiamiento**, se puede seguir un esquema similar al descrito en la sección 3.2.1.9 precedente. No obstante lo anterior, debido al alto costo de este tipo de equipamiento, en comparación con el valor de los necesarios para implementar composteras y/o vermicomposteras domiciliarias, se recomienda a futuro explorar la posibilidad de diseñar y utilizar un esquema similar al del “*Programa de recambio de calefactores*” del Ministerio del Medio Ambiente, instrumento a través del cual se aplica un subsidio ambiental que tiene como objetivo reducir las emisiones de contaminantes generadas por la combustión residencial a leña<sup>68</sup>.

Respecto de la **implementación**, se debe tener presente la misma estrategia descrita en la sección 3.2.1.9 precedente. En este punto, es necesario reforzar la importancia de entregar capacitación y seguimiento a los usuarios de este tipo de tecnologías, en el marco de un programa de inversión pública. En Latinoamérica existen algunas experiencias de instalación subsidiada de biodigestores dirigidas a empresas del sector productivo, sin embargo, no tuvieron el éxito esperado, debido principalmente a que los proyectos solo financiaban hasta la etapa de instalación y puesta en marcha de los sistemas, sin cuidar las etapas de seguimiento posteriores, ni incentivar la creación de capacidades locales para su mantenimiento. Esto dificultó el empoderamiento de los productores locales sobre la tecnología, de modo que ni la demanda ni la oferta perduraron<sup>69</sup>.

<sup>68</sup> Programa recambio de calefactores. Para más información, visitar: <https://calefactores.mma.gob.cl/>

<sup>69</sup> ONUDI. (2017). Biogás en el sector lechero en Chile. Disponible en: <http://www.minenergia.cl/autoconsumo/wp-content/uploads/2018/08/Guia-Biogas-sector-lechero-2018.pdf>

### 3.2.2.8 Ventajas y desventajas

A continuación, se presenta un cuadro resumen con ventajas y desventajas de la aplicación de esta tecnología a pequeña escala.

Tabla 20. Ventajas y desventajas de la digestión anaeróbica aplicada en residuos orgánicos municipales a pequeña escala.

Ventajas	Desventajas
Trata residuos orgánicos de origen vegetal y animal, por tanto, es posible manejar la totalidad de los residuos orgánicos generados en el hogar.	Equipo definido como planta de biodigestión pese a su escala, por lo tanto, deberá cumplir con los requisitos mínimos de seguridad de planta de biogás <sup>70</sup> .
Reduce los costos e impactos derivados del transporte de residuos.	Se requiere de un acondicionamiento previo de los microorganismos antes de disponer residuos orgánicos.
Promueve una mayor conciencia ambiental en el generador de los residuos.	Equipamiento de alto costo en comparación con otras tecnologías a esta misma escala.
Como productos se generan digestato, que puede ser utilizado como biofertilizante, y biogás que pueden ser utilizados para generar energía, dependiendo esto último de las condiciones climáticas del lugar donde se encuentre operando.	Dificultad para cuantificar la cantidad real de residuos orgánicos valorizados (trazabilidad).
	Requiere mantenimiento.
	Proceso se realiza de manera óptima en lugares donde la temperatura promedio se mantenga entre 15°C y 20°C

Fuente: Elaboración propia (2019).

## 3.3 Tecnologías de tratamiento a mediana escala

A continuación, se describirán las tecnologías propuestas a mediana escala, levantadas a partir de experiencias nacionales e internacionales.

Para efectos de este estudio, se define mediana escala a los sistemas que valorizan hasta una tonelada de residuos orgánicos por día. En este nivel de escala la etapa de recolección y transporte de residuos no se efectúa a través de medios convencionales, es decir, no es necesario contar con un camión recolector, ya que el traslado de los residuos hacia el lugar de almacenamiento y/o tratamiento debería ser asumido por los propios ciudadanos vinculados al programa, en base a una planificación previamente establecida con el operador de la planta.

<sup>70</sup> Diario Oficial de la República de Chile. (2016). Decreto Supremo 119/2016. Reglamento de Seguridad de las plantas de biogás e introduce modificaciones al reglamento de instalaciones de gas.

### 3.3.1 Compostaje comunitario

#### 3.3.1.1 Caracterización proyecto tipo

El proyecto tipo propuesto, contempla una planta de compostaje mediante pilas con aireación manual y una capacidad de recepción promedio máxima de 1 tonelada de residuos orgánicos al día. Como se mencionó en el apartado 3.1.1, para que el proceso de compostaje se realice de forma óptima, es necesario que la relación Carbono/Nitrógeno se encuentre dentro de ciertos parámetros, en este sentido y de acuerdo a la recomendación efectuada por el experto canadiense, la tonelada de residuos que se valorizará diariamente en plantas de esta escala, debería estar compuesta por 500 kg al día de residuos orgánicos verdes<sup>71</sup>, que aportan el nitrógeno necesario, y 500 kg al día residuos orgánicos cafés<sup>72</sup> (material lignocelulósico), los que aportarían la fracción de carbono.

La planta debería operar 260 días al año y tendría una capacidad de tratamiento de 260 toneladas al año. Este sistema de planta de compostaje opera en un proceso continuo, recibiendo constantemente residuos orgánicos verdes, los que se mezclan con material lignocelulósico o leñoso, previamente triturado para conformar las pilas de compostaje. Si bien, este es un proceso continuo, al hacer seguimiento a una unidad de material orgánico que ingresa a la pila, esta permanecerá en el proceso de compostaje entre seis meses y un año, dependiendo de las características de los materiales utilizados, su mezcla y las condiciones climáticas, entre otros aspectos. El proceso se divide fundamentalmente en dos etapas. La primera corresponde a “compostaje activo”, mientras que la segunda corresponde a “maduración y curado”. Considerando lo anterior, cada pila dentro de la planta tendrá un nivel de avance distinto dependiendo de la fecha en que fue conformada.

Para este tipo de planta se recomienda techar y asfaltar o pavimentar la superficie de trabajo, no obstante, la infraestructura quedaría sujeta a las condiciones climáticas del lugar donde se desarrolle el proyecto, por lo tanto, es necesario hacer un análisis caso a caso para definir el tipo de infraestructura necesaria. Por ejemplo, si se implementa en una zona lluviosa, se requeriría que la planta se encuentre asfaltada y techada, implementando además un estanque para la acumulación de líquidos.

Considerando que la planta opera durante 260 días al año, con una recepción diaria máxima de una tonelada, se debería recolectar en promedio 500 kg al día de residuos verdes, que equivalen a 130 toneladas al año. En este contexto, para estimar el número de viviendas en las que se implementaría el programa de separación de residuos en origen, a modo de ejercicio y según los valores promedio de generación per cápita diaria a nivel nacional, estimada en 1,22 kg por habitante al día, donde un 57,6% corresponde a materia orgánica (promedio nacional), cada habitante generaría aproximadamente 0,70 kg

---

<sup>71</sup> Residuo orgánico verde: residuo biodegradable como frutas y verduras, provenientes principalmente de hogares, establecimientos comerciales, casinos, ferias libres y mercados. Además de restos de césped, hojas frescas y plantas derivados del mantenimiento de parques y jardines.

<sup>72</sup> Residuo orgánico café: residuo biodegradable proveniente principalmente de faenas de manejo de arbolado urbano, tales como restos de podas, ramas y troncos de árboles. Esta fracción es conocida también como fracción lignocelulósica.

de residuos orgánicos al día<sup>73</sup>. Si la tasa de captura de residuos orgánicos ronda el 60% del total generado en los domicilios<sup>74</sup> y suponiendo que la tasa de participación es del 100%, se estima que el programa debería contemplar alrededor de 845 habitantes, que equivale a 275 viviendas, aproximadamente, considerando que el promedio de habitantes por vivienda en Chile es de 3,1<sup>75</sup>.

### 3.3.1.2 Equipamiento

Para la operación de una planta de compostaje comunitario que reciba aproximadamente 1 tonelada diaria de residuos orgánicos (verde y café), se requiere el equipamiento que se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 21. Equipamiento para planta de compostaje de 130 toneladas al año de residuos orgánicos verde.

Ítem	Unidades
Báscula	1
Chipeadora	1
Carretillas	3
Palas	3
Horquetas	3
Termómetro	1
Estanque de lixiviados	1
Estanque de líquidos para almacenamiento de aguas lluvia	1

Fuente: Elaboración propia, basado en la experiencia de Santa Juana complementada con comentarios del experto en compostaje Paul Van der Werf, 2019.

Existen otros elementos que son opcionales, tales como un pH-metro y un medidor de oxígeno, instrumentos que sirven para hacer seguimiento a algunos parámetros de control del proceso en las pilas de compostaje. Sin perjuicio de lo anterior, se puede hacer un buen control y seguimiento, utilizando solo un termómetro, ya que el procedimiento de medición es más simple, rápido y suficientemente confiable<sup>76</sup>.

El volteo de la pila de compost en una planta de este tamaño se realizaría de manera manual y continua, incorporando mayor proporción de material lignocelulósico en el caso de que el compost tenga una tasa de humedad mayor a lo recomendado. En caso contrario se debe aportar material verde.

<sup>73</sup> Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE) a través del Programa Nacional de Residuos Sólidos. (2018). Diagnóstico de la situación por comuna y por región en materia de RSD y asimilables. Disponible en: <http://www.subdere.gov.cl/documentacion/diagn%C3%B3stico-y-catastro-de-rsd-%C3%B1o-2017>

<sup>74</sup> Basado en juicio del experto Andreas Elmenhorst. Hay que considerar que este juicio no contempla un avance paulatino como se describió para la tasa de participación.

<sup>75</sup> Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (INE). (2017). 2da Entrega Resultados Definitivos Censo 2017. Disponible en:

<http://www.censo2017.cl/wp-content/uploads/2018/05/presentacion-de-la-segunda-entrega-de-resultados-censo2017.pdf>

<sup>76</sup> Según la opinión experta de Paul Van der Werf.

### 3.3.1.3 Necesidad de terreno

Para este tipo de plantas se requieren idealmente 1.000 m<sup>2</sup> de terreno, pudiendo operar en una superficie mínima de 750 m<sup>2</sup>. Idealmente toda la superficie debería ser asfaltada o pavimentada y dependiendo de las condiciones climáticas, se debería evaluar la instalación de techo o galpón. En el caso de situar el proyecto en un lugar lluvioso<sup>77</sup>, se recomienda, por opinión experta, considerar la instalación de techo sobre la superficie para proteger las pilas y evitar los problemas derivados del exceso de agua en el proceso de compostaje activo. De igual modo, para sitios con climas secos o con altas temperaturas, se podría requerir la aplicación de techumbre para evitar la deshidratación de las pilas, o para minimizar la necesidad de consumo de agua de las pilas. En los casos que sean posible, se recomienda no considerar el galpón con el objeto de abaratar el costo de la inversión inicial.

Tabla 22. Superficie destinada para cada actividad en una planta de compostaje de 260 toneladas al año.

Actividad	Superficie destinada (m <sup>2</sup> )	Superficie mínima (m <sup>2</sup> )
Compostaje activo	500	400
Recepción de material orgánico	500	350
Almacenamiento de restos de poda y material lignocelulósico chipeado		
Preprocesamiento		
Almacenamiento de compost finalizado		
Total	1.000	750

Fuente: Elaboración propia (2019).

Las áreas totales requeridas pueden ser modificadas de acuerdo con las necesidades específicas de cada proyecto. En la siguiente imagen se puede apreciar una planta de compostaje a mediana escala instalada en la Región de Magallanes y la Antártica Chilena.

<sup>77</sup> Se debe considerar que un lugar lluvioso puede estar definido tanto por una constante o permanente caída de agua lluvia, sobre todo durante época invernal, o también según lluvias intermitentes pero intensas, que podrían afectar la operación de las pilas de compostaje por exceso de humedad. Según la opinión experta de Paul Van der Werf, las plantas de compostaje descubiertas tienen una buena tolerancia, en general, hasta los 1.100 (mm) de aguas lluvias anuales. Con esta consideración las plantas que se emplazan desde el norte de Chile hasta la Región del Maule podrían prescindir de techo, a excepción de las zonas cordilleranas (o de altitudes elevadas como en la Cordillera de la Costa) de la Región del Maule existe una zona importante donde cuyas precipitaciones se encuentran entre los 1.000 mm. y 1.500 mm. Para más información ver:

[http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/117302/figueroa\\_p.pdf?sequence=1](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/117302/figueroa_p.pdf?sequence=1).

En conclusión, como recomendación general, desde la Región del Biobío hacia el sur se debiese considerar la construcción de un techo para las plantas de compostaje. De todos modos, para cada caso en particular, se debe estudiar a partir de la pluviometría de cada locación, y que puede ser encontrada en fuentes de la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP). Para más información ver: <http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>

Fotografía 5. Planta de compostaje perteneciente al Programa “Compostaje de residuos sólidos domiciliarios para la Región de Magallanes y la Antártica Chilena”.



Fuente: Fotografía extraída desde <https://www.explora.cl/magallanes/compostaje-domiciliario-la-opcion-para-ayudar-al-planeta/>

### 3.3.1.4 Servicios básicos

#### 3.3.1.4.1 Agua

En el proceso de compostaje, se considera que la humedad de los materiales es una de las variables más importantes y es por tanto un importante criterio para la optimación del proceso<sup>78-79</sup>. Las pilas de compostaje mantienen un porcentaje de humedad principalmente gracias a los residuos orgánicos verdes que se incorporan en ellas. Al mismo tiempo, los líquidos que puedan quedar fuera de la pila se pueden volver a reincorporar a la misma, sin embargo, estas circunstancias pueden variar de acuerdo con las condiciones climáticas donde se implementaría el proyecto. En sitios con altas temperaturas y poca humedad relativa ambiente, la pila puede perder sus condiciones de humedad rápidamente, por lo tanto, es posible que sea necesario mantener la humedad óptima a través de riego.

#### 3.3.1.4.2 Electricidad

Las maquinarias principales utilizadas en el proceso no consumen electricidad. En general a esta escala, tampoco se necesitaría iluminación para el proceso de compostaje, pues la con la luminosidad del día es suficiente. No obstante, será necesario evaluar esta condición caso a caso dependiendo de las horas de luz a disposición, sobre todo en la época invernal.

<sup>78</sup> Haug, R.T. (1993). The Practical Handbook of Compost Engineering. Lewis Publishers. Boca Raton. Florida.

<sup>79</sup> Madejón, E., Díaz, M.J., López, R. y Cabrera, F. (2002). New approaches to establish optimum moisture content for compostable materials. Biores. Technol., 85: 73-78.

### 3.3.1.5 Costos de inversión y operación

A continuación, se detallan los costos de inversión y operación para esta tipología de plantas de compostaje.

#### 3.3.1.5.1 Costos de inversión

A partir de la experiencia existente, en la siguiente tabla se presenta una estimación de los costos de inversión para el tratamiento de residuos orgánicos a través del compostaje a mediana escala o escala barrial, considerando un 100% de participación ciudadana y una tasa de captura del 60% de los residuos orgánicos generados.

Tabla 23. Costos de inversión para un sistema de valorización de residuos orgánicos a través de la tecnología de compostaje a mediana escala o escala barrial.

Ítem	Unidades	Costo unitario neto (\$)	Costo total neto (\$)	Costo total (\$) IVA incl.
Contenedor cocina 8 Litros	275	4.500	1.237.500	1.472.625
Contenedor 40 Litros	275	16.807	4.621.925	5.500.091
Terreno (m <sup>2</sup> )	1.000	2.856	2.856.000	3.398.640
Asfaltado (m <sup>3</sup> )	210	80.000	16.800.000	19.992.000
Galpón (m <sup>2</sup> )	500	88.408	44.204.000	52.602.760
Báscula	1	500.000	500.000	595.000
Estanque de lixiviados	1	252.100	252.100	299.999
Estanque de aguas lluvias	1	252.100	252.100	299.999
Chipeadora	1	28.000.000	28.000.000	33.320.000
Harnero vibratorio	1	4.000.000	4.000.000	4.760.000
Palas	3	15.000	45.000	53.550
Horquetas	3	15.000	45.000	53.550
Carretilla	3	26.050	78.150	92.999
Textos de enseñanza (libros especializados en técnicas de compostaje)	1	420.168	420.168	500.000
Total costos inversión				122.941.212

Fuente: Elaboración propia, a partir experiencia en Santa Juana y Talca, opiniones de expertos, cotizaciones solicitadas y el detalle gastos del "Programa de compostaje y huertos orgánicos" de la municipalidad de Concepción, disponible en Plataforma Mercado Público (2019).

#### 3.3.1.5.2 Costos de operación

A partir de los costos de las experiencias ya existentes, en la siguiente tabla se presenta una estimación de los gastos anuales por concepto de operación para el tratamiento de residuos orgánicos a través de este sistema de compostaje.

Tabla 24. Costos anuales de operación en sistema de valorización de residuos orgánicos a través de la tecnología de compostaje a mediana escala o escala barrial.

Ítem	Unidades	Costo unitario neto (\$)	Costo total neto (\$)	Costo total (\$) IVA incl.
Honorarios profesionales	1	10.200.000	10.200.000	10.200.000
Honorarios monitor	1	6.600.000	6.600.000	6.600.000
Honorario operador de planta de compostaje	1	6.000.000	6.000.000	6.000.000
Materiales y útiles de aseo	1	168.067	168.067	200.000
Alimento para talleres	1	126.050	126.050	150.000
Servicios de impresión	1	1.680.672	1.680.672	2.000.000
Materiales de oficina	1	252.101	252.101	300.000
Combustible maquinarias	1	420.000	420.000	499.800
Mantención	1	4.708.818	4.708.818	5.603.493
Total costos operación				31.553.293

Fuente: Elaboración propia, a partir experiencia en Santa Juana y Talca, opiniones de expertos y el detalle gastos del programa municipal de la municipalidad de Concepción, disponible en Plataforma Mercado Público (2019).

### 3.3.1.6 Esquemas de financiamiento

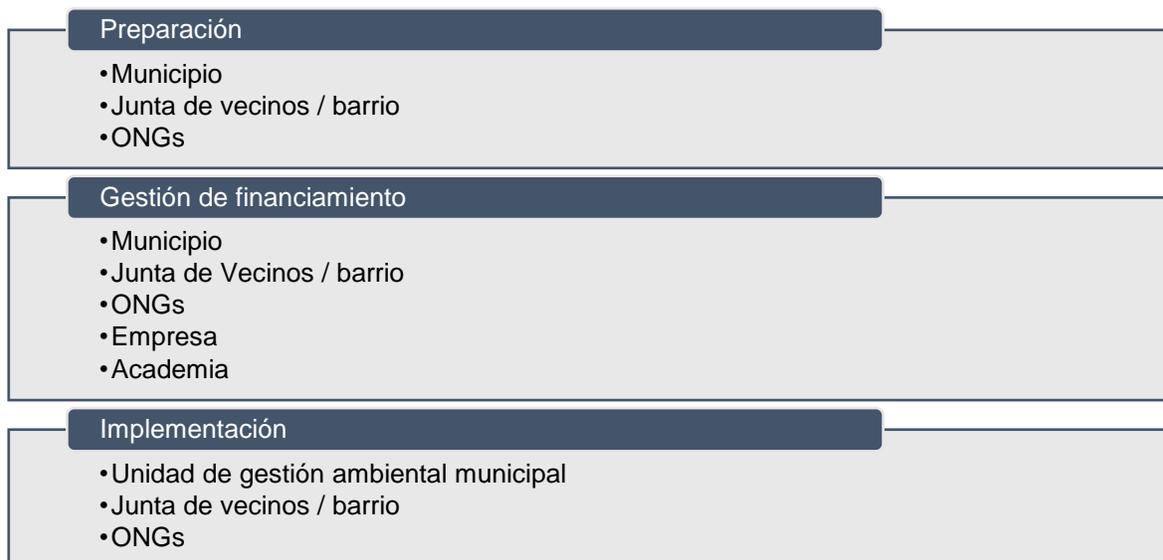
Al igual que en los casos anteriores, este tipo de proyectos se puede financiar con recursos del propio municipio o a través de la elaboración de un proyecto de inversión para ser postulado a alguna línea de financiamiento externa. En este último caso se proponen las mismas alternativas de financiamiento descritas en la sección 3.2.1.8 precedente, las que se listan a continuación:

- Programa Nacional de Residuos Sólidos (PNRS) de SUBDERE
- Programa de Mejoramiento de Barrios (PMB) de SUBDERE
- Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR) GORE
- FNDR Vía Circular 33 - Provisión de Residuos Sólidos del Ministerio de Hacienda
- Fondo para el Reciclaje del Ministerio del Medio Ambiente, siempre y cuando las bases especiales del llamado al que se está postulando consideren expresamente el financiamiento de sistemas de valorización de residuos orgánicos de este tipo.
- Fondo Verde del Clima.

### 3.3.1.7 Sistema de gobernanza

A partir de experiencias exitosas, a continuación, se presenta una propuesta de gobernanza para el compostaje comunitario.

Figura 8. Propuesta de gobernanza sistema de compostaje a mediana escala.



Fuente: Elaboración propia (2019).

Para la **preparación de este tipo de proyectos** es posible que el municipio se haga cargo íntegramente de implementar el proyecto, siguiendo el mismo esquema propuesto para los proyectos de compostaje y vermicompostaje domiciliario. Sin embargo, también es factible que el proyecto sea diseñado por el municipio, en el marco de un modelo participativo, articulándose con una entidad territorial con interés en esta temática que cuente con personalidad jurídica, como por ejemplo una Junta de Vecinos y/o alguna Organización no Gubernamental (ONG) que pueda brindar apoyo técnico a los vecinos durante el diseño y operación de la planta. En cualquier caso, siempre se recomienda que el municipio lidere el proyecto durante todo su ciclo de vida (diseño, construcción e implementación y operación).

En cuanto a la **gestión de financiamiento**, esta tarea recae principalmente en el municipio, de la misma forma en que se ha explicado para los sistemas precedentes. Alternativamente, se podría generar una articulación público-privada, orientada conseguir aportes externos, principalmente del sector privado, para cofinanciar la iniciativa en alguna de sus etapas. Un ejemplo para considerar, a través del que se desarrolló un proyecto de carácter ambiental a una escala similar y en el marco de una articulación público-privada, fue el EcoParque<sup>80</sup> de Peñalolén, ejecutado con apoyo del sector privado formalizado a través la firma de un convenio de colaboración entre el municipio y la Universidad Adolfo Ibáñez, además de empresas como Copec, Aguas Andinas y Metrogas,

En cuanto a la **implementación**, es de vital importancia que el municipio tenga un rol preponderante en la operación de la planta, sobre todo durante los primeros años, con el objetivo de entregar los conocimientos básicos para que los vecinos asuman una parte o

<sup>80</sup> Ecoparque. Para más información, ver: <https://www.penalolen.cl/medio-ambiente/ecoparque-en-penalolen/>

la totalidad de la operación de la planta de manera adecuada, otorgándole de esta forma sostenibilidad a la operación en el tiempo. Otro factor importante que considerar, para este modelo de planta de compostaje, sobre todo cuando su ejecución involucra a varias entidades en la gestión del proyecto, es la definición de responsabilidades para cada una de ellas.

### 3.3.1.8 Ventajas y desventajas

A continuación, se presenta un cuadro resumen con ventajas y desventajas de la aplicación de esta tecnología a mediana escala.

Tabla 25. Ventajas y desventajas del compostaje de residuos orgánicos a mediana escala o escala barrial.

Ventajas	Desventajas
Reduce los costos e impactos derivados del transporte de residuos.	Requiere permanentemente que el municipio aporte el material café o lignocelulósico.
La infraestructura es de bajo costo en comparación con otras tecnologías para el manejo de residuos a mediana escala.	No se deben incluir los residuos orgánicos de origen animal.
El generador tiene conciencia sobre el proceso de tratamiento de sus residuos.	Requiere de disponibilidad de terreno en sector de alta densidad poblacional.
Genera compost que puede ser utilizado como mejorador de suelo en las áreas verdes y jardines del sector o en huertas urbanas.	El proyecto podría ser rechazado si no se acompaña de un proceso previo de sensibilización y validación por parte de la comunidad cercana.
Fortalece los lazos al interior de la comunidad.	

Fuente: Elaboración propia (2019).

### 3.3.2 Secado térmico de residuos orgánicos

#### 3.3.2.1 Caracterización proyecto tipo

A la fecha se desconoce si en nuestro país, a nivel municipal, se ha desarrollado algún proyecto de pretratamiento de residuos orgánicos a través de la utilización de esta tecnología. Sin embargo, este sistema ha sido implementado en el sector privado por empresas que entregan servicios de alimentación o en sectores productivos que tienen dificultades para disponer los residuos que generan.

Dentro de los métodos de secado de residuos orgánicos a nivel mundial el bio-secado es el más utilizado. Este utiliza la aireación natural y/o forzada y el calor generado por la bioconversión aeróbica natural de la materia orgánica, para disminuir el porcentaje de humedad de los residuos. En este contexto, el secado térmico es una tecnología incipiente que aún no ha sido utilizada de forma masiva a nivel mundial.

Como se mencionó en la sección 3.1.3, mediante el uso de esta tecnología no se obtiene compost como producto final del proceso, sino que se genera un producto denominado

*sustrato orgánico*. Este sustrato, de acuerdo con experiencias internacionales donde se utiliza este tipo de tecnología (Melbourne, Australia), es aplicado directamente al suelo con vegetación, sin tener efectos negativos conocidos hasta ahora<sup>81</sup>.

Para este caso en particular se consideró que la planta operará durante 260 días al año y tendrá una recepción máxima de 600 kilogramos en promedio al día, obteniéndose una capacidad de tratamiento de residuos orgánicos estimada en 156 toneladas al año. Considerando lo anterior, a continuación, a modo de ejercicio referencial, se hará una estimación del número de viviendas que deberían separar en origen y entregar sus residuos orgánicos para ser pretratados a través de esta tecnología. Considerando que a nivel nacional la generación per cápita promedio es de 1,22 kg por habitante al día<sup>82</sup>, donde el 57,6% en peso corresponde a materia orgánica, cada habitante generaría 0,7 kilogramos de residuos orgánicos al día<sup>82</sup>. Para efectos del presente ejercicio, se consideró que se separa adecuadamente el 70% de los residuos orgánicos generados (considerando que este tipo de tecnología puede pretratar residuos orgánicos de origen vegetal y animal), es decir, cada habitante aportaría 0,49 kilogramos de residuos por día. En base a esta premisa y asumiendo una tasa de participación de un 100%, se deberían incluir alrededor de 870 habitantes, equivalentes a 280 viviendas aproximadamente, asumiendo que el promedio de habitantes por vivienda en Chile es de 3,1<sup>83</sup>.

### 3.3.2.2 Equipamiento

Actualmente, no hay una gran variedad de oferta de este tipo de equipos debido a la incipiente penetración en Latinoamérica y en nuestro país. No obstante, la siguiente tabla muestra las características del equipamiento que se puede encontrar en el mercado nacional.

---

<sup>81</sup> ABC Australia News. "Food Waste into Fertilizer for Gardening at Parks". Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=OuMsrCyWev0>

<sup>82</sup> SUBDERE. (2018). Diagnóstico de la situación por comuna y por región en materia de RSD y asimilables.

<sup>83</sup> Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (INE). (2017). 2da Entrega Resultados Definitivos Censo 2017. Disponible en:

[http://www.censo2017.cl/wp-content/uploads/2018/05/presentacion\\_de\\_la\\_segunda\\_entrega\\_de\\_resultados\\_censo2017.pdf](http://www.censo2017.cl/wp-content/uploads/2018/05/presentacion_de_la_segunda_entrega_de_resultados_censo2017.pdf)

Tabla 26. Equipos disponibles para la aplicación de secado térmico de residuos orgánicos.

Características	Deshidratadores de baja y mediana escala				
Capacidad diaria (kg/día)	50	100	200	400	600
Capacidad por ciclo (kg/ciclo)	25	50	100	200	300
Potencial residuo orgánico a procesar (kg/año)	16.800	33.600	67.200	134.400	201.600
Potencial de recuperación de agua (litros/año)	14.280	28.560	57.120	114.240	171.360
Potencial sustrato orgánico a generar (kg/año)	2.520	5.040	10.080	20.160	30.240
Potencial mitigación de CO <sub>2</sub> eq (kg CO <sub>2</sub> eq /año)	70.560	141.120	282.240	564.480	846.720
Dimensiones: Largo, Ancho y Alto (m)	1.05x0.75 x1.26	1.44x0.91 x1.29	1.70x1.20 x1.53	2.40x1.50 x1.85	2.6x1.70x 1.85
Peso (kg)	365	550	1.000	2.500	2.800
Ciclos/día	2	2	2	2	2
Tiempo por ciclo (hr)	7 – 10 hrs	7 – 10 hrs	7 – 10 hrs	7 – 10 hrs	7 – 10 hrs
Potencia requerida (kW)	4,75	7,1	9,3	32,3	46,3

Fuente: Elaboración propia a partir de cotización entregada por empresa chilena.

Considerando las opciones disponibles en el mercado presentadas en la tabla anterior, se recomienda utilizar el modelo con capacidad diaria para pretratar 600 kg/día u otro con capacidad similar, en este caso la maquina puede recibir dos ciclos de residuos orgánicos de 300 kg cada uno por día, de esta forma se recibirían a lo más 600 kilos diarios de residuos provenientes de una comunidad conformada aproximadamente por 280 viviendas, lo anterior basado en los supuestos descritos en el punto anterior.

Además del equipo deshidratador, se requiere instalar un sistema para el acopio de agua, y otro para almacenamiento del sustrato orgánico generado.

Figura 9. Equipo Deshidratador con capacidad para 600 kg/día.



Fuente: Empresa que comercializa este tipo de tecnología en Chile.

El equipo deshidratador debe instalarse preferentemente en un lugar resguardado que tenga una superficie que triplique o cuadruple la superficie utilizada por el equipo, con el objetivo de disponer de espacio para el almacenamiento temporal de agua y el sustrato orgánico generado, en la figura que se presenta a continuación se aprecia una condición óptima para instalar este tipo de equipos.

Figura 10. Imagen referencial del emplazamiento óptimo donde se podría implementar el sistema de secado térmico de residuos orgánicos a mediana escala.



Fuente: Empresa nacional que comercializa este tipo de tecnología (2019).

Esta tecnología es posible implementarla en territorios con condiciones climáticas extremas si se instala en lugares cerrados. Un ejemplo de esta situación, de acuerdo con la información aportada por la empresa comercializadora de estos equipos, es la futura instalación de un sistema de secado térmico en una base de la Fuerza Aérea de Chile (FACH) ubicada en la Antártica Chilena, equipo que logrará deshidratar los residuos orgánicos generados por los habitantes de dicha base.

Además del equipo presentado, existen otros con capacidades que van desde los 50 hasta los 400 kilos al día, pudiendo brindar cobertura de pretratamiento a localidades con menor cantidad de viviendas, en comparación a la capacidad del equipo recomendado en este informe.

### 3.3.2.3 Necesidad de terreno

De acuerdo con las directrices técnicas entregadas por la empresa comercializadora de este sistema, se requiere una superficie aproximada de 30 m<sup>2</sup>. Este lugar funcionaría como una especie de punto verde para residuos orgánicos, el que debería incluir una zona para la recepción de residuos y espacio para dos depósitos destinados al almacenamiento del sustrato orgánico y el agua obtenida como resultado del proceso y un área verde acorde al objetivo de este proyecto.

### 3.3.2.4 Servicios básicos

#### 3.3.2.4.1 Electricidad

El uso de esta tecnología requiere de energía auxiliar externa para aumentar la temperatura de los residuos ingresados en el deshidratador. De acuerdo con lo especificado en la sección 3.3.2.2, para el manejo a mediana escala (600 kilos al día de pretratamiento) se requeriría una potencia de 46,3 kW, considerando una duración que fluctúa entre 7 a 10 horas para cada ciclo.

#### 3.3.2.4.2 Agua

Esta tecnología no requiere del consumo de agua durante la operación, de hecho, tiene la capacidad de recuperar el agua contenida en los residuos que son pretratados. Este punto toma relevancia en la actualidad, considerando que el agua obtenida mediante esta tecnología podría ser utilizada para regar áreas verdes o huertos urbanos ubicados en las cercanías del equipo. Solamente se requerirá una cantidad mínima de agua para efectuar la limpieza del equipo deshidratador, en base a las recomendaciones del fabricante.

### 3.3.2.5 Costos de inversión y operación

A continuación, se especifican los costos de inversión y operación para el uso de secado térmico de residuos orgánicos a mediana escala.

#### 3.3.2.5.1 Costos de inversión

A partir de la información entregada por la empresa proveedora de esta tecnología y experiencias nacionales e internacionales, en la siguiente tabla se presenta una estimación de los costos de inversión para el pretratamiento de residuos orgánicos a través del secado térmico de residuos orgánicos a mediana escala, es decir 600 kilos/día de pretratamiento, considerando un 100% en la tasa de participación y una tasa de captura del 70%<sup>84</sup>, que equivale a 280 viviendas.

---

<sup>84</sup> Al igual que en la biodigestión domiciliaria, la tasa de captura es más optimista, considerando que esta tecnología puede recibir todo tipo de residuos orgánicos (vegetales y animales), por ende, debiese ser mayor en comparación a las otras tecnologías estudiadas.

Tabla 27. Costos de inversión en sistema de manejo de valorización de residuos orgánicos utilizando la tecnología de secado térmico a mediana escala.

Ítem	Unidades	Costo unitario neto (\$)	Costo total neto (\$)	Costo total (\$ IVA incl.)
Contenedor cocina 8 Litros	280	4.500	1.260.000	1.499.400
Contenedor 40 Litros	280	16.807	4.705.960	5.600.092
Terreno (m <sup>2</sup> )	350	2.856	999.600	1.189.524
Compra máquina con capacidad de 600 kilos día	1	54.954.226	54.954.226	65.395.529
Instalación máquina	1	1.831.808	1.831.808	2.179.851
Container 30 (m <sup>2</sup> )	1	3.000.000	3.000.000	3.570.000
Textos de enseñanza (libros de técnicas de compostaje)	1	420.168	420.168	500.000
Total costos inversión				79.807.620

Fuente: Elaboración propia, a partir experiencia en Santa Juana y Talca, cotización y recomendaciones de empresa proveedora de esta tecnología y el detalle gastos del “Programa de compostaje y huertos orgánicos” de la municipalidad de Concepción, disponible en Plataforma Mercado Público (2019).

### 3.3.2.5.2 Costos de operación

A partir de la información entregada por la empresa proveedora de esta tecnología y experiencias nacionales e internacionales, en la siguiente tabla se presenta una estimación de los gastos en inversión para el pretratamiento de residuos orgánicos a través del secado térmico de residuos orgánicos a mediana escala para 280 viviendas, con un 100% de participación y una tasa de captura del 70%.

Tabla 28. Costos anuales de operación en sistema de manejo de valorización de residuos orgánicos utilizando la tecnología de secado térmico de residuos orgánicos a mediana escala.

Ítem	Unidades	Costo unitario neto (\$)	Costo total neto (\$)	Costo total (\$)
Honorarios profesionales	1	10.200.000	10.200.000	10.200.000
Honorarios monitor	1	6.600.000	6.600.000	6.600.000
Honorario operador de planta de secado térmico	1	6.000.000	6.000.000	6.000.000
Materiales y útiles de aseo	1	168.067	168.067	200.000
Alimento para talleres	1	126.050	126.050	150.000
Servicios de impresión	1	5.042.017	5.042.017	6.000.000
Materiales de oficina	1	252.101	252.101	300.000
Consumo energético anual (unidades en kWh)	100.800	128	12.902.400	12.902.400
Mantención	1	1.358.265	1.358.265	1.616.335
Total costos operación				43.968.735

Fuente: Elaboración propia, a partir experiencia en las municipalidades de Concepción, Santa Juana y Talca, cotización y recomendaciones de empresa proveedora de esta tecnología (2019).

### 3.3.2.6 Esquemas de financiamiento

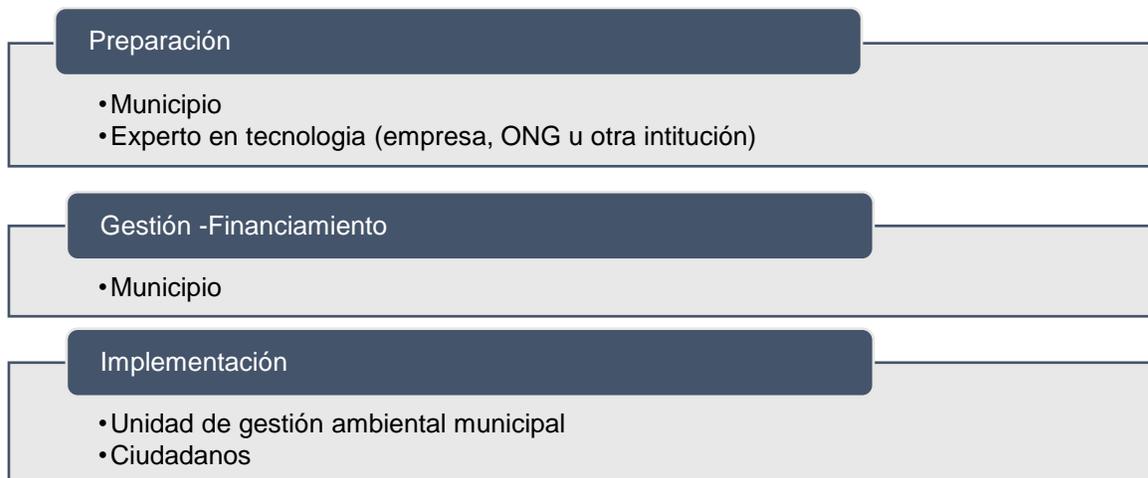
Al igual que en los casos anteriores, este tipo de tecnología se puede financiar con recursos del propio municipio o a través de la elaboración de un proyecto de inversión para ser postulado a alguna línea de financiamiento externa. En este último caso se proponen las mismas alternativas de financiamiento descritas en la sección 3.2.1.8 precedente, las que se listan a continuación:

- Programa Nacional de Residuos Sólidos (PNRS) de SUBDERE
- Programa de Mejoramiento de Barrios (PMB) de SUBDERE
- Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR) GORE
- FNDR Vía Circular 33 - Provisión de Residuos Sólidos del Ministerio de Hacienda
- Fondo para el Reciclaje del Ministerio del Medio Ambiente, siempre y cuando las bases especiales del llamado al que se está postulando consideren expresamente el financiamiento de sistemas de valorización de residuos orgánicos de este tipo.
- Fondo Verde del Clima.

### 3.3.2.7 Sistema de gobernanza

A partir de experiencias internacionales exitosas, a continuación, se presenta una propuesta de gobernanza para el compostaje comunitario.

Figura 11. Propuesta de gobernanza sistema de secado térmico de residuos orgánicos.



Fuente: Elaboración propia (2019).

Para la **preparación** del proyecto se requiere de un profesional o técnico del área ambiental del municipio, que cuente con el apoyo de la Secretaría de Planificación Comunal, sobre todo si el proyecto será presentado a una línea de financiamiento externo. Adicionalmente y considerando la inexistencia de proyectos de este tipo para el manejo de residuos sólidos domiciliarios a nivel municipal, de ser posible, se recomienda apoyarse con un experto que conozca en detalle el funcionamiento de este tipo de tecnologías.

En cuanto a la **gestión de financiamiento**, es el municipio quien debe asumir esta labor y tal como se señaló precedentemente, puede implementar el proyecto utilizando recursos propios o postulando a alguna de las líneas de financiamiento especificadas precedentemente en el apartado “*Esquemas de financiamiento*”.

En cuanto a su **implementación**, el proyecto puede desarrollarse en un terreno de propiedad del municipio o en una dependencia municipal o en el patio de una sede vecinal de una junta de vecinos. Para el caso de un terreno privado, se debería evaluar la factibilidad jurídica de instalarlo en un área común de un condominio. Cualquiera sea el caso y considerando la complejidad de la tecnología, se recomienda disponer de un operario municipal para que se haga cargo de la operación del equipo y brinde apoyo a los usuarios en la adecuada separación de residuos en sus hogares y al momento de la entrega de los mismos.

### 3.3.2.8 Ventajas y desventajas

A continuación, se presentan algunas ventajas y desventajas de esta tecnología aplicada en los residuos orgánicos municipales<sup>85</sup>.

Tabla 29. Ventajas y desventajas del secado térmico aplicado en residuos orgánicos municipales.

Ventajas	Desventajas
Recibe todo tipo de residuos orgánicos (vegetales y animales)	Equipamiento e infraestructura de alto costo en comparación con otras tecnologías de pequeña escala y escala barrial
Recupera el agua que se obtiene del pretratamiento de los residuos orgánicos	
Reduce los costos e impactos derivados del transporte de residuos	Se requiere de disponibilidad de terreno en un sector de alta densidad poblacional
Promueve una mayor conciencia por parte de los ciudadanos en torno al manejo de sus residuos	
Corta duración del proceso (se pueden realizar dos ciclos en un día)	Se requiere energía auxiliar externa durante su operación para la generación de calor y el funcionamiento de los sopladores
Genera un sustrato orgánico que puede ser utilizado como biofertilizante en los jardines de la comunidad o en huertas urbanas	

Fuente: Elaboración propia a partir de Ragazzi, M., Rada, EC., Panaitescu, V. y Apostol, T. (2007)<sup>86</sup>.

<sup>85</sup> Ragazzi, M., Rada, EC., Panaitescu, V. y Apostol, T. (2007). Municipal solid waste pre-treatment: A comparison between two dewatering options. WIT Trans. Ecol. Environ. 2007; 102:943-949. Disponible en: <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/SDP07/SDP07090FU2.pdf>

<sup>86</sup> Ragazzi, M., Rada, EC., Panaitescu, V. y Apostol, T. (2007). Municipal solid waste pre-treatment: A comparison between two dewatering options. WIT Trans. Ecol. Environ. 2007; 102:943-949. Disponible en: <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/SDP07/SDP07090FU2.pdf>

## 3.4 Tecnologías de tratamiento a gran escala

En esta sección, se describen las tecnologías de compostaje y biodigestión que pueden ser aplicadas a gran escala, es decir, para ser implementadas a nivel municipal o de un grupo de municipalidades, como una solución al manejo de los residuos generados en zonas urbanas.

### 3.4.1 Compostaje municipal para 1.300 toneladas anuales de residuos orgánicos

#### 3.4.1.1 Caracterización proyecto tipo

Esta alternativa contempla la recepción de 5 toneladas al día de residuos orgánicos verde<sup>87</sup>, los que necesitan ser mezclados con 5 toneladas de residuos orgánicos café<sup>88</sup> (material lignocelulósico)<sup>89</sup>, por lo que la planta sería capaz de recibir 10 toneladas diarias de material orgánico. Para el proyecto de estudio, se consideraron 260 días al año de operación, por lo que en total la capacidad de tratamiento asciende a 2.600 toneladas al año.

Cabe destacar que, según opinión experta de Paul Van der Werf, profesional de vasta experiencia en diseño y operación de plantas de compostaje en Canadá, este tipo de plantas y aquellas que reciben hasta 20 toneladas al día de residuos orgánicos totales (verde y café) requieren un manejo de baja complejidad<sup>90</sup>, y no deberían generar molestias hacia su entorno, si son operadas correctamente y se monitorean los parámetros de control de forma adecuada, principalmente la temperatura de las pilas.

Las plantas de compostaje operan en un proceso continuo, recibiendo constantemente residuos orgánicos verdes, los que se mezclan con material lignocelulósico o leñoso, previamente triturado para conformar las pilas de compostaje. Si bien este es un proceso continuo, al hacer seguimiento a una unidad de material orgánico que ingresa a la pila, esta permanecerá en el proceso de compostaje entre seis meses y un año, dependiendo de las características de los materiales utilizados, su mezcla y las condiciones climáticas, entre otros aspectos. El proceso se divide fundamentalmente en dos etapas. La primera corresponde a “compostaje activo”, mientras que la segunda corresponde a “maduración y curado”<sup>73</sup>. Considerando lo anterior, cada pila dentro de la planta tendrá un nivel de avance distinto dependiendo de la fecha en que fue conformada.

---

<sup>87</sup> Residuo orgánico verde: residuo biodegradable como frutas y verduras, provenientes principalmente de hogares, establecimientos comerciales, casinos, ferias libres y mercados. Además de restos de césped, hojas frescas y plantas derivados del mantenimiento de parques y jardines.

<sup>88</sup> Residuo orgánico café: residuo biodegradable proveniente principalmente de faenas de manejo de arbolado urbano, tales como restos de podas, ramas y troncos de árboles. Esta fracción es conocida también como fracción lignocelulósica.

<sup>89</sup> Fuente de información primaria, según opinión experta de Paul Van der Werf, la relación entre residuos verdes y café en términos de peso es 1:1, mientras que en volumen es 1:4 o 1:3, respectivamente.

<sup>90</sup> Considerando el volumen de ingreso diario, tanto el monitoreo de los parámetros de control de las pilas (temperatura y humedad), como las operaciones (recepción de materiales, chipeado de ramas, armado y volteo de pilas) se efectúan con instrumentos, equipos y maquinarias de fácil utilización u operación (termómetro, chipeadora, cargador frontal y harnero o tamizador).

Este tipo de plantas debe considerar una superficie de trabajo preferentemente asfaltada o pavimentada, con una pendiente adecuada para recoger y canalizar las aguas lluvia que ingresan a la zona de operación hacia estanques de almacenamiento. En este caso, siempre que la normativa lo permita, se recomienda que dicha agua sea reincorporada en las pilas, para mantener las condiciones de humedad durante el proceso, o para ser aprovechada dentro de la instalación, como por ejemplo para riego de la zona de maduración.

En zonas lluviosas, además de la superficie de trabajo asfaltada, se debe incluir un galpón, techumbre o tinglado a objeto proteger el área de operación frente a la lluvia debido a que esta puede alterar desfavorablemente las características de los materiales utilizados, generando dificultades para su manipulación, o el posterior desarrollo del proceso de compostaje o incrementar la generación de líquidos. En función de lo anterior, se debe evaluar caso a caso la pertinencia técnica de techar la planta de compostaje.

A modo de ejemplo, para obtener los residuos orgánicos verdes requeridos diariamente en la planta (5 toneladas al día), se debe determinar el número de viviendas en las que se recolectarán diferenciadamente en origen. Para lograr esto, tomando como referencia el promedio nacional<sup>91</sup> se consideró que cada habitante genera 1,22 kg por habitante por día de residuos sólidos domiciliarios, de los cuales un 57,6% de ellos corresponde a materia orgánica, así se obtiene una generación estimada de 0,70 kg por habitante por día de residuos orgánicos. Con esta tasa de generación se necesitarían los residuos orgánicos producidos por aproximadamente 5.070 habitantes y considerando que el promedio de habitantes por vivienda en Chile es de 3,1<sup>92</sup>, se requeriría recolectar los residuos orgánicos generados en 1.635 viviendas aproximadamente.

Cabe destacar que la estimación anterior considera una tasa de participación y captura de un 100%, lo que en la práctica no ocurre, por tanto, ambas tasas deben ser corregidas. Según la opinión experta de Andreas Elmenhorst<sup>93</sup>, la tasa de participación en un programa de separación en origen puede alcanzar un 30% al finalizar el primer año de su puesta en marcha, al segundo año un 50% y al tercer año un 70% o más, dependiendo esta evolución de múltiples factores, entre ellos, los incentivos que se apliquen para fomentar la participación, la frecuencia de retiro de los orgánicos, ya que nadie quiere almacenar residuos que podrían generar olores molestos, la calidad del servicio, entre otros factores.

Lo anterior, se condice con la opinión experta de Paul Van der Werf, quien plantea que la tasa de participación puede alcanzar valores que fluctúan entre el 50% y 90%, quien además señala que un factor clave para fomentar la participación es reducir la frecuencia de recolección de los residuos descartables<sup>94</sup>, de esta forma se incentiva la práctica de la separación de residuos orgánicos en origen, y mantener una adecuada frecuencia para la

---

<sup>91</sup> SUBDERE. (2018). Diagnóstico de la situación por comuna y por región en materia de RSD y asimilables.

<sup>92</sup> Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (INE). (2017). 2da Entrega Resultados Definitivos Censo 2017. Disponible en:

<http://www.censo2017.cl/wp-content/uploads/2018/05/presentacion-de-la-segunda-entrega-de-resultados-censo2017.pdf>

<sup>93</sup> Profesional con amplia experiencia internacional en el área de gestión integral de residuos sólidos.

<sup>94</sup> Residuos descartables o no reciclables. Por ejemplo, pañales, plásticos no reciclables, polvo, papel higiénico, desechos de aspiradoras y de barrido, entre otros.

recolección de orgánicos para evitar malos olores en las viviendas. Por ejemplo, en las comunidades en que los residuos descartables son retirados una vez por semana, la tasa de participación en los programas de separación en origen de residuos orgánicos es menor que en aquellas zonas donde la recolección de descartables se efectúa cada dos semanas.

Considerando lo expuesto precedentemente, se podría estimar que ambas tasas alcanzarían un 70% al cuarto año de operación, lo que estaría avalado por ambos juicios expertos. Sin embargo, con el objetivo de ser más conservadores, se ha considerado que ambas tasas alcanzarían un 60% al cuarto año de operación. Es decir, un 60% de las viviendas se adhieren efectivamente al sistema (tasa de participación) y en cada una de ellas se separa un 60% del total de residuos orgánicos generados (tasa de captura). Con esto, el programa debería incorporar aproximadamente 4.550 viviendas<sup>95</sup> aproximadamente para lograr recolectar 1.300 toneladas anuales de residuos orgánicos verdes. No obstante, para efectuar estos cálculos, en el marco del desarrollo de un proyecto, se recomienda utilizar las cifras reales o las estimaciones más representativas de la realidad local (comunal o regional), en términos de composición de los residuos y/o de generación per cápita de residuos, en lugar de los valores utilizados que corresponden a los promedios nacionales.

A continuación, en la siguiente tabla se presenta un resumen de los valores utilizados para calcular el número de las viviendas que deberían formar parte del programa de separación en origen y recolección diferenciada de residuos orgánicos.

Tabla 30. Estimación del número de viviendas participantes para lograr captura de 1.300 toneladas al año de residuos orgánicos verde.

Descripción de valor	Valor
Recepción residuos orgánicos verde en la planta	1.300 (ton/año)
Recepción residuos orgánicos café en la planta	1.300 (ton/año)
Total recepción residuos orgánicos en proyecto propuesto	2.600 (ton/año)
Generación per cápita de RSDyA	1,22 (kg/hab-día)
Fracción orgánica de los RSDyA	57,6%
Generación máxima de residuos orgánicos per cápita	0,70 (kg/hab-día)
Población aproximada necesaria para capturar 1.300 toneladas al año de RO verde	5.070 (habitantes)
Número de habitantes por vivienda	3,1 (hab/vivienda)
Viviendas aproximadas efectivas necesarias para capturar 1.300 toneladas al año de RO verde	1.635 (viviendas)
Adhesión a la separación en origen – tasa de participación	60%
Residuos orgánicos efectivamente separados – tasa de captura	60%
Estimación aproximada de viviendas necesarias para participar en separación en origen y recolección diferenciada	4.550 (viviendas)

Fuente: Elaboración propia (2019).

<sup>95</sup> Considerando una tasa de captura y de participación de un 60%, se lograrían recolectar aproximadamente 3.570 kg al día al incorporar aproximadamente 4.550 viviendas en el programa, lo que equivale a cerca de 1.300 toneladas al año de residuos orgánicos verde.

Una vez implementado el proyecto y para alcanzar la capacidad máxima de tratamiento de la planta, se debe desarrollar un programa de monitoreo dirigido a los habitantes de las viviendas adheridas, con el objetivo de capacitarlos y educarlos en torno a la separación de los residuos en origen, mediante el que se les brinde el apoyo técnico y seguimiento necesario.

### 3.4.1.2 Equipamiento

Para implementar una planta de compostaje de estas características, se requiere contar al menos con los equipos y maquinarias que se listan en la siguiente tabla.

Tabla 31. Equipamiento para una planta de compostaje de 1.300 toneladas al año de residuos orgánicos verde.

Ítem	Unidades
Báscula (para pesar camión recolector)	1
Chipeadora	1
Harnero	1
Minicargador frontal	1
Termómetro	3
Estanque de lixiviados	1
Estanque de líquidos para almacenamiento de aguas lluvia	1
Carretillas	3
Palas	3
Horquetas	3
Contenedores para el almacenamiento de residuos generados en la planta y el material de rechazo que llega con la fracción orgánica	3
Bomba extracción lixiviados y aguas lluvia	1

Fuente: Elaboración propia, basado en la experiencia desarrollada en Santa Juana y complementada con comentarios del experto Paul Van der Werf.

Existen otros elementos que son opcionales, tales como un pH-metro y un medidor de oxígeno, instrumentos que sirven para hacer seguimiento a algunos parámetros de control del proceso en las pilas de compostaje. Sin perjuicio de lo anterior, se puede hacer un buen control y seguimiento, utilizando solo un termómetro, ya que el procedimiento de medición es más simple, rápido y confiable<sup>96</sup>.

Eventualmente, podría ser necesario incluir un generador de energía, con el objetivo de dotar de iluminación y energía para las instalaciones (oficina, laboratorio y/o sala de reuniones), en caso de que el lugar donde se emplace el proyecto no disponga con este suministro.

Finalmente, cabe destacar que las capacidades de acumulación de los estanques de aguas lluvia y de lixiviados se deben diseñar considerando las condiciones climáticas de

<sup>96</sup> Según la opinión experta de Paul Van der Werf.

la zona donde se ubique la planta. Para el caso del estanque de aguas lluvias, además de la pluviometría, se debe considerar la superficie aportante sobre la cual se recolectará el agua.

Por ejemplo, en caso de que la planta se emplace en una zona con clima seco o sin lluvias, como en el norte de Chile, la generación de lixiviados será prácticamente nula ya que los líquidos que eventualmente salgan de las pilas podrían ser reincorporados a la misma con un manejo adecuado<sup>97</sup> y así mantener las condiciones de humedad necesarias. Bajo estas condiciones, la dimensión del estanque necesario sería mínima al compararse con un proyecto instalado en un clima lluvioso, que posiblemente podría requerir dos estanques distintos.

A modo de referencia, para el proyecto de compostaje que está desarrollando la Municipalidad de Talca, se diseñó un único estanque de recolección de lixiviados y aguas lluvias de 25.000 litros, donde ambas corrientes serán recuperadas para incorporarlas en el proceso de compostaje y mantener el contenido de humedad de las pilas. En dicho proyecto, la cubierta pavimentada sobre la cual se recolectan las aguas corresponde a 2.070 m<sup>2</sup>. El diseño contempla cálculos considerando los eventos máximos pluviométricos para un periodo de retorno de 50 años en la zona en estudio, y se consideraron todas las superficies del establecimiento destinadas captar aguas lluvias, como galpón, oficinas y superficie enlosada sin cubiertas<sup>98</sup>.

#### 3.4.1.3 Necesidad de terreno

Para este tipo de plantas se requieren estimativamente 10.000 m<sup>2</sup> (1 hectárea) de terreno, pudiendo operar en una superficie mínima de 7.500 m<sup>2</sup>. Idealmente toda la superficie debería ser asfaltada o pavimentada y dependiendo de las condiciones climáticas, se debería evaluar la instalación de techo o galpón. En el caso de situar el proyecto en un lugar lluvioso<sup>99</sup>, se recomienda, por opinión experta, considerar la instalación de techo sobre la superficie para proteger las pilas y evitar los problemas derivados del exceso de agua en el proceso de compostaje activo. De igual modo, para sitios con climas secos o con altas temperaturas, se podría requerir la aplicación de techumbre para evitar la

<sup>97</sup> Es posible implementar acciones simples para manejar adecuadamente cualquier excedente de líquido. Una de las medidas más comunes es aplicar material seco en el perímetro de la pila (aserrín, chips de madera u hojas secas) para contener y absorber el líquido excedente y de esta forma volver a reincorporarlo a la pila.

<sup>98</sup> Este diseño fue aprobado por la Secretaría Regional Ministerial del Ministerio de Salud. Ver Resolución N° 001378 de la SEREMI de Salud de la Región del Maule, del 03 de mayo de 2019.

<sup>99</sup> Se debe considerar que un lugar lluvioso puede estar definido tanto por una constante o permanente caída de agua lluvia, sobre todo durante época invernal, o también según lluvias intermitentes pero intensas, que podrían afectar las pilas de compostaje por exceso de humedad. Según la opinión experta de Paul Van der Werf, las plantas de compostaje abiertas descubiertas tienen una buena tolerancia, en general, hasta los 1.100 (mm) de aguas lluvias anuales, que podría representar, mayoritariamente, todas las ciudades desde el norte de Chile hasta la Región del Maule, aunque en las zonas cordilleranas (o de altitudes elevadas como en la Cordillera de la Costa) de la Región del Maule existe una zona importante cuyas precipitaciones se encuentran entre los 1.000 y 1.500 (mm). Ver:

[http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/117302/figueroa\\_p.pdf?sequence=1](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/117302/figueroa_p.pdf?sequence=1).

En conclusión, como recomendación general, desde la Región del Biobío hacia el sur se debiese considerar la construcción de un techo para las plantas de compostaje. De todos modos, para cada caso en particular, se debe estudiar a partir de la pluviometría de cada locación, información que puede ser encontrada en fuentes de la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP). Ver: <http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>

deshidratación de las pilas, o para minimizar la necesidad de consumo de agua de las pilas. En los casos que sean posible, se recomienda no considerar el galpón con el objetivo de abaratar los costos de la inversión inicial.

Para el presente proyecto, se consideró una planta alojada en un terreno de 9.000 m<sup>2</sup>. La superficie de la planta se divide principalmente en dos áreas según se observa en la siguiente tabla.

Tabla 32. Superficie destinada para cada actividad en una planta de compostaje de 1.300 toneladas al año de residuos orgánicos verde.

Actividad	Superficie destinada (m <sup>2</sup> )
Compostaje Activo	4.500
Recepción de material orgánico	4.500
Almacenamiento de restos de poda y material lignocelulósico chipeado	
Actividades de pretratamiento <sup>100</sup>	
Almacenamiento de compost finalizado	
Total	9.000

Fuente: Elaboración propia, en base a información presentada por el experto Paul Van der Werf.

Es importante señalar que el área de 4.500 m<sup>2</sup> destinada a recepción de material orgánico, almacenamiento de material lignocelulósico, actividades de pretratamiento y almacenamiento de compost finalizado, debe permitir flexibilidad en el dimensionamiento de cada área durante la operación de la planta. Esto se debe principalmente a las variaciones del ingreso de materiales y salida de productos. Por ejemplo, si una municipalidad tiene una alta demanda de compost finalizado se requiere de una superficie de almacenamiento mínima. De igual forma, si el material orgánico que se recibe en la planta es rápidamente incorporado a las pilas de compostaje, el área destinada para recepción se debe adaptar a la necesidad real, en caso contrario, si durante algunos periodos del año aumenta el ingreso de restos de podas y troncos, será necesario destinar una mayor superficie para su almacenamiento.

En base a las consideraciones anteriores, es posible aumentar el área destinada a compostaje activo, por ejemplo, hasta un 60% del total del terreno (5.400 m<sup>2</sup>), dejando 20% del total de la superficie para recepción de material orgánico y pretratamiento (1.800 m<sup>2</sup>), y 20% para almacenamiento de material lignocelulósico y compost finalizado (1.800 m<sup>2</sup>).

#### 3.4.1.4 Servicios básicos

La disponibilidad de energía eléctrica, agua potable y alcantarillado son requisitos básicos para conseguir la autorización de funcionamiento otorgada por el Ministerio de Salud en este tipo de instalaciones, por tanto, al momento de seleccionar el terreno para su

<sup>100</sup> El pretratamiento se refiere a las operaciones a las que se someten los materiales antes de ser incorporados en las pilas de compostaje, tales como: triturado del material leñoso, mezclado y homogenización de la mezcla.

emplazamiento es de vital importancia que esté próximo a redes de suministro de agua, electricidad y alcantarillado.

#### 3.4.1.4.1 Agua

Las pilas de compostaje, naturalmente, albergan un porcentaje de humedad gracias a los residuos orgánicos que están hidratados y se incorporan en ellas. Al mismo tiempo, el líquido que escurra o desaloje la pila, se puede volver a reincorporar a la misma mediante un manejo adecuado<sup>101</sup>. Controlar el parámetro de humedad es relevante, y, si es necesario, se debe agregar agua a la pila para mantener niveles dentro del rango de operación que permiten un correcto proceso biológico.

En una planta en que se realice un manejo adecuado puede ocurrir que no se requiera agua extra para agregar a las pilas, siempre y cuando las condiciones climáticas, o de exposición al sol, lo permitan. En caso contrario, si las condiciones climáticas en donde opere la planta son de baja humedad, altas temperaturas, altas velocidades de viento (seco), o la pila está expuesta bajo el sol prolongadamente, se propicia un entorno en el que la pila pierde su contenido de humedad fácilmente, afectando el proceso de descomposición, y en consecuencia, para evitar una excesiva deshidratación, se deberá incorporar agua a la pila mediante riego directo.

#### 3.4.1.4.2 Energía eléctrica

En general, las maquinarias utilizadas en la operación de este tipo de plantas (chipeadora, harnero y minicargador frontal) operan con combustible diésel o gas licuado, no siendo necesario dotar el área de compostaje activo de la planta con redes de alimentación eléctrica para mantener operativas dichas maquinarias. No obstante, es posible utilizar chipeadoras o harneros que funcionan con energía eléctrica, al respecto se recomienda efectuar una evaluación de los costos asociados en cada caso antes de adoptar una decisión final. En este caso, el cálculo de los costos de operación, expresados en la sección siguiente del presente informe, consideró solo la utilización de maquinaria alimentada con combustible diésel.

Con respecto a la iluminación, no es estrictamente necesaria que el área de compostaje activo cuente con iluminación, dependiendo este aspecto, principalmente del lugar donde se emplace la planta, por ejemplo, si se ubica en una zona con bajas precipitaciones no requeriría estar cubierta por techo o galpón y puede ser operada con luz natural durante el día, lo que es aplicable con mayor certeza en la zona centro norte del país. En caso contrario, si estacionalmente (invierno) la luminosidad del día no es suficiente, como podría suceder en la zona sur del país, será necesario dotar de iluminación el área tratamiento de los residuos.

Sin perjuicio del análisis anterior, que consideró el área donde se efectúa el tratamiento de los residuos, se debe tener presente que a todo evento se necesitará electricidad para energizar oficinas, comedor, camarines y baños utilizados por el personal, lo anterior al

---

<sup>101</sup> Una medida de manejo adecuado corresponde a utilizar, en el perímetro de la pila, aserrín, chips de madera y hojas para contener y absorber potenciales líquidos que escurran o desalojen la pila, y así puedan volver a ser reincorporados a ella llevando el material absorbente a la misma.

objeto de obtener la resolución sanitaria del proyecto, según lo establecido en el D.S. 594 del 1999 del Ministerio de Salud<sup>102</sup>.

### 3.4.1.5 Costos de inversión y operación

En esta sección se presenta información relativa a la estimación de los costos de inversión y operación requeridos para ejecutar este tipo de proyectos. Cabe destacar, que también se consideran los costos asociados a la implementación del programa de separación en origen y recolección diferenciada de residuos verdes, componente esencial que se debe desarrollar durante la implementación de este tipo de iniciativas.

#### 3.4.1.5.1 Costos de Inversión

Los costos de inversión estimados se estructuran de la siguiente forma:

- a. Separación en origen y recolección diferenciada
- b. Equipamiento
- c. Obras civiles
- d. Ingeniería y diseño del proyecto, e instalaciones (mecánicas y eléctricas)

A continuación, en la siguiente tabla se presentan los costos de inversión asociados a este tipo de plantas.

Tabla 33. Inversión asociada a planta de compostaje de capacidad de 1.300 toneladas al año de residuos orgánicos verde.

Ítem	Unidades	Costo unitario neto (\$)	Costo total neto (\$)	Costo total (\$) IVA incl.
Contenedor para separar orgánicos en origen (10l) (cocinas)	4.550	\$7.200	\$32.760.000	\$38.984.400
Recipiente domiciliario para almacenar orgánicos (40l)	4.550	\$14.300	\$65.065.000	\$77.427.350
Camión para recolectar (11.000 kg)	2	\$33.000.000	\$66.000.000	\$78.540.000
<b>(1) Total separación en origen y recolección diferenciada</b>			<b>\$163.825.000</b>	<b>\$194.951.750</b>
Báscula	1	\$33.418.227	\$33.418.227	\$39.767.690
Chipeadora	1	\$130.720.168	\$130.720.168	\$155.557.000
Harnero	1	\$80.000.000	\$80.000.000	\$95.200.000
Minicargador	1	\$31.000.000	\$31.000.000	\$36.890.000
Termómetro	3	\$220.000	\$660.000	\$785.400
Estanque de lixiviados	1	\$3.500.000	\$3.500.000	\$4.165.000
Estanque de líquidos	1	\$806.723	\$806.723	\$960.000
Carretillas	3	\$26.050	\$78.150	\$92.999

Fuente: Elaboración propia, basado en proyectos desarrollados por las Municipalidades de Talca y Santa Juana, complementado con información entregada por el experto Paul Van der Werf.

<sup>102</sup> Ministerio de Salud de Chile. (1999). Decreto Supremo 594: Condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo. Disponible en: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=167766>

Tabla 33. Inversión asociada a planta de compostaje de capacidad de 1.300 toneladas al año de residuos orgánicos verde (continuación).

Ítem	Unidades	Costo unitario neto (\$)	Costo total neto (\$)	Costo total (\$) IVA incl.
Palas	3	\$15.000	\$45.000	\$53.550
Horquetas	3	\$15.000	\$45.000	\$53.550
Contenedores	3	\$319.319	\$957.958	\$1.139.970
Bomba extracción lixiviados	1	\$672.269	\$672.269	\$800.000
Equipamiento de oficina	1	\$700.000	\$700.000	\$833.000
<b>(2) Total equipamiento</b>			<b>\$282.603.495</b>	<b>\$336.298.159</b>
Terreno (m <sup>2</sup> )	9.000	\$2.400	\$21.600.000	\$25.704.000
Perímetro terreno (m)	380	\$33.679	\$12.798.096	\$15.229.734
Cerco verde (m)	380	\$6.736	\$2.559.619	\$3.045.947
Portón de acceso	1	\$500.000	\$500.000	\$595.000
Caseta vigilancia	1	\$1.000.000	\$1.000.000	\$1.190.000
Galpón compostaje (m <sup>2</sup> )	4.250	\$88.408	\$375.733.575	\$447.122.954
Asfaltado galpón (m <sup>3</sup> )	1.785	\$80.000	\$142.800.000	\$169.932.000
Oficinas e instalaciones sanitarias (m <sup>2</sup> )	71	\$449.056	\$31.882.976	\$37.940.741
Señalizaciones	1	\$500.000	\$500.000	\$595.000
<b>(3) Total obras civiles</b>			<b>\$589.374.266</b>	<b>\$701.355.377</b>
Ingeniería y diseño	1	\$ 11.000.000	\$ 11.000.000	\$ 13.090.000
Instalación eléctrica	1	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000	\$ 1.190.000
<b>(4) Total Ingeniería, diseño e instalaciones</b>			<b>\$ 12.000.000</b>	<b>\$ 14.280.000</b>
<b>Subtotal inversiones</b>			<b>\$1.047.802.761</b>	<b>\$1.246.885.286</b>

Fuente: Elaboración propia, basado en proyectos desarrollados por las Municipalidades de Talca y Santa Juana, complementado con información entregada por el experto Paul Van der Werf.

Para estimar los costos se consideró un tipo de camión de carga conocido como “tres cuartos” o “3/4”, con carrocería abierta y largo carrozable de 7 metros, con capacidad de carga de hasta 11.000 kg. Este tipo de camiones multipropósito podría ser una alternativa más económica y versátil que los camiones con caja compactadora tradicionales para recolectar este tipo de residuos.

Para el presente ejercicio de aproximación, el servicio de recolección se estructuró con una frecuencia de recolección de dos veces por semana para cada vivienda adherida al programa, ejecutándose seis días a la semana, de lunes a sábado. De esta forma, el sector conformado por 4.550 viviendas que participan del programa se divide en tres zonas. La Zona 1 sería recolectada los lunes y jueves, la Zona 2 martes y viernes, y la Zona 3 miércoles y sábado, donde cada una estaría conformada por aproximadamente 1.517 viviendas.

Considerando lo anterior, se estimó que para recolectar los residuos orgánicos en cada zona se requeriría un camión dedicado exclusivamente al sistema de recolección diferenciada de residuos orgánicos, para cubrir las tres zonas, trabajando de forma

continua de lunes a sábado. Además, se requiere contar con un segundo camión o camión de reemplazo, el que debe estar disponible para asegurar la continuidad del servicio, en caso de que el camión de recolección oficial presente una falla, sea necesario hacerle mantenimiento o se requiera brindar apoyo al inicio del programa o en caso de contingencia. Es preciso aclarar que este ejercicio hipotético se realizó utilizando solamente una estimación de la generación de residuos por vivienda y la capacidad de carga del camión especificado, ya que no se dispone de toda la información necesaria para efectuar un cálculo de flota en una situación real.

Adicionalmente, el número de camiones necesarios para recolectar los residuos podría cambiar si el programa de recolección diferenciada considera, además de los orgánicos, los residuos reciclables de envases y embalajes y/o los residuos de descarte, en cuyo caso variaría el número de camiones requeridos, toda vez que esta condición impactaría directamente en la frecuencia de recolección determinada.

Finalmente, se podría considerar que la adquisición de camiones podría ser paulatina, debido a que las tasas de participación son más bajas al iniciar estos programas de recolección diferenciada. Esta situación también repercute en los costos de operación, y aplica para cualquier envergadura de tecnología considerada en la sección 3.4. De todos modos, este tipo de análisis debe realizarse específicamente para cada proyecto.

#### 3.4.1.5.2 Costos de Operación

Los costos de operación estimados para el funcionamiento de una planta de compostaje con capacidad de tratamiento de 1.300 toneladas al año consideran principalmente el pago de sueldos del personal de la planta y el costo de operación y mantenimiento de las maquinarias utilizadas. Junto con ello, se debe incluir el costo asociado al servicio de recolección diferenciada de residuos orgánicos verdes, la capacitación y entrega de los contenedores para separar la fracción orgánica en origen y el seguimiento posterior.

Una planta de esta dimensión requiere de los servicios de un trabajador que dedique la mitad de su día, 4 horas al día, a la operación de maquinaria, ya sea para desarrollar labores con el minicargador frontal, chipear ramas o accionar el harnero, y de un segundo trabajador que dedique la mitad de su día en actividades de aireación (volteo de pilas) y control de parámetros. Para efectos de la evaluación de costos, se consideró un trabajador a tiempo completo para cada labor, a saber: un operador de maquinarias y un operador de planta, que es el mínimo necesario para mantener operativa este tipo de plantas. Lo anterior, a pesar de que se espera que ambos cuenten con horas para destinar al desarrollo de otras labores. Adicionalmente, se requiere un supervisor de planta, el que debe destinar su atención, estimativamente, entre 1 y 2 horas diarias, por lo que el resto de su jornada podría dedicarlo a ejecutar otras funciones. Para efectos del presente ejercicio de estimación de costos, se ha considerado que el supervisor trabaja a tiempo completo.

Los costos de operación unitarios utilizados para calcular la operación de la planta se presentan en la siguiente tabla y los costos totales asociados a la operación durante los primeros cuatro años de operación se especifican en la subsiguiente. Además, los costos entre un año y otro consideran ajustes por inflación.

Tabla 34. Costos de operación unitarios estimados para una planta de compostaje de 1.300 toneladas al día de residuos orgánicos verdes.

Costo de operación (unitarios)	Costo mensual (\$)	Costo anual (\$)
Operación de camiones (combustible y otros)	\$1.545.000	\$18.540.000
Sueldo de un conductor de camión	\$643.750	\$7.725.000
Sueldo de un peoneta de camión	\$520.150	\$6.241.800
Sueldo de un monitor capacitación	\$566.500	\$6.798.000
Sueldo de un profesional admin. y monitoreo	\$875.500	\$10.506.000
Sueldo de un operador de planta	\$515.000	\$6.180.000
Sueldo de un operador maquinaria	\$772.500	\$9.270.000
Sueldo de un supervisor de planta	\$1.081.500	\$12.978.000
Combustible maquinarias	\$1.380.200	\$16.562.400
Gastos por mantención	\$2.864.034	\$34.368.403

Fuente: Elaboración propia, basado en los proyectos desarrollados por las Municipalidades de Talca y Santa Juana.

Tabla 35. Costos de operación totales estimados para una planta de compostaje de 1.300 toneladas al año, durante los primeros cuatro años.

Costo de operación (\$/año)	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4 (y posteriores)
Total operación de camiones	\$44.990.400	\$46.340.112	\$47.730.315	\$49.162.225
Total gastos por capacitación, educación ambiental y entrega de kits inicial	\$40.000.000	\$42.928.940	\$44.216.808	\$30.686.596
Total operación de la planta	\$44.990.400	\$46.340.112	\$47.730.315	\$49.162.225
Total gastos por mantenimiento	\$34.368.403	\$35.399.455	\$36.461.438	\$37.555.282
Total anual	\$164.349.203	\$171.008.619	\$176.138.876	\$166.566.328

Fuente: Elaboración propia, basado en los proyectos desarrollados por las Municipalidades de Talca y Santa Juana.

En la tabla anterior se pueden ver diferencias en los costos de operación conforme transcurre el proyecto. Esto se debe a que el gasto asociado a capacitación y educación se hacen menos intensivos a partir del cuarto año, ya que, durante el primer año del proyecto, se consideró el costo asociado a la entrega de contenedores para separar la fracción orgánica y capacitar a la comunidad, por un valor estimado de \$40.000.000, tomando como referencia el proyecto de la Municipalidad de Santa Juana. El segundo y tercer año se consideró un grupo de cuatro monitores y un profesional administrador para intensificar la capacitación y el seguimiento, dejando desde el cuarto hasta el final del proyecto un equipo de dos monitores y un profesional administrativo para garantizar su continuidad.

Finalmente, se podría considerar que los costos de operación podrían aumentar de manera paulatina, debido a que las tasas de participación son más bajas al iniciar estos programas de recolección diferenciada y posiblemente no se requiere operar la totalidad

de camiones desde el inicio del programa, reduciéndose los costos en sueldos (choferes y peonetas) y mantenencias de los vehículos. De todos modos, este tipo de análisis debe realizarse específicamente para cada proyecto. Esta situación aplica para cualquier envergadura de tecnología considerada en la sección 3.4.

#### 3.4.1.6 Esquemas de financiamiento

Para este tipo de plantas se propone una inversión de capital por parte del sector público ya sea mediante financiamiento con recursos municipales o a través del Fondo Nacional de Desarrollo Regional con recursos del Gobierno Regional o SUBDERE, mientras que el costo operativo podría ser asumido por el municipio o una asociación municipal (modelo Relleno Sanitario La Laja) o ser tercerizado mediante la contratación de una empresa privada por vía de licitación pública. En este último caso, probablemente se tendría que establecer un cofinanciamiento por parte del municipio o asociación municipal, considerando que la operación de este tipo de plantas no sería rentable para el sector privado<sup>103</sup>, ya que los principales ingresos que reportaría la actividad provendrían del costo por tonelada ingresada a la planta y eventualmente la venta de compost, por lo que la recuperación de la inversión presenta riesgos para inversionistas privados. En base a lo anterior, financiar o cofinanciar la infraestructura de la planta con recursos públicos haría más interesante el modelo de negocio para la empresa privada.

El financiamiento de este tipo de proyectos, considerando el nivel de la inversión (cerca a los \$1.300 millones), se puede obtener postulando la iniciativa al **Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR)** directamente o con cargo a la provisión del Programa Nacional de Residuos Sólidos (PNRS)<sup>104</sup> de la SUBDERE. Más detalles sobre estas dos líneas de financiamiento pueden ser consultados en el apartado 3.2.1.8. Por otro lado, en lo relativo al programa de educación asociado al proyecto, este puede ser financiado con recursos del municipio o postulando un programa al FNDR.

#### 3.4.1.7 Sistema de gobernanza

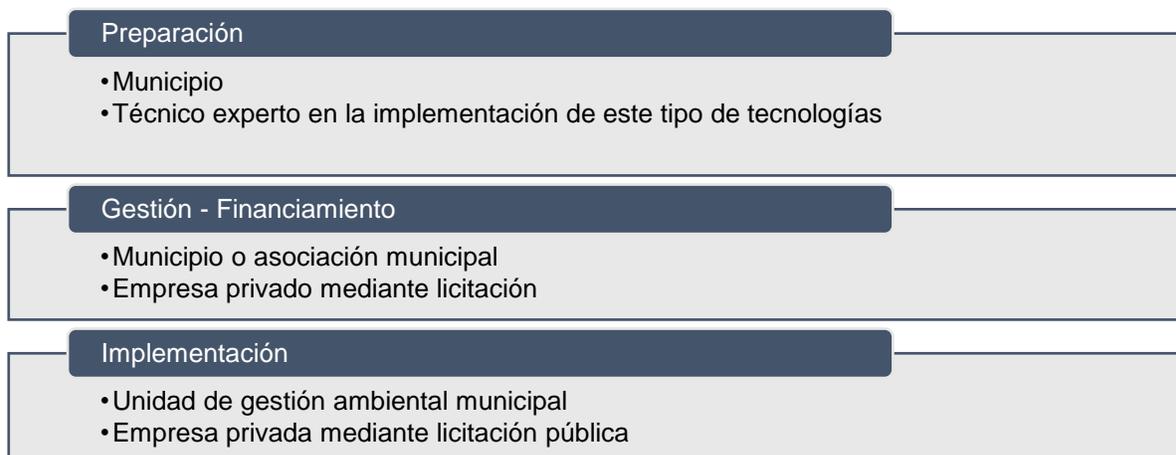
En base a lo descrito en el apartado precedente, a continuación, se presenta de forma esquemática una propuesta de gobernanza asociada a este tipo de instalaciones.

---

<sup>103</sup> Al evaluar este tipo de proyectos, en general el Valor Actualizado Neto (VAN) resulta negativo.

<sup>104</sup> Para más información, ver: <http://www.subdere.gov.cl/programas/divisi%C3%B3n-desarrollo-regional/programa-nacional-de-residuos-s%C3%B3lidos-pnrs>

Figura 12. Esquema de gobernanza para planta de compostaje de 1.300 toneladas al año de residuos orgánicos verde.



Fuente: Elaboración propia (2019).

Para la **preparación** del proyecto desde el municipio, se requiere de un profesional perteneciente a la unidad ambiental, con conocimiento específico en gestión de residuos, quien debe recibir apoyo desde la Secretaría de Planificación Comunal, sobre todo si la iniciativa se presenta a una línea de financiamiento externa, y eventualmente de un experto en la preparación de proyectos de gestión de residuos a esta escala. Con respecto a esto, es preciso señalar que el Programa Nacional de Residuos Sólidos (PNRS) de SUBDERE financia el diseño de proyectos y también asistencias técnicas orientadas a apoyar a los municipios en el desarrollo de proyectos de gestión de residuos en su fase de preinversión, tales como “*diseños de ingeniería de detalle de las obras a ejecutar y de las obras de mitigación*”, “*estudios y/o declaraciones de impacto ambiental, según corresponda*” y también “*asistencias técnicas*”, entre otras líneas de financiamiento. En esta etapa, también se recomienda aprovechar la experiencia disponible en nuestro país, considerando que existen proyectos de plantas de compostaje diseñados por municipios (Santa Juana, Talca y Talcahuano), que pueden ser utilizados como referencia.

En cuanto a la **gestión de financiamiento**, la primera alternativa propuesta se basa en que el municipio financie la totalidad del costo de inversión con recursos propios o mediante la postulación a alguna de las líneas de financiamiento especificadas precedentemente y asuma los costos de operación en su totalidad con recursos del presupuesto municipal, tal como lo han hecho las plantas de compostaje municipales existentes en nuestro país.

La segunda alternativa propuesta consiste en que el municipio cofinancie una parte de la inversión inicial, con recursos propios y consiga financiamiento para la adquisición de maquinarias y equipamiento, a través de una de las vías de financiamiento descritas precedentemente, dejando una parte de la inversión junto a la operación a un privado, que se adjudique el proyecto mediante licitación pública o concesión. Esta alternativa, podría acelerar el desarrollo de este tipo de proyectos, al incluir en el modelo de negocio la inversión privada.

Nuestra legislación reconoce la facultad que tienen los Municipios de otorgar concesiones. En efecto, la Ley 18.695 de Municipalidades en su artículo 8, señala que los Municipios “podrán otorgar concesiones para la prestación de determinados servicios municipales o para la administración de establecimientos o bienes específicos que posean o tenga a cualquier título”. Según señala el mismo artículo, el otorgamiento de las concesiones de servicio público se debe hacer a través de licitación pública cuando los derechos o prestaciones que deba pagar el concesionario sea superior a 100 UTM. Pero no sólo se pueden otorgar concesiones para la prestación de servicios, sino que tal como reconoce el artículo 36, también se pueden otorgar concesiones de bienes municipales o nacionales de uso público que administre la Municipalidad u otorgar permisos para su uso. Finalmente, en la modalidad más clásica de las concesiones, el municipio puede concesionar la ejecución, conservación o reparación de una obra pública a cambio de explotar dicha obra y a obtener una tarifa.

Considerando lo anterior, resulta relevante investigar y analizar alternativas de financiamiento que articulan al sector público y el privado. Un mecanismo que permite esto es el Financiamiento Urbano Compartido (FUC)<sup>105</sup>, que es un instrumento mediante el cual la Municipalidad podrá celebrar con terceros contratos de participación, destinados a la adquisición de bienes o a la ejecución, operación y mantención de obras urbanas, a cambio de una contraprestación, que podrá consistir en otorgar a aquellos derechos sobre bienes muebles o inmuebles, la explotación de uno o más inmuebles u obras.

El contrato de participación a celebrarse comprende la prestación que el tercero adjudicatario efectuará al Municipio, según sea el caso, recibiendo a cambio, la contraprestación con que el organismo le retribuirá, conforme a la combinación y equivalencia fijada en las bases de la licitación y en la oferta del adjudicatario.

La prestación consiste en el conjunto de obras, acciones, bienes o dinero determinada en las bases de la licitación, conforme a lo establecido en el artículo 6º de la Ley de FUC, que el adjudicatario de la licitación entrega al SERVIU o Municipio, según proceda, con miras a obtener la contraprestación correspondiente. La contraprestación consiste en el conjunto de obras, acciones o bienes establecida en las bases de la licitación conforme al artículo 7º de la Ley de FUC, que el Municipio entregará al adjudicatario a cambio de la prestación comprometida.

En las bases de la licitación se establecerá, con el propósito de que exista la debida equivalencia entre lo que las partes reciben, la prestación mínima que el organismo licitante está dispuesto a aceptar a cambio de la contraprestación ofrecida o cual es la contraprestación máxima que está dispuesto a entregar a cambio de la prestación que solicita.

Según el Reglamento y conforme al artículo 6º de la Ley de FUC, la Municipalidad podrá recibir del participante una o más de las siguientes “prestaciones”, según se haya establecido en las bases de la licitación:

---

<sup>105</sup> Para más información, visitar: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=208927>

- a. La ejecución, la operación o la mantención total o parcial de una obra por un período determinado;
- b. La entrega en propiedad de uno o más bienes inmuebles;
- c. La entrega en propiedad de uno o más bienes muebles que estén destinados a los fines del contrato de participación;
- d. El uso o goce, por un período determinado, de uno o más bienes inmuebles;
- e. El uso o goce, por un período determinado, de uno o más bienes muebles que estén destinados a los fines del contrato de participación, y
- f. Una suma de dinero, adicionalmente a una o más de las anteriores

Conforme al artículo 7º de la Ley de FUC la Municipalidad, podrá entregar al participante una o más de las siguientes **contraprestaciones**, según se establezca en las bases de la licitación:

- a. La explotación total o parcial de uno o más bienes u obras por un período determinado, pudiendo percibir los beneficios de la explotación;
- b. El derecho al uso o goce de uno o más bienes muebles o inmuebles por un período determinado, y
- c. La entrega en propiedad de uno o más bienes muebles o inmuebles.

Las presentaciones, según sea el tipo de prestación y contraprestación y según sean los montos de la inversión presupuestada, se clasifican en:

- a. Proyectos tipo 1: Aquellos proyectos que sólo contemplen la entrega en propiedad de bienes muebles o inmuebles, derechos o dinero como prestación y la entrega en propiedad de bienes muebles o inmuebles, o derechos en contraprestación.
- b. Proyectos tipo 2: Aquellos proyectos que contemplen ya sea la ejecución, la operación o la mantención total o parcial de una obra por un período de tiempo determinado o la explotación total o parcial de uno o más bienes muebles o inmuebles, u obras por un período de tiempo determinado, según las siguientes categorías:
  - i. Categoría A: Proyectos que tengan una inversión estimada de hasta 20.000 UF
  - ii. Categoría B: Proyectos que tengan una inversión estimada superior 20.000 UF y hasta 100.000 UF
  - iii. Categoría C: Proyectos que tengan una inversión estimada superior 100.000 UF y hasta 300.000 UF
  - iv. Categoría D: Proyectos que tengan una inversión estimada superior 300.000 UF y hasta 800.000 UF
  - v. Categoría E: Proyectos que tengan una inversión estimada de más de 800.000 UF

Se debe resaltar que cualquier persona natural o jurídica podrá proponer al SERVIU o al Municipio correspondiente proyectos relativos a las obras y acciones que regula la Ley de

FUC. Esta proposición se tramita de acuerdo con el procedimiento y comprende dos etapas. En la primera, en adelante "Presentación", la postulante entrega el proyecto para que el SERVIU o Municipio, según corresponda, evalúe si es de interés público. En el caso de que exista, en principio, interés público en el proyecto presentado, se inicia una segunda etapa, en adelante "Proposición", en la que el proponente acompaña los estudios considerados necesarios por el SERVIU o el Municipio, según corresponda, para evaluar la idea de iniciativa privada.

Con respecto a esto último, según el Reglamento los estudios necesarios para el desarrollo de la "Proposición" serán declarados en el oficio de respuesta donde se declara que existe "Interés Público". Este documento comunica al postulante que existe, en principio, interés público en la idea presentada y contendrá, a lo menos, lo siguiente:

- a. Estudios mínimos por entregar en la etapa de Proposición, su forma y especificaciones;
- b. Plazos para la entrega de los informes de los estudios. El plazo para la entrega del informe final no podrá exceder de 180 días,
- c. Designación del Profesional que será la contraparte técnica del proyecto y que representará al SERVIU o al Municipio, según corresponda, ante el postulante, en esta etapa.

De acuerdo con esto, algunos estudios a realizar para este proyecto en particular son: Proyecto Arquitectura, Proyecto Especialidades, Autorizaciones sanitarias y permisos sectoriales, Estudios de suelo, Estudios vialidad, Estudios tarifarios, Estudio Impacto ambiental, Planes de mitigación, logística Materia Prima, Régimen tributario, Presupuesto, Evaluación económica, entre otros.

Con el objetivo de resaltar un riesgo para el proponente, puede resultar que, incluso presentando la propuesta, y los estudios necesarios para la evaluación del proyecto, finalmente la licitación de la iniciativa no sea adjudicada por el proponente. Igualmente, en dicho caso, se le deben pagar los estudios al postulante.

Este tipo de mecanismo de financiamiento ya se ha utilizado en Chile. A modo de referencia, se pueden revisar algunos casos en que se ha utilizado el modelo FUC, tales como:

- Construcción de Estacionamientos y locales comerciales subterráneos. Plaza 19 abril – Ñuñoa;
- 2582-109-LP09: "Contrato de Participación y Concesión del Proyecto Estacionamiento Subterráneo Plaza de la Justicia de Santiago";
- 2735-188-LR16: "Proyecto Estacionamientos Subterráneo Plaza Santa". Contrato de participación y concesión del proyecto estacionamientos subterráneo plaza Santa Rosa de Lo Barnechea, y
- 5482-31-LQ17. Concesión estacionamientos edificio de Servicios de Ñuñoa

Finalmente, no se puede perder de vista que este sistema de manejo requiere una preparación previa de los residuos orgánicos, con un fuerte monitoreo en la separación en origen y recolección diferenciada, por lo que durante la implementación de este tipo de proyectos la unidad ambiental de la Municipalidad debe asegurar que el residuo cumpla con la calidad necesaria antes de ingresar en la planta de compostaje, ya sea bajo operación municipal o licitada por un privado.

### 3.4.2 Compostaje Municipal para 7.800 toneladas al año de residuos orgánicos verdes

#### 3.4.2.1 Caracterización proyecto tipo

En esta sección, se analiza una alternativa similar a la expuesta anteriormente, tomando en consideración las mismas suposiciones en su diseño, pero con una capacidad de tratamiento superior. Las diferencias conceptuales que tenga esta alternativa de mayor capacidad en comparación a la sección anterior son explícitamente resaltadas.

Esta planta de compostaje de pilas abierta alcanza 30 toneladas al día de tratamiento de residuos orgánicos verde, los que sumados a las 30 toneladas de residuos orgánicos café alcanza una capacidad total de tratamiento de 60 toneladas por día.

Para el proyecto tipo analizado, se consideraron 260 días al año de operación, por lo que en total la capacidad de tratamiento asciende a 15.600 toneladas al año de residuos orgánicos (café y verde), 7.800 toneladas al año de residuos orgánicos verde y 7.800 toneladas al año de residuos orgánicos café, por lo que se necesitaría un total aproximado de 27.300 viviendas participantes en el programa de recolección diferenciada, para utilizar la capacidad total de la planta (considerando los supuestos descritos en el apartado 3.4.1.1).

#### 3.4.2.2 Equipamiento

Para implementar una planta de compostaje de estas características, se requiere contar al menos con los equipos y maquinarias que se listan en la siguiente tabla.

Tabla 36. Equipamiento para una planta de compostaje de 7.800 toneladas al año.

Ítem	Unidades
Báscula (para pesar camión recolector)	1
Chipeadora	1
Harnero	1
Cargador frontal	1
Termómetro	9
Estanque de lixiviados	1
Estanque de líquidos para almacenamiento de aguas lluvia	1
Contenedores para el almacenamiento de residuos generados en la planta y el material de rechazo que llega con la fracción orgánica	18
Bomba extracción lixiviados y aguas lluvia	1

Fuente: Elaboración propia, basado en la experiencia desarrollada en Santa Juana y complementada con comentarios del experto Paul Van der Werf.

El manejo de los residuos en plantas de esta envergadura se debe realizar mediante el uso de maquinaria pesada, por tanto, no fueron consideradas dentro de la partida equipamiento las herramientas manuales. No obstante, si se estima necesario incluirlas, en la sección 3.4.1.2 del presente informe se identifica el tipo de herramientas manuales utilizadas.

Junto a lo anterior, podría ser necesario incluir un generador de energía, con el objeto de dotar de iluminación y energía para las instalaciones (oficina, laboratorio y/o sala de reuniones), en caso de que el lugar donde se emplace el proyecto no disponga con este suministro.

Finalmente, la dimensión exacta de los estanques de líquidos y lixiviados debe ser dimensionada para cada proyecto, dependiendo de las condiciones climáticas de la zona donde se emplace el proyecto.

### 3.4.2.3 Necesidad de terreno

Para este tipo de plantas se requieren 31.500 m<sup>2</sup> (3,15 hectáreas) de terreno. Idealmente toda la superficie debería ser asfaltada o pavimentada y se debe evaluar la instalación de techo o galpón según las condiciones climáticas. La superficie de la planta para este tipo de proyecto se divide en dos áreas según se observa en la siguiente tabla.

Tabla 37. Superficie destinada para cada actividad en una planta de compostaje de 7.800 toneladas al año de residuos orgánicos verde.

Actividad	Superficie destinada (m <sup>2</sup> )
Compostaje Activo	22.500
Recepción de material orgánico	6.000
Almacenamiento de restos de poda y material lignocelulósico chipeado	
Actividades de pretratamiento <sup>106</sup>	
Almacenamiento de compost finalizado	
<b>Total</b>	<b>31.500</b>

Fuente: Elaboración propia (2019).

Es importante señalar que el área de 6.000 m<sup>2</sup> destinada a recepción de material orgánico, almacenamiento de material lignocelulósico, actividades de pretratamiento y almacenamiento de compost finalizado, debe permitir flexibilidad en el dimensionamiento de cada área durante la operación de la planta, las cuales pueden ser reajustadas, según se mencionó en la sección anterior.

#### 3.4.2.4 Servicios básicos

Al igual que lo señalado precedentemente, la disponibilidad de energía eléctrica, agua potable y alcantarillado son requisitos básicos para conseguir la autorización de funcionamiento otorgada por el Ministerio de Salud<sup>107</sup>. En este sentido, no hay variaciones en torno a lo descrito anteriormente, en torno a la necesidad de disponer de servicios básicos.

##### 3.4.2.4.1 Agua

Según lo mencionado en la sección anterior, se debe controlar el parámetro de humedad en las pilas, y evaluar caso a caso las acciones necesarias para que esto ocurra. Para más detalles, dirigirse a la sección 3.4.1.4.1.

##### 3.4.2.4.2 Energía eléctrica

Nuevamente, se deben tomar en cuenta las mismas consideraciones expuestas en el apartado donde se describe esta tecnología para una planta con capacidad de tratamiento de 1.300 toneladas al año de residuos verdes. Para más detalles, consultar sección 3.4.1.4.2.

<sup>106</sup> El pretratamiento se refiere a las operaciones a las que se someten los materiales antes de ser incorporados en las pilas de compostaje, tales como: triturado del material leñoso, mezclado y homogenización de la mezcla.

<sup>107</sup> Ministerio de Salud de Chile. (1999). Decreto Supremo 594: Condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo. Disponible en: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=167766>

### 3.4.2.5 Costos de inversión y operación

En esta sección se presenta información relativa a la estimación de los costos de inversión y operación requeridos para ejecutar este tipo de proyectos. Cabe destacar, que también se consideran los costos asociados a la implementación del programa de separación en origen y recolección diferenciada de residuos verdes, componente esencial que se debe desarrollar durante la implementación de este tipo de iniciativas.

#### 3.4.2.5.1 Costos de Inversión

Los costos de inversión estimados se estructuran de la siguiente forma:

- a. Separación en origen y recolección diferenciada
- b. Equipamiento
- c. Obras civiles
- d. Ingeniería y diseño del proyecto, e instalaciones (mecánicas y eléctricas)

A continuación, en la siguiente tabla se presentan los costos de inversión asociados a este tipo de plantas.

Tabla 38. Inversión asociada a planta de compostaje de capacidad de 7.800 toneladas al año de residuos orgánicos verde.

Ítem	Unidades	Costo unitario neto (\$)	Costo total neto (\$)	Costo total (\$) IVA incl.
Contenedor para separar orgánicos en origen (10l) (cocinas)	27.300	\$7.200	\$196.560.000	\$233.906.400
Recipiente domiciliario para almacenar orgánicos (40l)	27.300	\$14.300	\$390.390.000	\$464.564.100
Camión para recolectar (11.000 kg)	7	\$33.000.000	\$231.000.000	\$274.890.000
<b>(1) Total separación en origen y recolección diferenciada</b>			<b>\$817.950.000</b>	<b>\$973.360.500</b>
Báscula	1	\$33.418.227	\$33.418.227	\$39.767.690
Chipeadora	1	\$130.720.168	\$130.720.168	\$155.557.000
Harnero	1	\$80.000.000	\$80.000.000	\$95.200.000
Cargador frontal	1	\$140.434.500	\$140.434.500	\$167.117.055
Termómetro	9	\$220.000	\$1.980.000	\$2.356.200
Estanque de lixiviados	6	\$3.500.000	\$21.000.000	\$24.990.000
Estanque de líquidos	1	\$806.723	\$806.723	\$960.000
Contenedores	18	\$319.319	\$5.747.748	\$6.839.820
Bomba extracción lixiviados	1	\$672.269	\$672.269	\$800.000
Equipamiento de oficina	1	\$700.000	\$700.000	\$833.000
<b>(2) Total equipamiento</b>			<b>\$415.479.635</b>	<b>\$494.420.765</b>

Fuente: Elaboración propia (2019).

Tabla 38. Inversión asociada a planta de compostaje de capacidad de 7.800 toneladas al año de residuos orgánicos verde (continuación).

Ítem	Unidades	Costo unitario neto (\$)	Costo total neto (\$)	Costo total (\$) IVA incl.
Terreno (m <sup>2</sup> )	31.500	\$2.400	\$75.600.000	\$89.964.000
Perímetro terreno (m)	810	\$33.679	\$27.280.152	\$32.463.381
Cerco verde (m)	810	\$6.736	\$5.456.030	\$6.492.676
Portón de acceso	1	\$500.000	\$500.000	\$595.000
Caseta vigilancia	1	\$1.000.000	\$1.000.000	\$1.190.000
Galpón compostaje (m <sup>2</sup> )	15.750	\$88.408	\$1.392.424.425	\$1.656.985.066
Asfaltado galpón (m <sup>3</sup> )	6.615	\$80.000	\$529.200.000	\$629.748.000
Oficinas e instalaciones sanitarias (m <sup>2</sup> )	71	\$449.056	\$31.882.976	\$37.940.741
Señalizaciones	1	\$500.000	\$500.000	\$595.000
<b>(3) Total obras civiles</b>			<b>\$2.063.843.583</b>	<b>\$2.455.973.864</b>
Ingeniería y diseño	1	\$16.500.000	\$16.500.000	\$19.635.000
Instalación eléctrica	1	\$1.000.000	\$1.000.000	\$1.190.000
<b>(4) Total Ingeniería, diseño e instalaciones</b>			<b>\$17.500.000</b>	<b>\$20.825.000</b>
<b>Subtotal inversiones</b>			<b>\$3.314.773.218</b>	<b>\$3.944.580.130</b>
Costos inesperados (5%)			\$165.738.661	\$197.229.006
<b>Total proyecto planta de compostaje</b>			<b>\$3.480.511.879</b>	<b>\$4.141.809.136</b>

Fuente: Elaboración propia (2019).

Al igual que en la sección anterior, para la estimación de los costos se consideró un tipo de camión de carga conocido como “tres cuartos” o “3/4”, con carrocería abierta y largo carrozable de 7 metros, con capacidad de carga de hasta 11.000 kilogramos.

Asimismo, el servicio de recolección se estructuró con una frecuencia de recolección de 2 veces por semana, en cada vivienda adherida al programa, ejecutándose de lunes a sábado. De esta forma, el sector conformado por las viviendas que participan del programa se divide en tres zonas, cada una de ellas conformada por aproximadamente 9.100 viviendas. La Zona 1 es recolectada los lunes y jueves, la Zona 2 martes y viernes, y la Zona 3 miércoles y sábado.

Considerado lo anterior, se estimó que la flota de recolección asociada a este tipo de planta debería estar compuesto por 7 camiones (5 titulares y 2 reemplazo), cada uno con equipo conformado por un conductor y tres peonetas. Los camiones de reemplazo son necesario para asegurar la continuidad del servicio, en caso de que alguno de los camiones de recolección titulares presente una falla, sea necesario hacerle mantenimiento o se requiera brindar apoyo al inicio del programa o en caso de contingencia.

Finalmente, es preciso aclarar que este análisis simplificado se basó solamente en la estimación de la generación de residuos, considerando una serie de supuestos, y en la capacidad de carga del tipo de camión utilizado, toda vez que no se dispone de la totalidad de las variables que se deberían tener a la vista para efectuar el cálculo de flota en un escenario real.

Adicionalmente, el número de camiones necesarios para recolectar los residuos podría cambiar si el programa de recolección diferenciada considera, además de los orgánicos, los residuos reciclables de envases y embalajes y/o los residuos de descarte, en cuyo caso variaría el número de camiones requeridos, toda vez que esta condición impactaría directamente en la frecuencia de recolección determinada.

#### 3.4.2.5.2 Costos de Operación

Los costos de operación estimados para el funcionamiento de una planta de compostaje con capacidad de tratamiento de 7.800 toneladas al año de residuos orgánicos verde consideran las mismas partidas expuestas en la sección anterior.

En particular para esta planta, se requiere de los servicios de un trabajador que dedique su jornada laboral completa (8 horas al día) a la operación del cargador frontal, y de tres trabajadores que dediquen a tiempo completo (8 horas al día) a chipear ramas, accionar el harnero, y actividades continuas de revisión y limpieza de las pilas durante el proceso de aireación (volteo de pilas) y control de parámetros. Adicionalmente, se requiere un supervisor de planta, el que debe destinar su jornada laboral completa, a diferencia de la planta de menor capacidad.

Los costos de operación unitarios utilizados para calcular la operación de la planta se presentan en la siguiente tabla y los costos totales asociados a la operación durante los primeros cuatro años de operación se especifican en la subsiguiente. También, en este caso los costos entre un año y otro consideran ajustes por inflación. Más detalles pueden ser revisados posterior a las tablas.

Tabla 39. Costos de operación unitarios estimados para una planta de compostaje de 7.800 toneladas al año de residuos orgánicos verde.

Costo de operación (unitarios)	Costo mensual (\$)	Costo anual (\$)
Operación de camiones (combustible y otros)	\$1.545.000	\$18.540.000
Sueldo de un conductor camión	\$643.750	\$7.725.000
Sueldo de un peoneta camión	\$520.150	\$6.241.800
Sueldo de un monitor capacitación	\$566.500	\$6.798.000
Sueldo de un profesional admin. y monitoreo	\$875.500	\$10.506.000
Sueldo de un operador de planta	\$515.000	\$6.180.000
Sueldo de un operador maquinaria	\$772.500	\$9.270.000
Sueldo de un supervisor de planta	\$1.081.500	\$12.978.000
Combustible maquinarias	\$4.140.600	\$49.687.200
Gastos por mantención	\$7.664.274	\$91.971.289

Fuente: Elaboración propia, basado en los proyectos desarrollados por las Municipalidades de Talca y Santa Juana.

Tabla 40. Costos de operación totales estimados para una planta de compostaje de 7.800 toneladas al año de residuos orgánicos verde en cuatro años.

Costo de operación (\$/año)	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4 (y posteriores)
Total operación de camiones	\$224.952.000	\$231.700.560	\$238.651.577	\$245.811.124
Total gastos por capacitación, educación ambiental y entrega de kits inicial	\$240.000.000	\$190.100.400	\$195.803.412	\$111.861.911
Total operación de la planta	\$90.475.200	\$93.189.456	\$95.985.140	\$98.864.694
Total gastos por mantenimiento	\$91.971.289	\$94.730.428	\$97.572.341	\$100.499.511
<b>Total anual</b>	<b>\$647.398.489</b>	<b>\$609.720.844</b>	<b>\$628.012.470</b>	<b>\$557.037.240</b>

Fuente: Elaboración propia, basado en los proyectos desarrollados por las Municipalidades de Talca y Santa Juana.

En la tabla anterior se pueden ver diferencias en los costos de operación conforme transcurre el proyecto, considerando que la capacitación y educación se hacen menos intensivos a partir del cuarto año, ya que, durante el primer año del proyecto, se consideró el costo asociado a la entrega de contenedores para separar la fracción orgánica y capacitar a la comunidad, por un valor estimado de \$ 240.000.000, tomando como referencia el proyecto del Municipio de Santa Juana. El segundo y tercer año se consideró un grupo de 19 monitores y un profesional administrador para intensificar la capacitación y el seguimiento, dejando desde el cuarto hasta el sexto año un equipo de 10 monitores y un profesional administrativo para garantizar su continuidad, y posteriormente el proyecto continúa con un equipo de 7 monitores y el profesional administrativo.

### 3.4.2.6 Esquemas de financiamiento

De igual forma que lo expuesto para la planta de compostaje de 1.300 toneladas al año, se propone una inversión de capital por parte del sector público, ya sea mediante financiamiento con recursos municipales o programas de financiamiento público, mientras que el costo operativo podría ser asumida por el municipio o una asociación municipal (modelo Relleno Sanitario La Laja) o ser tercerizado mediante la contratación de una empresa privada por vía de licitación pública. En este último caso, probablemente se tendría que establecer un cofinanciamiento por parte del municipio o asociación municipal, considerando que la operación de este tipo de plantas no sería rentable para el sector privado<sup>108</sup>, ya que los ingresos que reporta la actividad provendrían del cobro por tonelada ingresada a la planta y eventualmente de la venta de compost a granel, situación que genera incertidumbre a inversionistas privados. En base a lo anterior, financiar o cofinanciar la infraestructura de la planta, con recursos públicos, haría más interesante el modelo de negocio para que los operadores privados se interesen en este modelo de plantas.

En este último caso, probablemente se tendría que establecer un cofinanciamiento por parte del municipio o asociación municipal, considerando que la operación de este tipo de

<sup>108</sup> Al evaluar este tipo de proyectos, el Valor Actualizado Neto (VAN) resulta negativo

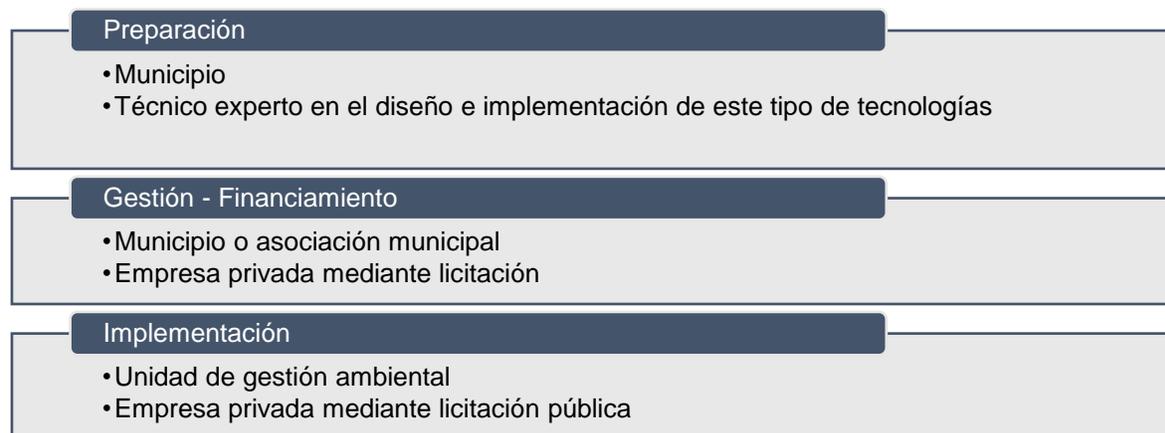
plantas no sería rentable para el sector privado<sup>109</sup>, ya que los principales ingresos que reporta la actividad provendrían del costo por tonelada ingresada a la planta y eventualmente de la venta de compost, por lo que la recuperación de la inversión presenta riesgos para inversionistas privados. En base a lo anterior, financiar o cofinanciar la infraestructura de la planta con recursos públicos haría más interesante el modelo de negocio para la empresa privada.

El **esquema de financiamiento** propuesto para este tipo de plantas es el mismo que se describió en el apartado 3.4.1.6 del presente informe.

### 3.4.2.7 Sistema de gobernanza

De la misma forma en que se describió el sistema de gobernanza para una planta de compostaje con capacidad de tratamiento de 1.300 toneladas al año de residuos verdes, a continuación, se presenta de forma esquemática una propuesta de gobernanza asociada a este tipo de instalaciones. Para más detalles revisar sección 3.4.1.7.

Figura 13. Esquema de gobernanza para planta de compostaje de 7.800 toneladas al año de residuos orgánicos verde.



Fuente: Elaboración propia (2019).

## 3.4.3 Digestión anaeróbica a gran escala

### 3.4.3.1 Caracterización proyecto tipo

La digestión anaeróbica de residuos orgánicos domiciliarios se puede desarrollar bajo distintas configuraciones. Primeramente, puede realizarse bajo digestión húmeda o seca, lo que se desarrolla a través de una etapa o en multietapas. Además, la temperatura de funcionamiento puede ser mesofílica o termofílica. En general, a nivel internacional ha habido una tendencia mayor a utilizar digestión seca para valorizar este tipo de

<sup>109</sup> Al evaluar este tipo de proyectos, el Valor Actualizado Neto (VAN) resulta negativo

residuos<sup>110</sup>, aunque también existen cada vez más casos en los que se utiliza digestión húmeda. Respecto a la temperatura de operación de estos digestores, se destaca que su funcionamiento ha sido tradicionalmente bajo condiciones mesofílicas (35°C), aunque hay experiencias con operación termofílica (55°C), ya que también presentan algunas ventajas<sup>111-112</sup>. A modo de referencia, en la siguiente tabla se pueden ver distintos proveedores internacionales de esta tecnología, quienes utilizan distintas configuraciones para llevar a cabo el proceso de biodigestión.

Tabla 41. Proveedores internacionales y configuraciones utilizadas por cada uno de ellos para llevar a cabo el proceso de biodigestión de residuos.

Proceso Proveedor	Plantas	Capacidad (ton/año)	Fases		Contenido sólido		Temperatura de operación	
			1	2	< 20%	> 20%	35° C	55° C
AAT	8	3.000 - 55.000	x		x		x	
ArrowBio	4	90.000 - 180.000		x	x		x	
BTA	23	1.000 - 150.000	x	x	x		x	x
Biocel	1	35.000	x			x	x	
Biopercolat	1	100.000		x		x	x	
Biostab	13	10.000 - 90.000	x		x			x
DBA-Wabio	4	6.000 - 60.000	x		x		x	
DRANCO	17	3.000 - 120.000	x			x		x
Entee	2	40.000 - 150.000	x		x		x	
Haase	4	50.000 - 200.000		x	x		x	x
Kompogas	47	1.000 - 110.000	x			x		x
Linde-KCA-BRV	8	15.000 - 150.000	x	x	x	x	x	x
Preseco	2	24.000 - 30.000						
Schwarting-Uhde	3	25.000 - 87.600			x			x
Valorga	22	10.000 - 270.000	x	x		x	x	x
Waasa	10	3.000 - 230.000	x	x	x		x	x

Fuente: Gobierno Regional Metropolitano de Santiago y Ministerio de Energía. (2018). Estudio de Factibilidad de una Planta Waste to Energy para la Región Metropolitana – ID 1261-5-LP17, p. 146.

Es preciso señalar que en nuestro país actualmente no existe ninguna planta de biodigestión que valore residuos orgánicos generados a nivel domiciliario. No obstante, según información aportada por desarrolladores de proyectos de digestión anaeróbica en el sector de la agroindustria, en Chile se ha optado por utilizar digestión húmeda para el

<sup>110</sup> Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE). (2018). Estudio de Factibilidad Del Funcionamiento de Tecnologías que procesen Residuos Sólidos Domiciliarios, Asimilables y Otros – ID 761-49-LP18.

<sup>111</sup> Gobierno Regional Metropolitano de Santiago y Ministerio de Energía. (2018). Estudio de Factibilidad de una Planta Waste to Energy para la Región Metropolitana – ID 1261-5-LP17

<sup>112</sup> Fernández, J. (2010). Tesis doctoral: Optimización de la digestión anaeróbica seca de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) en reactores en fases de temperatura. Facultad de Ciencias, Departamento de Ingeniería Química y Tecnología de Alimentos. Disponible en: [https://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/15833/Tes\\_2011\\_02.pdf?sequence=1](https://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/15833/Tes_2011_02.pdf?sequence=1)

tratamiento de residuos orgánicos, ya que hay un conocimiento y dominio mayor de esta tecnología en el país en comparación a la digestión seca. En función de lo anterior, en esta sección se han revisado proyectos de digestión anaeróbica húmeda, a pesar de que estos utilicen como insumo principal residuos provenientes principalmente de actividades asociadas a la crianza de animales (cerdos, vacas) y no residuos generados a nivel municipal.

Considerando todo lo anterior y los altos costos de inversión que requieren para desarrollar esta tecnología a nivel municipal, según se muestra en la estimación de inversión que se desarrolló posteriormente, se recomienda que este tipo de proyectos se realicen en el marco de alianzas público-privadas entre municipios y el sector de la agroindustria. De esta forma, los biodigestores operarían recibiendo un porcentaje mayoritario de residuos de la agroindustria y una fracción o porcentaje minoritario de residuos orgánicos municipales. Lo anterior, considerando que para utilizar residuos orgánicos domiciliarios como insumo durante el proceso, es necesario efectuar operaciones previas, tales como preclasificación, trituración, entre otros pretratamientos químicos, térmicos y biológicos<sup>113</sup>, antes de su ingreso al reactor, con el objetivo de asegurar que cumpla con los estándares mínimos necesarios y de esta forma evitar poner en riesgo la operación del biodigestor.

A diferencia de los sistemas de tratamiento revisados anteriormente, en esta sección se ha utilizado información disponible de distintos proyectos con diferentes capacidades de tratamiento y tipo de sustrato utilizado.

Un factor importante que destacar para este tipo de proyectos, en comparación a las otras tecnologías desarrolladas a lo largo de este informe, es que además de la venta del digestato, producto generado durante el proceso, podría percibir ingresos por concepto de venta de energía térmica y potencia eléctrica, en caso de tener excedentes después de su autoabastecimiento, o venta de sustituto de gas natural mediante la mejora del biogás<sup>114</sup>.

### 3.4.3.2 Equipamiento

Para desarrollar esta sección, se utilizaron de manera referencial seis proyectos de digestión anaeróbica de distintas dimensiones, evaluados de manera privada en Chile el año 2018, bajo el marco del Programa de Transformación Tecnológica, Energética y Ambiental para el segmento PyME de la Industria Porcina de CORFO en asociación con ASPROCER<sup>115</sup>. Considerando lo anterior, en la siguiente tabla se especifica el equipamiento y las maquinarias requeridos por estos proyectos.

---

<sup>113</sup> Gobierno Regional Metropolitano de Santiago y Ministerio de Energía. (2018). Estudio de Factibilidad de una Planta Waste to Energy para la Región Metropolitana – ID 1261-5-LP17

<sup>114</sup> Arcadis. (2017). Análisis Técnico y Económico de Alternativas Tecnológicas para el Tratamiento de Residuos Orgánicos para la Municipalidad de Viña Del Mar

<sup>115</sup> Los proyectos evaluados fueron elaborados para distintas empresas, representadas por los nombres de sus planteles: “El Guindo”, “La Islita”, “Paine”, “Pelarco”, “Santa Francisca” y “Los Castaños”.

Tabla 42. Equipamiento utilizado en proyectos de digestión anaeróbica.

Nombre proyecto	Equipamiento	Volumen reactor (m <sup>3</sup> )	Producción gas (m <sup>3</sup> /hr)	Sustrato
La Isleta	<b>Digestión:</b> - tablero de control y fuerza - bombas de alimentación, recirculación y descarga - detector gases - medidores de temperatura, presión y caudal - soplador - compresor  <b>Manejo biogás:</b> - antorcha cerrada - bomba de alimentación caldera - caldera - intercambiador carcasa y tubo - soplador - compresor - transductores  (*) Chorombo – Paine no considera una caldera ni su sistema de bombeo, tampoco intercambiador de carcasa y tubo	8.120	500	Purín de cerdo
Los Castaños		9.600	97	
Pelarco		9.600	95	
Santa Francisca		4.080	83	
El Guindo		4.560	80	
Chorombo - Paine (*)		5.040	37	

Fuente: Elaboración propia, a partir de proyectos evaluados en el “Programa de Transformación Tecnológica, Energética y Ambiental para el segmento PyME de la Industria Porcina”. Proyectos “El Guindo”, “La Isleta”, “Los Castaños”, “Paine”, “Pelarco”, y “Santa Francisca”.

### 3.4.3.3 Necesidad de terreno

Considerando algunos proyectos de biodigestión ya desarrollados en Chile y otros que cuentan con su evaluación privada, se identificaron las distintas superficies de terreno requeridas, observándose que la superficie utilizada depende la configuración específica de cada uno de los proyectos estudiados.

En la siguiente tabla se presentan los datos recopilados, acompañados de información relativa a la capacidad de cada planta, volumen del reactor utilizado y la producción de gas asociada, en aquellos casos donde esta información se encontraba disponible.

Tabla 43. Terreno necesario en metros cuadrados para proyectos de digestión anaeróbica.

Proyecto	Necesidad de terreno (m <sup>2</sup> )	Capacidad instalada (kW)	Volumen reactor (m <sup>3</sup> )	Producción gas (m <sup>3</sup> /hr)
La Farfana <sup>116</sup>	600	7.800	No disponible	2.739,7
CCU	1.081	475	780	82,5
Digestión Anaeróbica RM – evaluación 1 <sup>117</sup>	2.000	1.000	No disponible	No disponible
Digestión Anaeróbica RM – evaluación 2	3.000	2.300	No disponible	No disponible
Santa Francisca	4.000	No disponible	4.080	37,3
Paine	4.500	No disponible	5.040	26,0
Digestión Anaeróbica RM – evaluación 3	5.000	8.150	No disponible	No disponible
El Guindo	5.000	No disponible	4.560	97,3
Pelarco	8.000	No disponible	9.600	95,1
La Islita	9.000	No disponible	8.120	80,4
Los Castaños	10.000	No disponible	9.600	83,0

Fuente: Elaboración propia, a partir de proyectos disponibles en el “Programa de Transformación Tecnológica, Energética y Ambiental para el segmento PyME de la Industria Porcina”, “Estudio de Factibilidad de una Planta Waste to Energy para la Región Metropolitana”, y “Análisis Técnico y Económico de Alternativas Tecnológicas para el Tratamiento de Residuos Orgánicos para la Municipalidad de Viña Del Mar”.

Para determinar la necesidad de terreno para este tipo de proyectos se requiere realizar una evaluación caso a caso, de acuerdo con las dimensiones del reactor y de su altura de diseño. No obstante, de manera estimativa, considerando los volúmenes de los reactores de los proyectos que cuentan con la información, y el terreno utilizado por cada planta, se obtuvo una relación de superficie (m<sup>2</sup>) asociada al volumen (m<sup>3</sup>) de reactor. Así, se pudo determinar que por cada metro cúbico (m<sup>3</sup>) de reactor se requiere entre 0,83 y 1,39 (m<sup>2</sup>) de terreno de la planta.

### 3.4.3.4 Servicios básicos

#### 3.4.3.4.1 Agua

Dentro de los proyectos revisados que disponen de información sobre el consumo de agua, se encontraron solo aquellos que utilizan purines de cerdo como sustrato, por lo

<sup>116</sup> Corresponde a una línea de limpieza del biogás producido en la planta de tratamiento de aguas servidas.

<sup>117</sup> Los proyectos identificados como “Digestión Anaeróbica RM” corresponden a una evaluación de proyecto en el que se estimaron distintas dimensiones de planta, de acuerdo con la capacidad instalada objetivo.

que el residuo llega al reactor con un alto contenido de agua, debido a que este es lavado desde las zonas de estancia de los animales, encontrándose en algunos casos la materia orgánica altamente diluida, repercutiendo esta situación negativamente en la actividad biológica que se desarrolla dentro del digestor, motivo por el que a los proyectos “El Guindo”, “La Islita”, “Los Castaños”, “Paine”, “Pelarco” y “Santa Francisca”, se les recomendó que se redujeran el lavado del purín para alcanzar un mínimo de un 4% en la concentración de sólidos suspendidos totales. Considerando esta situación, la utilización de agua dependerá del tipo de sustrato que reciba el digestor, ya que, al combinarlo con la fracción orgánica de los residuos sólidos domiciliarios, se generará una mezcla que podría, o no, necesitar agua, y dicha definición debería ser estudiada en detalle para cada proyecto, en base a la caracterización de los residuos utilizados como insumo para el proceso de biodigestión.

También, dependerá de qué tipo de digestión se decida finalmente utilizar por parte del desarrollador del proyecto: seca o húmeda. Aunque, para este estudio, se ha propuesto trabajar con digestión húmeda por lo señalado precedentemente, cuyos digestores requieren importantes cantidades de agua, ya que operan con aproximadamente un 80% de su volumen en ambiente acuoso. Esta condición debe ser evaluada, sobre todo en zonas secas o con escasez hídrica. No obstante lo anterior, existen tecnologías que recuperan la fracción líquida de los sustratos con una alta eficiencia, permitiendo reincorporar al proceso una fracción de ella. En consecuencia, en el caso de ejecutar un proyecto que utilice únicamente como sustrato residuos sólidos domiciliarios, será necesario incorporar agua hasta alcanzar que el contenido de sólidos sea menor al 15% del volumen total del sustrato. En este caso, una de las ventajas de la digestión seca, es que necesita entre 15% y 40% de contenido de sólidos, por lo que no se requiere agregar agua extra para mantener las condiciones de humedad, considerando que el líquido de los residuos se puede recircular<sup>118</sup>.

#### 3.4.3.4.2 Electricidad

Considerando el equipamiento que requiere un digestor anaeróbico, el uso de electricidad es obligatorio. Se debe considerar que las bombas de alimentación, recirculación y descarga de los reactores y manejo del biogás deben ser energizadas, al igual que los compresores de aire y de biogás, los tableros de control y monitoreo y los sopladores, entre otros equipamientos.

El dimensionamiento de los costos y potencia necesaria instalada en la planta dependerá caso a caso, según la dimensión de la planta, el tipo de digestión que se utilice, la temperatura de operación y el número de etapas del proceso. La Tabla 43 entrega algunas referencias relativas a la capacidad instalada (kW) en relación con el volumen del generador y la producción de biogás.

---

<sup>118</sup> Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE). (2018). Estudio de Factibilidad Del Funcionamiento de Tecnologías que procesen Residuos Sólidos Domiciliarios, Asimilables y Otros – ID 761-49-LP18.

### 3.4.3.5 Costos de inversión y operación

Considerando los distintos proyectos revisados, se levantaron diversos costos de inversión y operación, según el tipo de proyecto (autoconsumo eléctrico y/o térmico), la dimensión del proyecto y el tipo de sustrato utilizado.

#### 3.4.3.5.1 Costos de inversión

Los costos de inversión dentro de los proyectos revisados se encuentran dentro del rango de 327.440 hasta 15.000.000 USD. Esta diferencia se explica, principalmente, por las diferentes capacidades de las plantas estudiadas e indirectamente por la capacidad de valorización de residuos de estas.

Además, se incluye la variable de Valor Actual Neto (VAN) en USD, que fue obtenida como resultado de la evaluación privada, para aquellos proyectos en que se disponía de esta información. Es importante destacar que 5 de 6 proyectos no serían rentables debido a que obtuvieron un VAN negativo, siendo el proyecto “Viña del Mar” el único que obtuvo un VAN positivo. En este caso, el monto de la inversión del proyecto<sup>119</sup>, que fue cotizado inicialmente con proveedores internacionales fluctuó entre 25.000.000 y 35.000.000 USD, pero finalmente se consideró para su evaluación que la inversión podría reducirse al contar con una alta participación de empresas locales. En base al supuesto anterior, la evaluación de este proyecto consideró que la inversión del municipio ascendía solo a 10.000.000 USD, repercutiendo esta condición directamente en la evaluación positiva del mismo.

A continuación, en la siguiente tabla se presentan los costos de inversión para distintos proyectos de digestión anaeróbica, diferenciando entre los que actualmente se encuentran en operación de aquellos que solo han sido evaluados económicamente.

Tabla 44. Costos de inversión plantas de digestión anaeróbica.

Proyecto	Inversión (USD)	Capacidad instalada (kW)	VAN (USD)	TIR (%)	Sustrato	Año de inicio de operación o de evaluación
Digestión Anaeróbica RM – evaluación 3	15.000.000	8.150	ND	ND	RSDyA - residuos orgánicos	2018 (evaluación)
Viña del Mar	10.000.000	1.300	9.850.000	13,9		2017 (evaluación)

Fuente: Elaboración propia, a partir de proyectos disponibles en el “Programa de Transformación Tecnológica, Energética y Ambiental para el segmento PyME de la Industria Porcina”, “Estudio de Factibilidad de una Planta Waste to Energy para la Región Metropolitana”, y “Análisis Técnico y Económico de Alternativas Tecnológicas para el Tratamiento de Residuos Orgánicos para la Municipalidad de Viña Del Mar”.

<sup>119</sup> Arcadis. (2017). Análisis Técnico y Económico de Alternativas Tecnológicas para el Tratamiento de Residuos Orgánicos para la Municipalidad de Viña Del Mar.

Tabla 45. Costos de inversión digestión anaeróbica (continuación).

Proyecto	Inversión (USD)	Capacidad instalada (kW)	VAN (USD)	TIR (%)	Sustrato	Año de inicio de operación o de evaluación
Digestión Anaeróbica RM – evaluación 2	6.000.000	2.300	ND	ND	RSDyA - residuos orgánicos	2018 (evaluación)
CCU	5.405.761	475	ND	ND	Residuos industriales líquidos (Riles)	1999 (operación)
La Farfana	5.071.358	7.800	ND	ND	Lodos de aguas servidas	2008 (operación)
Molina	5.000.000	1.000	ND	ND	Residuos agroindustriales de viñedo	2016 (operación)
Digestión Anaeróbica RM – evaluación 1	4.000.000	1.000	ND	ND	RSDyA - residuos orgánicos	2018 (evaluación)
Los Ángeles	3.086.914	1.021	ND	ND	Purín de bovinos y residuos de cultivos (maíz)	2010 (operación)
Santa Irene	2.000.000	400	ND	ND	Purín de cerdo  (*) Pampas incluye residuos industriales	2013 (operación)
Pampas	2.000.000	400	ND	ND		2013 (operación)
Santa Francisca	1.135.220	ND	-1.302.556	-		2018 (evaluación)
La Islita	629.288	ND	-556.819	-		2018 (evaluación)
Pelarco	627.958	ND	-837.847	-		2018 (evaluación)
Los Castaños	582.680	ND	-777.437	-		2018 (evaluación)
El Guindo	390.764	ND	-309.271	-		2018 (evaluación)
Paine	327.430	ND	-436.871	-		2018 (evaluación)

Fuente: Elaboración propia, a partir de proyectos disponibles en el “Programa de Transformación Tecnológica, Energética y Ambiental para el segmento PyME de la Industria Porcina”, “Estudio de Factibilidad de una Planta Waste to Energy para la Región Metropolitana”, y “Análisis Técnico y Económico de Alternativas Tecnológicas para el Tratamiento de Residuos Orgánicos para la Municipalidad de Viña Del Mar”.

Uno de los elementos críticos a considerar al utilizar este tipo de tecnología, es el hecho de que los residuos deben llegar con una alta tasa de pureza y habiendo pasado por un proceso de trituración previo, y en el caso de trabajar con digestión húmeda, además se debe evaluar la necesidad de diluirlos de ser necesario. Junto con ello, la carga de residuos debe haber recibido pretratamiento para que no dañe la comunidad biológica que

se mantiene al interior del reactor, es decir, la fracción orgánica de los RSDyA utilizada no debe contener agentes patógenos que entorpezcan el proceso. En consecuencia, se deben efectuar pretratamientos químicos, térmicos y físicos para asegurar estas condiciones.

Lo descrito anteriormente refuerza la idea de que este tipo de proyectos podría tener un mejor funcionamiento si se diseña para recibir mayoritariamente residuos provenientes de la agroindustria y una fracción menor de residuos orgánicos domiciliarios. Los residuos agroindustriales tienen una composición conocida y homogénea que permiten que el proceso previo a su incorporación al reactor sea más simple, en comparación con los residuos de origen domiciliario o asimilables, que podrían contener impurezas que perjudiquen el desarrollo biológico dentro del reactor y por tanto requieran necesariamente de un preprocesamiento más intenso.

Finalmente, al igual que lo expuesto en las secciones 3.4.1.5.1 y 3.4.2.5.1, se debe considerar los costos de inversión asociados al equipamiento para separar los residuos en origen y al sistema de recolección diferenciada. Para llevar a cabo esta estimación, se debe conocer la cantidad de residuos orgánicos que serán tratados en el biodigestor. Con esta información se podría estimar el número de viviendas que deberían formar parte del programa, a quienes se les hará entrega del kit de separación en origen. Asimismo, se deberá efectuar el cálculo de la flota de recolección, disponiendo de toda la información técnica requerida para hacerlo, considerando todas las particularidades asociadas al proyecto específico. En ambos casos, al momento de diseñar el proyecto se recomienda utilizar los datos más actualizados y representativos de la realidad local de los que se disponga.

#### 3.4.3.5.2 Costos de operación

Los costos de operación anuales, obtenidos de la revisión de los proyectos estudiados, varían desde 32.416 USD hasta 112.387 USD por año. Los valores asociados, para los proyectos revisados que disponían esta información, se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 45. Costos de operación anuales plantas de digestión anaeróbica.

Proyecto	Costos de operación (USD)	inversión (USD)	OPEX/ CAPEX	Volumen reactor (m <sup>3</sup> )	Año de inicio de operación o de evaluación
Santa Francisca	112.387	1.135.220	9,9%	4.080	2018 (evaluación)
Pelarco	62.168	627.958	9,9%	9.600	2018 (evaluación)
La Islita	61.211	629.288	9,7%	8.120	2018 (evaluación)
Los Castaños	57.685	582.680	9,9%	9.600	2018 (evaluación)
El Guindo	38.686	390.764	9,9%	4.560	2018 (evaluación)
Paine	32.416	327.430	9,9%	5.040	2018 (evaluación)

Fuente: Elaboración propia, a partir de proyectos disponibles en el “Programa de Transformación Tecnológica, Energética y Ambiental para el segmento PyME de la Industria Porcina”.

En la tabla anterior se observa que, los costos de operación anuales equivalen a cerca de un 10% de los costos de inversión (ver columna “OPEX/CAPEX (%)”). De manera

complementaria, según fuente bibliográfica<sup>120</sup>, para aquellas instalaciones de mayor capacidad e inversión, como las presentadas anteriormente, se puede asumir como rango típico un costo de operación anual cercano a 6% con respecto al costo de inversión. Por lo tanto, se podría estimar que los costos de operación anual para este tipo de plantas fluctuarían entre un 6% y un 10% sobre los costos de inversión, lo que permitiría tener una referencia sobre costos de operación para este tipo de proyectos.

Por otro lado, según fuente bibliográfica<sup>121</sup>, los costos de operación para plantas de digestión anaeróbica, con generación de energía a partir de residuos orgánicos, fluctúan entre 6,9 a 25,9 USD por tonelada, considerando plantas con capacidad de tratamiento entre 58,4 a 219.000 toneladas al año. Según el estudio, la información anterior se basa en el análisis de más de 97 plantas en el mundo. Como se puede apreciar, el rango de capacidad de tratamiento es amplio, lo que permite visualizar la viabilidad técnica para esta tecnología. No obstante lo anterior, se observa que a medida que las plantas tienen mayor dimensión los costos de operación son menores.

Considerando lo anterior, se podría estimar que, para una planta con capacidad de tratamiento de 50.000 toneladas al año, cuya inversión ronda los 4.000.000 USD, su costo de operación podría fluctuar entre 240.000 y 400.000 USD por año, al considerar su costo de inversión (CAPEX), es decir, utilizando la primera fuente de información que indica que la relación OPEX/CAPEX es aproximadamente entre un 6% y 10%. Por otro lado, considerando la segunda fuente de información utilizada, que considera la capacidad de tratamiento como referencia, este tipo de plantas podría tener un costo de operación de 21,6 USD por tonelada, lo que equivaldría a cerca de 1.000.000 USD por año.

En conclusión, y dada la diferencia de resultados que se obtienen a partir de las distintas fuentes de información, estos son solo referenciales y para obtener un dato más acucioso, se recomienda estimar los costos operacionales en el marco del desarrollo de un proyecto de biodigestión, utilizando datos representativos de la realidad local y del contexto específico del lugar donde se emplazaría la planta.

Finalmente, al igual que lo expuesto en las secciones 3.4.1.5.2 y 3.4.2.5.2, se deben incluir los costos operacionales asociados al programa de separación en origen y recolección diferenciada, en específico lo que tiene relación con el programa de sensibilización ciudadana y los costos relativos a mantener la flota de recolección operando (mantenimiento, combustible, chofer y peonetas). Para más información y guía al respecto, visitar la sección 3.4.1.5.2. Con respecto a la estimación del número de vehículos recolectores, se aclara que la información presentada se obtuvo en base a un ejercicio simplificado, con el objeto de contar con una estimación referencial relativa a los costos de su implementación (inversión y operación), basándose en algunos supuestos relacionados con la generación de residuos orgánicos, el porcentaje de participación ciudadana, la tasa de captura y la capacidad de carga del vehículo propuesto. Por tanto,

---

<sup>120</sup> Gobierno Regional Metropolitano de Santiago y Ministerio de Energía. (2018). Estudio de Factibilidad de una Planta Waste to Energy para la Región Metropolitana – ID 1261-5-LP17. Disponible en: <http://www.minenergia.cl/autoconsumo/wp-content/uploads/2018/06/Informe-Final-Estudio-WTE-RM-2018.pdf>

<sup>121</sup> Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE). (2018). Estudio de Factibilidad Del Funcionamiento de Tecnologías que procesen Residuos Sólidos Domiciliarios, Asimilables y Otros – ID 761-49-LP18

en el marco del diseño de un proyecto para implementar esta tecnología, se debe efectuar el cálculo tomando en consideración las variables requeridas para efectuar el cálculo de la flota en el contexto del proyecto específico.

#### 3.4.3.6 Esquemas de financiamiento

Para proponer un esquema de financiamiento para ese tipo de proyectos, primeramente, se debe considerar que, según lo expuesto anteriormente<sup>122</sup>, seis de los siete proyectos que contaban con información sobre su rentabilidad, tienen un VAN negativo. El séptimo proyecto restante, que tiene un VAN positivo, está evaluado con una inversión hipotética, y que podría no ser representativa en la realidad local. Al considerar la inversión real basada en la cotización de aquel proyecto, también se obtiene un VAN negativo para ese proyecto.

Considerando lo anterior y junto a los aportes recibidos durante las Sesiones del Comité Asesor para la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos, se propone que para este tipo de proyectos se genere un mecanismo que permita que el financiamiento de este tipo de tecnología sea público-privado, con el fin de que ambos sectores aporten recursos<sup>123</sup>. Considerando esto, al igual que para las otras instalaciones de gran escala, el mecanismo FUC, desarrollado en profundidad en la sección 3.4.1.7, es un instrumento que podría permitir el desarrollo de vínculos formales entre municipalidades y privados.

Cabe destacar que, en entrevistas efectuadas a los desarrolladores de este tipo de proyectos en Chile, que actualmente operan plantas de digestión anaeróbica de residuos agroindustriales, han manifestado voluntad e interés de recibir una fracción de residuos orgánicos de origen domiciliario. Tal como se ha señalado precedentemente, un elemento crítico a considerar a este respecto es que los residuos orgánicos de origen domiciliario deben pasar por procesos de pretratamiento con el objetivo de asegurar su pureza antes de ingresar al reactor.

#### 3.4.3.7 Sistema de gobernanza

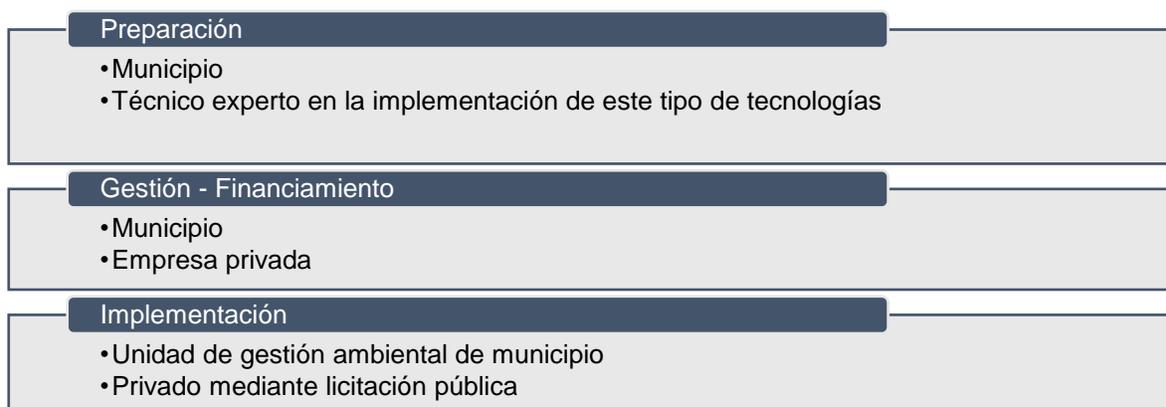
A partir de la realidad de este tipo de proyectos presentada anteriormente, a continuación, se presenta una propuesta de gobernanza.

---

<sup>122</sup> Ver sección de costos de inversión de esta tecnología. Los proyectos descritos corresponden a los expuestos en la Tabla 45.

<sup>123</sup> APCA Chile (2019). Informe Final Proceso Participativo Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos.

Figura 14. Propuesta de gobernanza digestión anaeróbica a gran escala.



Fuente: Elaboración propia.

De igual forma, para la **preparación del proyecto** desde el municipio, se requiere al menos de un profesional del área de Medio Ambiente, con conocimiento específico en el ámbito de gestión de residuos sólidos, debiendo necesariamente recibir apoyo desde la Secretaría de Planificación Comunal, sobre todo si el proyecto será presentado a una línea de financiamiento externa. En Chile, a diferencia del compostaje, y tal como se señaló anteriormente, no existen proyectos de digestión anaeróbica diseñados para tratar residuos orgánicos domiciliarios ni asimilables que puedan ser utilizados como referencia. En este contexto, cobra vital importancia, para recibir apoyo técnico experto, el rol que juega el Programa Nacional de Residuos Sólidos (PNRS) de SUBDERE<sup>124</sup>, que podría financiar “*diseños de ingeniería de detalle de las obras a ejecutar y de las obras de mitigación*”, y también “*asistencias técnicas*”, orientadas a apoyar el desarrollo de este tipo de proyectos en su fase de preinversión.

En este aspecto, es importante considerar la experiencia internacional, incluida en el primer informe asociado a esta esta consultoría, donde destaca la empresa municipal Vakin de Umeå, Suecia. La municipalidad de Umeå recolecta diferenciadamente los residuos orgánicos, que posteriormente son tratados en una planta de digestión anaeróbica que administra y opera otro municipio, ubicada a 120 kilómetros de distancia, es decir, no los trata directamente en su planta Vakin<sup>125</sup>. Es preciso señalar que la empresa Vakin tiene mecanismos de cooperación con otras 17 municipalidades, por lo que recibe los residuos recolectados por varios municipios para ser incinerados, en el marco de la asociación que formaron entre ellas. En base a lo señalado, se observa que, al formar asociaciones entre varias municipalidades, las alternativas para manejar los residuos a través de diferentes tecnologías aumentan, otorgándole a los municipios mayor flexibilidad a la hora de gestionar sus residuos, optimizando la utilización de las instalaciones existentes, en base a una mirada sistema del territorio a escala regional, que no se acota solo a las alternativas existentes en una sola comuna.

<sup>124</sup> Para más información, ver: <http://www.subdere.gov.cl/programas/divisi%C3%B3n-desarrollo-regional/programa-nacional-de-residuos-s%C3%B3lidos-pnrs>

<sup>125</sup> Fuente de información primaria a partir de Tomas Blomqvist (Vakin, CEO).

Otra experiencia internacional destacable, se llevó a cabo, en la ciudad de Múnich donde la empresa Bekon Energy Technologies ejecutó un proyecto piloto de digestión seca, con el apoyo de la empresa Municipal Abfallwirtschaftsbetrieb (AWM) de Múnich. Inicialmente, en 2003 la planta desarrollada por Bekon Energy Technologies tenía capacidad de tratamiento de 6.500 toneladas al año, mientras que actualmente tiene una capacidad total de 25.000 toneladas al año. Lo anterior fue posible, dado que el año 2003, AWM se hizo cargo de la investigación y expansión de la planta, invirtiendo cerca de 5,5 millones de USD y manteniéndose la operación a cargo de la empresa Bekon.

Este es otro ejemplo donde se observa la conformación de una alianza público-privada exitosa, y en Chile su aplicación directa es posible en términos legales, ya que los municipios pueden conformar empresas. En efecto el artículo 11 de la Ley 18.695 Orgánica Constitucional de Municipalidades establece que “*las municipalidades podrán desarrollar actividades empresariales o participar en ellas sólo si una ley de quórum calificado las autoriza*”. Lo anterior, implica que para la creación de una empresa de carácter municipal se requiere la aprobación de la mayoría absoluta (50 + 1) de los diputados y senadores en ejercicio. Lograr la aprobación de empresas públicas en la cámara de diputados y en el senado es un desafío político, sin embargo, dicha opción es plenamente posible de acuerdo con la legalidad vigente. Otra alternativa a considerar proviene de la creación de un mecanismo como el FUC (ver más detalles en la sección 3.4.1.7), para tratamiento de residuos, donde se podrían desarrollar alianzas público-privadas orientadas a implementar este tipo de tecnologías, en un comienzo a escala piloto como lo hizo el municipio de Múnich.

En cuanto a la **gestión de financiamiento** y bajo la misma lógica de los esquemas propuestas para las tecnologías anteriores, sería el municipio la institución encargada de cofinanciar parte de la inversión (ver esquema propuesto en la sección 3.4.2.6). A la vez, el municipio podría asegurar el envío de una fracción de los residuos orgánicos a la planta de digestión anaeróbica, pudiendo organizarse con otras municipalidades para asegurar un mayor flujo de residuos orgánicos con bajo nivel de impurezas, de manera de entregar mayor seguridad al operador de la planta (ejemplo Relleno Sanitario La Laja).

Otro ejemplo destacable, es el de la Asociación Metropolitana de Municipalidades de Santiago Sur para la Gestión Ambiental y de Residuos (MSUR). Esta asociación, conformada por 20 municipios de la Región Metropolitana de Santiago, consiguió 951.723 millones de pesos a través del Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR), para la adquisición de 14 camiones “tres cuartos” y 4 camiones tolva con alza de contenedores, entre otros vehículos<sup>126</sup>, destinados a la recolección diferenciada de residuos de envases y embalajes. Este tipo de iniciativas, mediante las que los municipios se asocian para resolver necesidades comunes a una mayor escala, es aplicable a cualquier sistema de manejo de residuos, incluida la biodigestión de residuos orgánicos.

Finalmente, en lo que respecta a la **implementación**, no se puede perder de vista que este sistema de tratamiento de residuos requiere una preparación previa de los residuos

---

<sup>126</sup> Para más información, ver: <https://www.msursantiago.cl/gestion-de-proyectos/> y la Ficha de Licitación dispuesta en [www.mercadopublico.cl](http://www.mercadopublico.cl) correspondiente al proyecto “Adquisición vehículos para recolección segregada de RSD reciclables en la RM”, código BIP 40007578-0, consultable en <https://bip.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/bip2-consulta>.

orgánicos, con un fuerte monitoreo en la separación en origen y recolección diferenciada, por lo que durante la operación de este tipo de proyectos la Dirección de Medio Ambiente de la municipalidad (o su equivalente) tiene un rol protagónico para asegurar que se cumplan las condiciones para hacer entrega de los residuos orgánicos, respetando los parámetros mínimos necesarios, a objeto de garantizar la correcta operación del biodigestor.

### 3.5 Cuadro comparativo sobre el costo unitario por tonelada tratada de residuos orgánicos para cada sistema de manejo analizado

Las tecnologías de tratamiento de residuos orgánicos presentadas en el Capítulo 3 difieren en su escala de aplicación y capacidad de tratamiento, además de tener diferentes magnitudes en torno a los costos de inversión, costos de operación, vida útil y número de viviendas o habitantes que deben participar. Con toda la información disponible y al objeto de facilitar comparación en torno al costo unitario asociado a tratar una tonelada de residuos, utilizando las tecnologías analizadas, se llevó a cabo el presente ejercicio referencial, para lo cual se consideraron algunos supuestos que se enuncian a continuación:

Para el análisis se consideraron los costos de inversión y operación, junto a la capacidad de tratamiento de residuos durante la vida útil de cada tecnología y los ahorros que algunas de ellas pueden generar, sin incluir los ingresos derivados de la eventual venta de productos como el compostaje o el digesto.

Para el caso de las tecnologías de pequeña y mediana escala, se consideró el ahorro por concepto de no requerir el servicio de recolección y transporte de residuos, toda vez que serían los propios habitantes quienes se encargarían de esta labor, según corresponda. En este contexto, para cuantificar dicho ahorro, se utilizó el costo promedio nacional de este ítem que corresponde a \$28.052 por tonelada<sup>127</sup>, a diferencia de las tecnologías de gran escala, que no se les aplica dicho ahorro ni tampoco un costo extra asociado al referido servicio. Al respecto, es preciso señalar que se podría aplicar un ahorro, en el caso de que la instalación se emplace más cerca que la actual ubicación del relleno sanitario donde el municipio realiza la disposición final, en caso de que se disponga de esta información.

Además, se consideró el ahorro asociado al pago que se dejaría de efectuar por no disponer los residuos orgánicos en un relleno sanitario. Esto se debe a que, para realizar la evaluación, se compara la realidad actual (caso base) con una realidad hipotética de manejo de residuos mediante las tecnologías propuestas (caso con proyecto). Sin perjuicio de lo anterior, que se considere este ahorro no implica que finalmente se logre un ahorro real o efectivo, pues igualmente se está incurriendo en nuevos costos para solventar el nuevo sistema de manejo. Para cuantificar dicho ahorro, se utilizó el costo promedio nacional de este ítem que corresponde a \$9.710 por tonelada<sup>164</sup>.

---

<sup>127</sup> SUBDERE. (2018). Diagnóstico de la situación por comuna y por región en materia de RSD y asimilables.

En consideración de lo expuesto, el escenario de referencia actual (caso base) considera un costo de \$37.762 por tonelada manejada, incluyendo el costo de recolección y transporte y costos de disposición final.

Se debe tener en cuenta que las tasas de participación y tasas de captura utilizadas son las enunciadas a lo largo del informe, para cada tecnología, lo que impacta directamente en el nivel de inversión. Así, a menores tasas de participación y de captura, se requiere incorporar más viviendas o habitantes para lograr la cantidad de residuos que permita optimizar la capacidad máxima de cada sistema de manejo, por ende, se requiere mayor inversión en términos de contenedores para separar los residuos en origen. Además, considerar un aumento paulatino en ambas tasas, podría permitir hacer inversión en diferentes etapas, lo que también repercute en los costos de operación, aunque este tipo de análisis se debe realizar caso a caso.

Bajo este contexto, todos los sistemas de manejo propuestos consideran los costos asociados a la separación en origen y recolección diferenciada, además de incorporar los programas de capacitación y monitoreo, de acuerdo con lo expuesto en las secciones anteriores.

Para la tecnología de secado térmico de mediana escala, no se incluyó el costo asociado al manejo del sustrato orgánico resultante una vez finalizado el proceso, considerando que este puede ser aplicado al suelo directamente. En caso de que esta alternativa no sea posible, se deberá incluir en el análisis el costo asociado a la recolección y transporte y disposición final en un relleno sanitario, aumentando el costo final.

Para el caso de la biodigestión, se ha considerado un proyecto con capacidad de tratamiento de 50.000 toneladas al año, cuya inversión ronda aproximadamente los 4.000.000 USD, a lo que se suma, posteriormente, los costos asociados a la separación en origen y recolección diferenciada, como también se realizó para las otras tecnologías de gran escala según lo expuesto en las secciones anteriores<sup>128</sup>. Lo anterior, considerando solo RSDyA, a diferencia de lo que se propone en el marco del estudio, relativo a generar alianzas público-privada para financiar este tipo de inversiones, donde se recibirían mayoritariamente residuos provenientes de la agroindustria.

La vida útil para los proyectos de pequeña escala se fijó en 10 años, debido a la durabilidad de las composteras, vermicomposteras y biodigestores anaeróbicos. Para el caso de mediana y gran escala, que incluyen el sistema de secado térmico, las plantas de compostajes y digestión anaeróbica se consideró una vida útil de 20 años.

La tasa de descuento utilizada, para actualizar los valores al presente, fue definida en 6%, a modo de representar una exigencia a la rentabilidad desde una perspectiva social o pública en lugar de privada. Esta tasa es conocida como tasa social de descuento (TSD) y

---

<sup>128</sup> Cabe destacar que para lograr recolectar 50.000 toneladas al año se requiere involucrar aproximadamente 250.000 viviendas para el programa de separación en origen y recolección diferenciada. Lo anterior considerando que el biodigestor solo recibe RSDyA.

es definida anualmente por el Ministerio de Desarrollo Social (MIDESO), para la evaluación de proyectos de valorización de residuos <sup>129</sup>.

A modo de conclusión preliminar, cabe destacar que, una vez realizada una primera iteración del análisis de costos, se obtuvo que el sistema de manejo mediante compostaje domiciliario presentó las mayores ventajas económicas, logrando ahorros efectivos para los municipios. En consecuencia, se evaluó un proyecto que consiste en implementar 1.000 nuevas composteras domiciliarias por año, durante 10 años, con el objetivo de conseguir eficiencias de escala y explorar dicha alternativa. De este modo, la vida útil del proyecto es de 20 años, considerando que las últimas 1.000 composteras ingresan al año 11 de ejecución del proyecto y que tienen una vida útil de 10 años.

Presentados los supuestos considerados para efectuar el análisis comparativo, los resultados asociados a este se observan en la siguiente tabla. Para mayor entendimiento, la segunda columna incluye el ahorro o mayor costo en el que se incurre al implementar cada sistema de manejo, en comparación al caso base, de acuerdo con la actualización de los costos a valor presente. En la tercera (última) columna, a modo de ejercicio preliminar, se puede ver el costo final que alcanzaría cada uno de los sistemas, al sumarle directamente el costo actual que tiene el manejo de una tonelada de residuos.

Tabla 46. Costo asociado a manejar una tonelada de residuos orgánicos para distintas tecnologías analizadas en el estudio.

Tipo de tecnología, escala de aplicación y capacidad de tratamiento de residuos orgánicos verde	Diferencial de costo manejo (\$/ton), con escenario de referencia	Costo final de manejo (\$/ton)
<b>Pequeña escala</b>		
Compostaje - 1.000 composteras por año – 477 toneladas al año que se añaden por año	-\$9.571	\$28.191
Compostaje - 1.000 composteras – 477 toneladas al año	-\$7.269	\$30.493
Lombricultura - 1.000 lombricomposteras – 365 toneladas al año	\$5.651	\$43.413
Biodigestión - 1.000 biodigestores – 557 toneladas al año	\$110.539	\$148.301
<b>Mediana escala</b>		
Compostaje - 130 toneladas al año	\$152.275	\$190.037
Secado térmico - 156 toneladas al año	\$153.015	\$190.777
<b>Gran escala</b>		
Biodigestión - 50.000 toneladas al año	\$47.085	\$84.847
Compostaje – 7.800 toneladas al año	\$50.630	\$88.392
Compostaje – 1.300 toneladas al año	\$113.874	\$151.636

Fuente: Elaboración propia (2019).

<sup>129</sup> Ministerio de Desarrollo Social (MIDESO). 2013. Metodología de formulación y evaluación socioeconómica de proyectos de valorización de residuos municipales. Disponible en: <http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/download/valorizacion-de-residuos/?wpdmdl=905>

Finalmente, a la luz de los resultados de este ejercicio, resulta interesante analizar plantas de compostaje de mayor capacidad de tratamiento, considerando que se pueden lograr eficiencias de escala, según la diferencia del costo que se puede ver entre las plantas de capacidad de tratamiento de residuos verdes de 1.300 y 7.800 toneladas al año. En este contexto y considerando la envergadura de plantas de compostaje con mayor capacidad de tratamiento, se puede analizar la tecnología de pilas con aireación forzada y recubiertas con membranas, de esta forma disminuye la superficie requerida, en comparación con el sistema de pilas abiertas, y también la emisión de olores molestos hacia el entorno inmediato.

#### 4 Identificación y análisis de instrumentos para incentivar la valorización de residuos orgánicos

En base a las barreras levantadas y priorizadas en el marco del diagnóstico y la información complementaria, extraída del proceso de consulta para el desarrollo de la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos, se determinó que las principales medidas para incentivar la valorización de residuos orgánicos municipales en Chile son las siguientes:

**Financiamiento e incentivos.** Resulta necesario abordar el alto déficit municipal derivado de la baja recaudación con la que cuentan las municipalidades por derechos de aseo, y así avanzar hacia una mejor gestión de los residuos orgánicos municipales. La medida más directa sería la modificación de ley de rentas II con el fin de aumentar la recaudación. Adicionalmente, se recomienda el desarrollo de incentivos en las distintas etapas de la cadena de valorización, las que se explican más adelante, en el desarrollo de este punto, con el fin de aumentar la separación en origen y a partir de eso fomentar el desarrollo y éxito de proyectos de valorización de orgánicos bajo esquemas de implementación 100% públicos o en colaboración con el sector privado cuando la complejidad y escala de los proyectos hace necesario su involucramiento o cuando los modelos de negocio más apropiados para casos particulares así lo determinen.

**Educación ambiental y fortalecimiento de capacidades.** Fue la medida más mencionada de forma transversal en todas las actividades de consulta con actores clave y encuestas. Un alto porcentaje de los consultados, coincidieron en que es relevante fortalecer y generar nuevos espacios de educación y sensibilización, para generar conciencia respecto de la importancia y urgencia de mejorar la gestión de los residuos orgánicos. Existe también un relativo consenso respecto de que estas actividades de educación ambiental se realicen a todo nivel, es decir, desde las más altas autoridades hasta los ciudadanos que tienen un rol y responsabilidad fundamental, al ser los principales generadores de los residuos orgánicos a nivel municipal.

En el ámbito del fortalecimiento de capacidades, se plantea que se debe incorporar a todos los organismos gubernamentales que juegan un rol dentro de esta temática, a distintos niveles de gobierno. Dentro de los municipios, debe considerar a las áreas técnicas y a los tomadores de decisión, con la finalidad de que el conocimiento sobre los aspectos técnicos, económicos y ambientales motive el apoyo a las iniciativas de generación e implementación de proyectos de valorización. A nivel de gobiernos regionales también se recomienda aumentar el nivel de conocimiento respecto de los

distintos sistemas de manejo y particularmente en relación con las distintas opciones tecnológicas a aquellos organismos involucrados en los procesos de planificación, evaluación, financiamiento e implementación de proyectos.

**Generación y gestión de proyectos.** Asociado al tema de financiamiento, y en particular relación con la función de SUBDERE como principal fuente de recursos para la implementación de proyectos de valorización de residuos, aparece como acción relevante fortalecer la capacidad de generación y gestión de proyectos en esta área. A pesar de que SUBDERE cuenta con recursos para financiamiento y asistencia técnica para la creación de cartera, de acuerdo con lo expresado por su Unidad de Residuos Sólidos, en los últimos años no se observa un avance significativo en la promoción de proyectos en esta área. Lo anterior, debido principalmente a que los profesionales asignados a los municipios bajo la figura de asistencia técnica para el desarrollo de proyectos o bien no cuentan con las competencias apropiadas o son destinados a otras tareas distintas a las inicialmente encomendadas. Como respuesta a esta problemática, SUBDERE ha modificado recientemente su guía operativa y está realizando un control de gestión mucho más estricto sobre los recursos humanos destinados a las asistencias técnicas. No obstante lo anterior, con el fin de fortalecer las capacidades para la construcción de cartera de proyectos, estandarizar las recomendaciones técnicas para las etapas de preinversión e inversión y disminuir los riesgos asociados a la operación exitosa de las plantas de valorización de los residuos orgánicos, se identifica como necesario que el Ministerio de Medio Ambiente cuente con una unidad técnica especializada que pueda, de manera eficiente, eficaz y económica acelerar la generación de proyectos en el corto plazo y acompañar su implementación de manera permanente.

En las secciones siguientes cada una de las medidas antes mencionadas son desarrolladas en mayor detalle.

## 4.1 Financiamiento e incentivos

En este apartado nos referiremos a distintas propuestas que incentivan, ya sea directa o indirectamente, el adecuado manejo de los residuos orgánicos. Estas propuestas tienen diferentes alcances legales, en tanto que unas implican la modificación de un cuerpo normativo, mientras que otras implican la ejecución de mandatos legales a través de reglamentos u ordenanzas municipales.

### 4.1.1 Modificación al decreto ley de rentas municipales

#### 4.1.1.1 Recomendación

Modificar el Decreto Ley de Rentas Municipales rebajando el monto de la exención contenido en el artículo 7.

#### 4.1.1.2 Explicación

Tal como hemos señalado anteriormente no existen fuentes oficiales de gobierno, pero se estima que de acuerdo a la información levantada por la OCDE (Evaluaciones del Desempeño Ambiental – Chile 2016) el 80% de los ciudadanos del país están exentos del

pago del derecho de aseo.<sup>130</sup> Este factor, sumado al costo de la gestión de los residuos del país, impiden que los Municipios recuperen los costos de la recolección y disposición de los residuos sólidos domiciliarios, debiendo los Municipios financiarlo mayoritariamente con el presupuesto municipal.<sup>131</sup>

Esta realidad obliga a plantearse la necesidad de hacer cambios al Decreto Ley de Rentas Municipales (DLRM) para fortalecer el principio del que contamina paga en la gestión de residuos en Chile. Lo anterior implica adecuarse al referido principio consagrado en el artículo 2 letra b) de la Ley N° 20.920/2016 MMA, según el cual “el generador de un residuo es responsable de éste, así como de internalizar los costos y externalidades negativas asociados a su manejo”. Asimismo, el cobro de una tarifa por la gestión de los residuos es una práctica común en el contexto internacional,<sup>132</sup> lo anterior, sin perjuicio de que, en la experiencia internacional comparada, también se estipulan diferencias en el cobro de la tarifa por consideraciones socioeconómicas. La eximición o reducción del pago de derecho de aseo no es per se, negativa.

Una de las principales propuestas a considerar para incentivar el manejo de los residuos orgánicos es precisamente hacer una modificación del DLRM para reducir el porcentaje de personas exentas del pago del derecho de aseo.<sup>133</sup>

Lo anterior no implica la eliminación de la exención, la que exime a un porcentaje de la población que, por razones socioeconómicas, no puede pagar o le es complejo hacerlo. Sino que implica el estudio de un nivel de eximición que le permita a los Municipios con menos ingresos financiar, al menos la mayor porción del costo de gestión de residuos, el que varía entre el 11% y 19% del gasto municipal, según estadísticas internacionales<sup>134</sup>. Además, para el caso de Chile es importante recordar que como se indicó anteriormente, la recaudación bajo el actual esquema de cobro de derechos de aseo solo permite financiar un 15% del gasto total de la gestión de residuos. Este solo indicador deja en evidencia, que el aporte de financiamiento por parte de los generadores domiciliarios no permite cubrir los costos ambientales asociados al manejo de estos.

De estimarse viable esta medida, será necesaria una modificación del DLRM, la que deberá hacerse a través de un proyecto de ley, el cual debe ser presentado por mensaje del Presidente o por moción de cualquiera de los miembros del parlamento. La Constitución Política de la República señala, en su artículo 65 que “corresponderá al

---

<sup>130</sup> Organización económica para la cooperación y el desarrollo económico (OCDE) y comisión económica para américa latina y el caribe (CEPAL) (2016): Evaluaciones del Desempeño Ambiental: Chile 2016 (Publicaciones OECD) p.25.

<sup>131</sup> Ibid, p. 146.

<sup>132</sup> Banco Mundial. (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Disponible en: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>

<sup>132</sup> Ver art. 3 letra f) de la Ley N° 18.695 Orgánica Constitucional de Municipalidades.

<sup>133</sup> Es importante considerar que hasta la dictación de la Ley N° 20.033 de 1 de julio de 2005, el decreto de ley de rentas municipales fijaba la eximición en 25 UTM. El Decreto ley de rentas municipales, antes de la publicación de dicha Ley señalaba que: “Con todo, quedarán exentos automáticamente de dicho pago aquellos usuarios cuya vivienda o unidad habitacional a la que se otorga el servicio, tenga un avalúo fiscal igual o inferior a 25 unidades tributarias mensuales”. Ver artículo 7, Ley N° 20.033/2005 en: [https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=239628\\_articulo\\_7](https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=239628_articulo_7)

<sup>134</sup> Banco Mundial. (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Disponible en: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>

Presidente de la República la iniciativa exclusiva para: 1° Imponer, suprimir, reducir o condonar tributos de cualquier clase o naturaleza, establecer exenciones o modificar las existentes, y determinar su forma, proporcionalidad o progresión”. Es decir, sólo el Presidente de la República puede enviar proyectos de ley al congreso, cuando ellos se refieran a los tributos. Sin embargo, y según ha señalado la propia Corte Suprema<sup>135</sup>, los derechos de aseo no son considerados tributos o impuestos, y, por tanto, dicho proyecto de ley podría ser presentado tanto por el Presidente de la República, como por cualquier parlamentario.

En efecto, dicha sentencia señala que los derechos de aseo no son tributos por dos razones. La primera, es que los impuestos se caracterizan por no requerir una contraprestación directa por parte de la administración, cuestión que, si ocurre con el derecho de aseo, por lo que no podrían considerarse tributos. La segunda, porque si el legislador hubiese querido reconocer que expresamente los derechos de aseo son tributos los hubiese regulado en el título IV del DLRM denominado “de los impuestos municipales”. Sin embargo, la regulación del derecho de aseo está contenida en otro título diferente, evidenciando, de esta forma, que los derechos de aseo no son tributos. En virtud de ambos argumentos es que la Corte Suprema “descarta toda posibilidad que [el derecho de aseo] se trate de un impuesto”<sup>136</sup>.

Es evidente que el camino propuesto en este punto requiere un alto compromiso y un posible costo político, debido al rechazo que podría generar en la población que dejaría de estar exenta de pago. Ese escenario se ve aún más complejo dadas las movilizaciones sociales que se han alzado en este periodo las que se detonaron por un alza de \$30 pesos en el pasaje del metro.

Como alternativa podría considerarse, a través del Servicio de Impuestos Internos, una reevaluación de las propiedades al valor actual de mercado en un tiempo inferior al actual (cada 4 años). Donde, por ejemplo, si se considera un tiempo de revalúo de un año, implicaría que dicho monto aumentaría también anualmente, y eso permitiría que algunas viviendas, hoy exentas del pago de aseo, (valor igual o inferior a 225 UTM) podrían subir dicho umbral con el revalúo. Consiguiéndose de este modo, un aumento en el número de propiedades que estarían obligadas al pago del derecho de aseo, lo que permitiría aumentar la recaudación del Municipio por dicho concepto.

#### 4.1.2 Incentivo a través de la implementación de programas ambientales que incluyan el compostaje

##### 4.1.2.1 Recomendación

Utilizar el artículo 6 y 7 del DLRM para incentivar con una rebaja de la tarifa del derecho de aseo al usuario que separe adecuadamente sus orgánicos y/o composte domiciliariamente, según un programa ambiental, reduciendo el contenido de los residuos sólidos domiciliarios. Este incentivo debe quedar plasmado a través de una modificación

---

<sup>135</sup> Corte Suprema, sentencia rol N° 3671-2019, considerando primero.

<sup>136</sup> Corte Suprema, sentencia rol N° 3671-2019, considerando sexto.

legal o bien, en la creación de una Ordenanza Municipal tipo, que sirva como modelo para aquellos Municipios que quieran adoptarla.

#### 4.1.2.2 Explicación

El espíritu del artículo 6 y 7 del DLRM permite a los usuarios obtener un beneficio de cobro diferenciado del derecho de aseo cuando implementen “programas ambientales”, tales como, el “reciclaje”. Esto, en la práctica, permitiría a aquellos usuarios que reciclen, obtener una rebaja en el derecho de aseo según lo estipule, cada municipio, en su ordenanza municipal respectiva.

Este cobro diferenciado, o rebaja en la tarifa, incentivará a los usuarios a desviar, del flujo de residuos sólidos domiciliarios, la fracción orgánica. El propio artículo 6 de la DLRM habla concretamente de acciones como el reciclaje para obtener dicha rebaja, y tal como se desprende de la definición del artículo 3 N° 22 de la Ley N° 20.920, el reciclaje incluye compostaje. De esta forma, de concretarse acciones de compostaje, el Municipio podría habilitar este beneficio de cobro diferenciado.

Dicho lo anterior, cabe destacar que el artículo 6 del DLRM, no define la denominación de “programas ambientales” ni tampoco se establecen criterios sobre como los Municipios deberían implementarlos. Esto, tal como señala el proyecto de ley (Boletín N° 12.555-12)<sup>137</sup>, hace que en *“en la práctica resultaría casi imposible el hecho de que se compruebe, individualmente entre los usuarios, quienes cumplen con dichos requisitos al efecto”*. Dicho de otra forma, no sólo no hay claridad sobre que es un programa ambiental, sino que es un desafío su fiscalización.

Dado lo anterior, se plantean dos mecanismos que permitirían implementar este incentivo. El primero, implica, tal como lo señala el proyecto de ley propuesto, la modificación de la Ley N° 20.920 para dotar a los programas ambientales de contenido,<sup>138</sup> y para ello, facultar a unidades territoriales, Juntas de Vecinos, Organizaciones Comunitarias y Comités de Administración de Condominios a presentar programas ambientales de gestión de orgánicos. Estas unidades territoriales ya cuentan con las facultades legales para *“proponer programas y colaborar con las autoridades en las iniciativas tendientes a la protección del medio ambiente de la comuna”* (Ley 19.418, art. 40 N° 7).<sup>139</sup> Por otro

---

<sup>137</sup> Ver Boletín N° 12.555-12. Disponible en:

[http://www.senado.cl/appsenado/templates/tramitacion/index.php?boletin\\_ini=12555-12](http://www.senado.cl/appsenado/templates/tramitacion/index.php?boletin_ini=12555-12)

<sup>138</sup> En específico, el proyecto de ley pretende modificar la Ley N° 20.920 modificando la letra d del artículo 30, incorporando el siguiente inciso: “Las Juntas de Vecinos u Organizaciones Comunitarias, como así también los Comités de Administración de Condominios regulados en virtud de la Ley de Copropiedad Inmobiliaria, podrán presentar ante la respectiva Municipalidad, programas de separación de residuos sólidos domiciliarios con fines de compostaje o reciclaje, para así estimular el cobro diferenciado para la extracción de dichos residuos, a que alude el artículo 6° de la ley sobre Rentas Municipales”.

<sup>139</sup> El artículo 40 de la Ley 19.418, señala que: “Las juntas de vecinos tienen por objetivo promover la integración, la participación y el desarrollo de los habitantes de la unidad vecinal. En particular, les corresponderá:

- 1.- Representar a los vecinos ante cualesquiera autoridades, instituciones o personas para celebrar o realizar actos, contratos, convenios o gestiones conducentes al desarrollo integral de la unidad vecinal.
- 2.- Aportar elementos de juicio y proposiciones que sirvan de base a las decisiones municipales.

lado, estas unidades, por contemplar varios componentes habitacionales, son más fáciles de fiscalizar.

El segundo mecanismo no implica la modificación de un cuerpo legal, sino que la creación de una Ordenanza Municipal, que sirva de modelo para todos aquellos Municipios que quieran fomentar el compostaje en sus comunas. Si bien no es un mecanismo obligatorio para todos los Municipios, permitiría fomentar la rebaja del derecho de aseo a quienes implementen un programa ambiental. Para darle mayor contenido, dicha ordenanza debería, al menos: (i) definir qué se entiende por un programa ambiental; (ii) definir qué acciones, además del reciclaje (que incluye compostaje), pueden optar para obtener una rebaja en el cobro por el derecho de aseo y (iii) presentar una sugerencia de fórmula de cálculo, que permita definir la rebaja correspondiente.

#### 4.1.3 Incentivo a través de la rebaja del derecho de aseo considerando la frecuencia, volumen, o accesibilidad

##### 4.1.3.1 Recomendación

Hacer efectivo el artículo 6 y 7 del DLRM para incentivar con una rebaja de la tarifa del derecho de aseo al usuario que, por criterios de frecuencia o volumen, reduzca la generación de sus residuos sólidos domiciliarios.

##### 4.1.3.2 Explicación

El artículo 6 y 7 del DLRM permite a los usuarios obtener un beneficio de cobro diferenciado del derecho de aseo considerando criterios tales como “la frecuencia o los volúmenes de extracción; o las condiciones de accesibilidad”. Estos criterios, según señala el artículo citado, deberán establecerse por cada Municipalidad en su ordenanza respectiva.

- **Frecuencia o volumen**

Los Municipios pueden establecer diferencias en el cobro del derecho de aseo según consideraciones de frecuencia o volumen. Esto habilitaría al Municipio a cobrar más a quienes requieran con mayor frecuencia el servicio, o a quienes, generen más residuos.

---

3.- Gestionar la solución de los asuntos o problemas que afecten a la unidad vecinal, representando las inquietudes e intereses de sus miembros en estas materias, a través de los mecanismos que la ley establezca.

4.- Colaborar con las autoridades comunales, y en particular con las jefaturas de los servicios públicos, en la satisfacción y cautela de los intereses y necesidades básicas de la comunidad vecinal.

5.- Ejecutar, en el ámbito de la unidad vecinal, las iniciativas y obras que crean convenientes, previa información oportuna de la autoridad, de acuerdo con las leyes, reglamentos y ordenanzas correspondientes.

6.- Ejercer el derecho a una plena información sobre los programas y actividades municipales y de servicios públicos que afecten a su comunidad vecinal.

7.- Proponer programas y colaborar con las autoridades en las iniciativas tendientes a la protección del medio ambiente de la comuna y, en especial, de la unidad vecinal.

La práctica internacional, tal como se indica anteriormente en esta consultoría, ha reconocido ambos mecanismos.<sup>140</sup>

El primero, a través de un cobro de una tarifa base que le permite a un usuario una cantidad de retiros específica, debiendo pagar extra por cada retiro adicional que requiera.

El segundo, a través de un cobro por la cantidad de residuos generados, el que se realiza, por ejemplo, a través del cobro de una tarifa diferenciada asociada a un tamaño de contenedor y cantidad de retiros. Así, los contenedores de mayor tamaño tienen un costo mayor. Uno de los problemas a resolver con este mecanismo ocurre principalmente en los edificios o condominios y el incentivo individual a reducir los residuos. Cuando se implementan medidas de reducción para el edificio completo, el esfuerzo de cada departamento se diluye, fomentando la existencia de *free riders*, es decir, de aquellos que se aprovechan de la rebaja en la tarifa sin haber tomado acciones para aportar a dicha reducción. Aunque la práctica internacional ha sido la de definir una tarifa para cada edificio, es importante considerar que de implementarse un sistema que busque evitar los *free riders*, es necesario que cada generador tenga su container.<sup>141</sup>

#### 4.1.4 Regular el desperdicio de alimentos en supermercados, restaurantes y otros generadores

##### 4.1.4.1 Recomendación

Emplear uno de los instrumentos de gestión de residuos contenido en el artículo 4 letra f) de la Ley 20.920, que permita prevenir la generación de residuos, incluyendo medidas para evitar que productos aptos para uso o consumo se conviertan en residuos. Esto implica, la dictación de un reglamento que permita prevenir la generación de residuos y evitar el desperdicio de productos alimenticios.

##### 4.1.4.2 Explicación

Aunque no existe información oficial de la cantidad de desperdicios alimentarios en Chile y su impacto social, económico y ambiental, las pérdidas de alimentos en Latinoamérica son enormes<sup>142</sup>.

La fórmula más lógica para abordar el tema del desperdicio alimentario, pero políticamente más compleja, es a través de la creación de un incentivo tributario. La Constitución, en su artículo 19 numeral 20 se encarga de establecer que los tributos

---

<sup>140</sup> International Solid Waste Association, How to Design an Appropriate Waste Fee: Principles, Practices and Applications of Waste Management Fees, Noviembre, 2011, p. 11.

<sup>141</sup> International Solid Waste Association, How to Design an Appropriate Waste Fee: Principles, Practices and Applications of Waste Management Fees, Noviembre, 2011, p. 9-13.

<sup>142</sup> Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Pérdidas y Desperdicios de Alimentos en América Latina y El Caribe. La única información pública y disponible a la fecha sobre el desperdicio de alimentos en Chile es de carácter exploratorio. En Latinoamérica, en cambio, la pérdida de alimentos ocurre en las siguientes fases de la cadena alimentaria: producción (28%), procesamiento (6%), mercado y distribución (17%), manejo y almacenamiento (22%) y consumo (28%).

deben fijarse por ley. Complementan esta garantía constitucional el artículo 65, inciso segundo e inciso cuarto del mismo cuerpo legal.

De acuerdo con el inciso segundo del artículo 65 de la Constitución “las leyes sobre tributos de cualquiera naturaleza que sean, sobre los presupuestos de la Administración Pública y sobre reclutamiento, sólo pueden tener origen en la Cámara de Diputados”. Precisamente dicho artículo señala que corresponde al Presidente la iniciativa exclusiva para “Imponer, suprimir, reducir o condonar tributos de cualquier naturaleza, **establecer exenciones** o modificar las existentes, y determinar su forma, proporcionalidad o exención” La interpretación conjunta de estos artículos permite afirmar sin lugar a duda que la determinación de un incentivo tributario debe hacerse por ley.

La implementación de un incentivo tributario implicaría la presentación de un proyecto de ley de reforma tributaria, lo que implica un desafío político y técnico relevante. Considerando lo anterior, se plantea la posibilidad de implementar un incentivo que se ajuste a la regulación ya existente. Se propone la dictación de un reglamento, ya reconocido en la letra f) del artículo 4 de la Ley 20.920, que permita prevenir la generación de residuos y evitar el desperdicio de productos alimenticios.

El incentivo propuesto no es de carácter tributario, pues como se señaló, los incentivos tributarios deben hacerse por ley. El incentivo es un reconocimiento a las empresas que decidan donar a través de otorgarles un certificado que reconozca dichas donaciones. Esta posibilidad ya está consagrada por ley. De hecho, el artículo 70 letra t) bis, y 48 de la Ley 19.300, señala que el Ministerio del Medio Ambiente podría establecer la entrega de certificados a aquellas “*tecnologías ...o actividades que sean voluntariamente solicitados y que cumplan con criterios de sustentabilidad y protección del patrimonio ambiental del país*”.

La propuesta en concreto es regular, en virtud del artículo 4 letra f) de la Ley 20.920 la entrega de certificados a aquellas empresas que tomen medidas de prevención del desperdicio alimentario, esto implicaría un incentivo para prevenir la generación de residuos por un mejor manejo de sus procesos productivos o por la donación de los productos que aún estén aptos para el uso o consumo, pero que no reúnan las condiciones comerciales de venta.

Además del incentivo asociado a la entrega de un certificado, se recomienda que el Reglamento también defina:

- La obligación del Ministerio del Medio Ambiente, en conjunto con los otros Ministerios que aborden dicha temática, la realización de un informe cada dos años sobre el desperdicio de alimentos en Chile, el que se recomienda se elabore anualmente.
- La obligación del Ministerio del Medio Ambiente de diseñar programas de educación ambiental destinados a transmitir conocimientos y generar conciencia en la comunidad sobre la prevención en la generación de residuos, incluyendo, la prevención de residuos de productos alimenticios.

## 4.1.5 Incentivar la generación de energías renovables a través de la biomasa

### 4.1.5.1 Recomendación

Incentivar, a través de una modificación a la Ley General de Servicios Eléctricos, la generación de energía a través de la Biomasa.

### 4.1.5.2 Explicación

Como es sabido, Chile ha sido pionero en incentivar el desarrollo de energías renovables no convencionales a través de la implementación de un mecanismo que aumenta el portafolio de energías renovables en la generación de energía, instrumento llamado “*Renewable Portfolio Standard*”. Este es una política de mercado que incentiva la generación de energía renovable, requiriendo del generador o distribuidor que una porción de la energía generada provenga de fuentes de energía renovable no convencional.<sup>143</sup> Este instrumento de mercado promueve la inyección de energías renovables al sistema, fomentando la competencia con las otras fuentes de energía para cumplir la cuota.<sup>144</sup>

La Ley N° 20.257 de 2008 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción y la Ley N° 20.698 de 2013 del Ministerio de Energía, han estimulado la generación de energías renovables no convencionales (ERNC) al fijar cuotas de inyección ERNC al generador. En virtud de esta obligación, se obliga a los generadores la inyección de 10% (Ley N° 20.257) y 20% (Ley N° 20.698) al sistema eléctrico nacional. Si bien es cierto que las ERNC que permiten cumplir estas cuotas son múltiples tecnologías (eólica, solar, geotérmica, mareomotriz, hidroeléctrica de baja escala y biomasa) principalmente se ha desarrollado el mercado solar y eólico por su menor precio de venta de electricidad, dadas las condiciones naturales de los recursos del país.<sup>145</sup>

Se cree que dichos mercados están suficientemente maduros e incentivados, por lo que podría promoverse, a través de una reforma legal, que un porcentaje de la energía generada (20% al 2025) se realice a través de la biomasa. De esta forma, obligando a los generadores a producir energía con biomasa se incentivará, tal como ocurrió con la energía solar y eólica, la tecnología conocida como “*waste to energy*”, la que implica, mayoritariamente, el uso de residuos orgánicos para la generación de energía.

Este mecanismo ha sido utilizado en la experiencia comparada, y es precisamente en Estados Unidos que ha tenido mayor éxito. Según señala el *Environmental and Energy Study Institute*, el aporte de los residuos orgánicos al instrumento de portafolio de energías renovables ha sido relevante.<sup>146</sup> Esto se ha logrado porque se han fijado metas

---

<sup>143</sup> Wisser, R., Porter, K. y Grace, R. (2004). Evaluating Experience with Renewable Portfolio Standards in the United States. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California Berkeley.

<sup>144</sup> Espey, S. (2001). Renewables portfolio standard: a means for trade with electricity from renewable energy sources?. *Energy Policy* (2001), 29, 557.

<sup>145</sup> Institute for Energy Economics and Financial Analysis. Disponible en: <https://ieefa.org/irena-renewables-now-the-lowest-cost-power-source-in-most-of-the-world/>

<sup>146</sup> Environmental and Energy Study Institute. Disponible en: [https://www.eesi.org/files/Stolark\\_BiomassStateRPS\\_FINAL.pdf](https://www.eesi.org/files/Stolark_BiomassStateRPS_FINAL.pdf)

para que parte del portafolio de ENRC provenga de la biomasa. Un ejemplo de lo anterior puede encontrarse en la legislación del Estado de Connecticut, el que a través de sus Estatutos Generales (*General Statutes of Connecticut*), específicamente su capítulo 283, ordena que un porcentaje de las ENRC inyectadas al sistema tienen que provenir de la biomasa o waste to energy, entre otras fuentes.<sup>147</sup> El Estado de Nuevo México también incentiva la biomasa dentro del portafolio energético, al establecer que un 5% del total de ENRC inyectada debe provenir de fuentes distintas a la eólica y solar.<sup>148</sup> Estos mecanismos han permitido impulsar la biomasa como una fuente de generación de energía relevante en algunos Estados de Estados Unidos.

#### 4.1.6 Incentivar la gestión de orgánicos en las licitaciones de los contratos de recolección y disposición de residuos

##### 4.1.6.1 Recomendación

Introducir en las licitaciones para la contratación de servicios de recolección y disposición de residuos, un incentivo que bonifique con mayor puntaje a las propuestas que contengan acciones de valorización, específicamente de reciclaje.

##### 4.1.6.2 Explicación

Los Municipios, en su gran mayoría, realizan la función de recolección y disposición de residuos, mediante la externalización del servicio a privados. Los contratos de concesión que se suscriben al efecto son licitados mediante los procedimientos establecidos en la Ley 19.886.

Dicha Ley no permite dotar de uniformidad a las bases de licitación que realiza cada municipio, por lo que Chile Compra ha dictado directrices que establecen recomendaciones para las licitaciones de concesiones de servicios de recolección, transporte y disposición de residuos sólidos domiciliarios (Resolución Exenta N° 103 B de fecha 16 de marzo de 2015 de la Dirección de Compras y Contratación Pública)<sup>149</sup>

Dichas recomendaciones están orientadas a asegurar los principios de igualdad de los oferentes y estricta sujeción a las bases, y no a regular los aspectos técnicos de unas bases de licitación en materia de residuos. Nuestra recomendación es establecer algún criterio en relación con el contenido de los servicios, en cuanto a favorecer con mayor puntaje en la evaluación a las ofertas que contemplen compromisos de gestión de orgánicos. Al establecer un mayor puntaje, los proponentes podrán presentar acciones concretas para promover por ejemplo la recolección diferenciada de orgánicos o el compostaje, y así recibir una bonificación que les permita adjudicarse el contrato.

---

<sup>147</sup> Ver General Statutes of Connecticut. Disponible en: [https://www.cga.ct.gov/current/pub/chap\\_283.htm#sec\\_16-245a](https://www.cga.ct.gov/current/pub/chap_283.htm#sec_16-245a). Específicamente ordena que un porcentaje del 7% provenga de dichas fuentes.

<sup>148</sup> Gabril, P. (2019). New Mexico's Renewable Portfolio Standard: Analysis of Existing Policy Design Elements and Compliance Obligations Beyond 2020. Legal Studies Research Paper Series, p 42.

Este mecanismo no requeriría de ninguna modificación legal, sino que podría implementarse incorporando dichas directrices en las bases de licitación correspondientes.

## 4.2 Educación ambiental y fortalecimiento de capacidades

Como se mencionó anteriormente, la educación ambiental y el fortalecimiento de capacidades es relevado transversalmente por todos los actores consultados, nacionales e internacionales, como un pilar fundamental en el proceso de cambio de paradigma hacia una mejor gestión de residuos. Una transición desde un enfoque de gestión de residuos o lineal hacia uno de gestión de materiales y economía circular requiere de un fuerte y permanente trabajo de educación. Dada la relevancia central de este elemento, es que se hace primordial desarrollar una línea de acción en torno a ello y el desarrollo de instrumentos de política que respondan adecuadamente a esta necesidad.

### 4.2.1 Levantamiento de instrumentos para el fortalecimiento de la educación ambiental

En materia de educación ambiental, en Chile existen ya consolidadas líneas de trabajo asociadas a su promoción por parte del Estado.

#### 4.2.1.1 Subsecretaría del Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE)

La SUBDERE cuenta con la **Academia de Capacitación Municipal y Regional**, la cual está orientada a fortalecer a las Municipalidades y Gobiernos Regionales del país en el marco del proceso de descentralización, a través del diseño e implementación de programas de capacitación que apunten al perfeccionamiento de su capital humano.

Actualmente la Academia, a través del Fondo Concursable de Formación de Funcionarios Municipales<sup>150</sup>, dispone de un conjunto de programas de formación que se concentran a través de diplomados impartidos a través de universidades acreditadas por la Comisión Nacional de Acreditación (CNA) y la acreditación de los perfiles elaborados por ChileValora que reconocen y fortalecen competencias ocupacionales de funcionarios del subsector municipal. Estos Programas deben pertenecer a las áreas relacionadas con materias afines a la gestión y funciones propias de las municipalidades, según lo establecido en el Artículo N°4 de la Ley 20.472.

Además del financiamiento de becas para cursar estudios conducentes a la obtención de un título profesional, técnico, diplomado o postítulo, la Academia de Capacitación Municipal y Regional diseña e imparte cursos y seminarios que aborden temas de interés para el público objetivo.

---

<sup>150</sup> Fondo creado a partir del Artículo 4° de la Ley 20.742 que “Perfecciona el rol fiscalizador del concejo; fortalece la transparencia y probidad en las municipalidades; crea cargos y modifica normas sobre personal y finanzas municipales.” Este Fondo está destinado a la formación de funcionarios en competencias específicas, habilidades y aptitudes que se requieran para el desempeño del cargo

#### 4.2.1.2 Ministerio del Medio Ambiente

Desde el Ministerio del Medio Ambiente, la División de Educación Ambiental y Participación Ciudadana busca contribuir a la formación de una ciudadanía ambientalmente responsable, por medio de programas y líneas de trabajo orientadas a distintos actores del quehacer ambiental nacional, tanto en educación formal como no formal. En lo que respecta a la educación formal, se busca tener injerencia en las políticas, estrategias y programas de educación, de manera tal, de poder otorgarle el espacio de relevancia que requiere la educación ambiental en el currículum nacional, desde la educación inicial hasta la educación superior.

En el año 2009, se aprobó la Política Nacional de Educación para el Desarrollo Sustentable (PNEDS)<sup>151</sup>, cuyo objetivo principal es la formación de personas y ciudadanos capaces de asumir individual y colectivamente la responsabilidad de crear y disfrutar una sociedad sustentable y contribuir al fortalecimiento de procesos educativos que permitan instalar valores, conceptos, habilidades y actitudes en la ciudadanía en su conjunto. La educación ambiental debe ser entendida como el proceso educativo, en sus diversos niveles, a través de la transmisión de conocimientos y de la enseñanza de conceptos modernos de protección ambiental, orientados a la comprensión y toma de conciencia de los problemas ambientales, debiendo incorporar la integración de valores y el desarrollo de hábitos y conductas que tiendan a prevenirlos y resolverlos<sup>152</sup>.

En ese contexto, se desarrollan diversas líneas de trabajo, buscando mantener una relación directa con el Ministerio de Educación, con el objetivo de poder influir en las bases curriculares y en otros instrumentos de gestión educativa que permitan crear una conciencia nacional sobre la protección del medio ambiente y el desarrollo sustentable, así como promover la participación ciudadana responsable en estas materias<sup>153</sup>.

A continuación, se mencionan un conjunto de políticas públicas, programas e iniciativas implementadas por el Ministerio del Medio Ambiente que, con el transcurso de los años, han contribuido a la instalación de la educación ambiental chilena, desde la institucionalidad ambiental del país, abordando distintos públicos objetivos, desde la educación tradicional, las organizaciones sociales, los municipios y entidades locales.

##### 4.2.1.2.1 Sistema Nacional de Certificación Ambiental de Establecimientos Educativos o Programa Escuelas Sustentables<sup>154</sup>

El Programa Escuelas Sustentables tiene por objetivo la Certificación Ambiental de Establecimientos Educativos y busca ser una estrategia integral para abordar la educación ambiental para la sustentabilidad en los establecimientos educativos del país. Desde la educación parvularia hasta la educación media, de cualquier dependencia.

---

<sup>151</sup> Ministerio del Medio Ambiente. (2009). Política de Educación Ambiental para el Desarrollo Sustentable. Disponible en: <http://sustentabilidad.umce.cl/wp-content/uploads/2016/10/Politica-Nacional-EA-EDS-2012-1.pdf>

<sup>152</sup> Ver Artículo 6° de la Ley N° 19.300, Sobre Bases Generales del Medio Ambiente.

<sup>153</sup> Ministerio del Medio Ambiente (2017). Educación Ambiental. Una mirada desde la institucionalidad ambiental chilena. Disponible en: [https://educacion.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/09/LIBRO-EDUCACION-AMBIENTAL-final\\_web.pdf](https://educacion.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/09/LIBRO-EDUCACION-AMBIENTAL-final_web.pdf)

<sup>154</sup> Disponible en: <https://sncae.mma.gob.cl/portal>

Es un sistema de carácter voluntario que entrega una certificación pública a los establecimientos educacionales que implementan exitosamente estrategias de educación ambiental en sus comunidades escolares.

Sus objetivos son:

- Contribuir a una educación para la transformación y desarrollo de una ciudadanía ambiental global.
- Impulsar la educación ambiental para la sustentabilidad en todo el quehacer educativo.
- Aportar en la creación de una cultura ambiental escolar.
- Transformar a la comunidad educativa y las instalaciones del establecimiento en un referente ambiental para el fortalecimiento de la gestión local.

El SNCAE busca integrar los tres ámbitos del quehacer educativo: Curricular, Gestión y Relaciones con el Entorno, su propósito es dar pertinencia y significancia al proceso de enseñanza-aprendizaje.

#### 4.2.1.2.2 Academia de Formación Ambiental Adriana Hoffmann<sup>155</sup>

Es una plataforma que busca atender la creciente demanda de capacitación de la ciudadanía a través de la promoción de valores de educación ambiental y la entrega de recomendaciones y buenas prácticas ambientales, que permitan generar cambios positivos en hábitos y actitudes de las personas, posibilitando la transformación de la sociedad en una más sustentable. Además, colabora en la formación de docentes y fortalece sus habilidades, para convertirlos en difusores de contenidos ambientales en sus comunidades educativas. Asimismo, constituye una fuente relevante de información para profesionales del sector público, especialmente en cuanto a procesos normativos y legales y para fortalecer sus competencias ambientales.

#### 4.2.1.2.3 Redes Ambientales<sup>156</sup>

Es una iniciativa para dar respuesta a la creciente demanda ciudadana por participar en programas educativos asociados a temáticas ambientales. La Red busca ampliar la oferta de contenidos vinculados a la educación ambiental y el desarrollo sostenible, identificar y contar con un organismo conformado por los diferentes Centros de Educación Ambiental del país y permitir, de esta manera, la comunicación y el apoyo mutuo entre las distintas iniciativas existentes, además de incentivar el diálogo entre la institución pública, y las organizaciones de la sociedad civil (públicas y privadas) definidas como potenciales Centros de Educación Ambiental.

---

<sup>155</sup> Disponible en: <https://mma.gob.cl/wp-content/academia/>

<sup>156</sup> Disponible en: <https://redesambientales.mma.gob.cl/>

#### 4.2.1.2.4 Club de Forjadores Ambientales<sup>157</sup>

El Programa Forjadores Ambientales tiene más de 10 años de existencia y nació con el objetivo de fortalecer el liderazgo ambiental de los diversos actores de la sociedad civil, comenzando con los más pequeños. Consiste en agrupaciones autoconvocadas y autogestionadas, conformadas de manera colectiva, su objetivo es trabajar por el medio ambiente, para quienes el Ministerio del Medio Ambiente ofrece un espacio de registro de los grupos y un Fan Page de Facebook, donde también se intercambia información entre sus integrantes o interesados en participar, las actividades que realizan en su mayoría son de carácter local y puntual.

#### 4.2.1.2.5 Fondo de Protección Ambiental (FPA)<sup>158</sup>

Es el primer y único fondo concursable de carácter nacional con que cuenta el Estado de Chile para apoyar iniciativas ambientales presentadas por la ciudadanía. Su objetivo es apoyar iniciativas ciudadanas y financiar total o parcialmente proyectos o actividades orientados a la protección o reparación del medio ambiente, el desarrollo sustentable, la preservación de la naturaleza o la conservación del patrimonio ambiental. Según las Bases Generales del FPA, “podrán presentarse al concurso personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, que cumplan los requisitos específicos señalados para cada concurso en las bases especiales”, los que pueden ser organizaciones sociales e instituciones chilenas sin fines de lucro, como por ejemplo Juntas de Vecinos, clubes deportivos, centros de padres, agrupaciones culturales y ambientales, comunidades y asociaciones indígenas, Organismos No Gubernamentales ONG, asociaciones gremiales, entre otros.

Durante el año 2019 el Concurso se enmarcó en cuatro líneas de acción; áreas verdes, gestión ambiental local, escuelas sustentables, y protección y gestión ambiental indígena<sup>159</sup>.

#### 4.2.1.2.6 Sistema de Certificación Ambiental de Municipios (SCAM)<sup>160</sup>

Es un sistema integral de carácter voluntario, que permite a los municipios instalarse en el territorio como un modelo de gestión ambiental, donde la orgánica, la infraestructura, el personal, los procedimientos internos y los servicios que presta el municipio a la comunidad, integran el factor ambiental, según estándares internacionales como ISO 14.001 y EMAS (Reglamento Comunitario de Ecogestión y Ecoauditoría).

En el proceso del SCAM, se definen ocho componentes que se exigen para el cumplimiento de la certificación, entrando en mayor profundidad dependiendo del nivel de certificación al que se esté postulando,

##### a. Recursos legales

---

<sup>157</sup> Disponible en: <http://educacion.mma.gob.cl/forjadores-ambientales/>

<sup>158</sup> Disponible en: <http://fpa.mma.gob.cl/>

<sup>159</sup> Ministerio del Medio Ambiente. (2019). Resultados XXII Concurso de Fondo de Protección Ambiental 2019. Disponible en: [http://fpa.mma.gob.cl/anexos/Proyectos\\_Seleccionados\\_FPA2019.V.2.pdf](http://fpa.mma.gob.cl/anexos/Proyectos_Seleccionados_FPA2019.V.2.pdf)

<sup>160</sup> Disponible en: <http://educacion.mma.gob.cl/sistema-de-certificacion-ambiental-municipal/>

- b. Recursos financieros
- c. Recursos humanos
- d. Tecnologías de información
- e. Recursos de participación ambiental ciudadana
- f. Recursos de planificación
- g. Recursos para el reciclaje, reducción y reutilización, 3R
- h. Unidad Ambiental Local

El SCAM considera la participación ciudadana a través de la constitución de los Comités Ambientales Comunales, los que actualmente cuentan con más de 1.400 miembros en todas las regiones del país.

Los municipios que participan en el programa desarrollan una Estrategia Ambiental Comunal, instrumento de acción que busca abordar de manera sistemática los principales conflictos o situaciones ambientales presentes en el territorio comunal. El SCAM se encuentra operando en todas las regiones con municipios certificados en sus cinco niveles y con un crecimiento progresivo cada año. El programa incluye dentro de sus líneas de trabajo reciclaje, ahorro energético e hídrico en oficinas municipales y capacitación a todas y todos los funcionarios en diversas temáticas ambientales. El Manual del Sistema de Certificación Ambiental Municipal, es el documento donde se entrega de manera práctica y detallada, cada uno de los pasos y elementos claves para alcanzar los niveles de certificación ambiental básico, intermedio, de avanzada/excelencia y excelencia sobresaliente<sup>161</sup>.

Del análisis de estos instrumentos, se puede concluir que el problema no radica esencialmente en la carencia de estructuras o instrumentos, sino que, para el caso particular de mejorar la gestión de residuos orgánicos, lo que se requiere es alimentar de contenido y aumentar el alcance de los canales existentes.

#### 4.2.1.3 Ministerio de Educación

En torno al rol que cumple el Ministerio de Educación, la Ley General de Educación señala que el sistema educativo se construye sobre la base de los derechos garantizados en la Constitución, así como en los tratados internacionales ratificados por Chile, inspirándose en doce principios, uno de los cuales es el de sustentabilidad. Esto implica que el sistema educativo debe fomentar el respeto por el medioambiente y el uso racional de los recursos naturales como expresión concreta de la solidaridad con las actuales y futuras generaciones. Por lo tanto, para el Ministerio de Educación, la construcción de una sociedad sustentable requiere de una educación orientada a *“fortalecer los conocimientos, habilidades y actitudes que posibiliten a niñas, niños, adolescentes, jóvenes y adultos a reflexionar y tomar decisiones fundamentadas para actuar en sus respectivos contextos, sea la familia, la escuela, el barrio, la comuna, la ciudad o el país, como un ciudadano comprometido en el abordaje responsable de los problemas sociales, económicos, culturales y ambientales, en un marco democrático, participativo, inclusivo y sin discriminaciones.”*

---

<sup>161</sup> Ministerio del Medio Ambiente (2017). Manual del Sistema de Certificación Ambiental Municipal. Disponible en: <https://educacion.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/07/MANUAL-SCAM-2017.pdf>

El Ministerio de Educación en Chile promueve los Objetivos Fundamentales Transversales (OFT) del currículum escolar, que tienen un carácter comprensivo y general orientado al desarrollo personal, y a la conducta moral y social de los alumnos. Uno de esos OFT, corresponde a “La persona y su entorno” el cual busca formar ciudadanos comprometidos con su entorno social, personal y familiar, con el medio ambiente y los grupos sociales en que se desenvuelven, por lo que los establecimientos educacionales tienen la facultad de elaborar proyectos apropiados a la situación local<sup>162</sup>.

#### 4.2.2 Instrumentos para el fortalecimiento de la educación ambiental para cada actor clave

A partir del desarrollo de los sistemas de manejo identificados para valorizar residuos orgánicos en Chile se reconocieron distintos actores clave que deben ser parte de los procesos de valorización. En la siguiente tabla se presentan los instrumentos actuales enmarcados en la educación ambiental que podrían ser aplicados de acuerdo con el actor objetivo.

Tabla 47. Instrumentos existentes para el fortalecimiento de la educación ambiental según grupo objetivo.

Grupo objetivo	Academia de Capacitación Municipal y Regional	SCAM	SNCAE	Academia Adriana Hoffmann	Redes Ambientales	Club de Forjadores Ambientales	FPA	OFT
Funcionarios municipales y autoridades	✓	✓		✓				
Ciudadanía		✓		✓				
Comunidad escolar		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Líderes ambientales comunitarios y JJVV		✓		✓	✓		✓	
Operarios a cargo de la recolección		✓						
Operarios de planta de valorización		✓						

Fuente: Elaboración propia, 2019.

A continuación, se desarrollarán las posibilidades de implementar estos instrumentos para los actores definidos en la Tabla 48.

<sup>162</sup> Ministerio del Medio Ambiente (2017). Educación Ambiental. Una mirada desde la institucionalidad ambiental chilena. Disponible en: [https://educacion.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/09/LIBRO-EDUCACION-AMBIENTAL-final\\_web.pdf](https://educacion.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/09/LIBRO-EDUCACION-AMBIENTAL-final_web.pdf)

#### 4.2.2.1 Funcionarios municipales y autoridades

La **Academia de Capacitación Municipal y Regional**, a través del Fondo de Becas, financia estudios para la formación de funcionarios municipales, de planta y contrata a fin de mejorar la gestión local y las funciones propias de las municipalidades. Presenta anualmente el Catálogo de Oferta Académica, el que se compone de programas regulares de universidades acreditadas e institutos profesionales de todo el país. Durante el 2019 el catálogo contó con 1.819 programas conducentes a título técnico, título profesional, diplomado o postítulo. Para el año 2020 el catálogo está en proceso de elaboración y participarán más de 30 casas de estudios<sup>163</sup>.

Como actividad enmarcada en la gestión de los residuos sólidos, la Academia de Capacitación Municipal y Regional desarrolló, durante enero del año 2018, el Diplomado en Gestión de Residuos Sólidos, dictado por el Núcleo Biotecnología Curauma junto al Grupo de Residuos Sólidos de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Este programa de capacitación buscó fortalecer y nivelar las competencias técnicas de los profesionales de las Unidades de Residuos Sólidos de la SUBDERE y de los Gobiernos Regionales en materias relacionadas con la gestión integral de residuos sólidos, actividades de esta índole podrían replicarse para los funcionarios municipales encargados de esta área.

En relación con los instrumentos implementados por el Ministerio del Medio Ambiente, como se mencionó en la sección 4.2.1.2.6, en el proceso del SCAM se definen ocho componentes que se exigen para el cumplimiento de la certificación, con lo cual, uno de ellos es recursos humanos (RRHH), por lo que si el municipio desea potenciar este, debe declarar el componente humano como clave para el éxito de los sistemas de reconversión de los procesos o el éxito de los proyectos ambientales.

En los diferentes niveles de certificación se exigen ciertas acciones en torno a los RRHH, como, por ejemplo, en el nivel de certificación básica se exige aplicar una encuesta que permita identificar el nivel de conocimiento de los funcionarios frente a temas ambientales básicos, donde, a partir de sus resultados, el municipio deberá elaborar un plan de capacitación. Este plan debe adaptarse en los niveles intermedio y avanzado, bajo las exigencias estipuladas en el SCAM y los enfoques de trabajo que el municipio quiera desarrollar.

En la etapa de Acreditación de Vocación Ambiental Comunal (AVAC), que corresponde a un paso delante de la certificación SCAM, y profundiza en sus alcances y desafíos, el municipio deberá preparar, además, un programa de capacitación o charlas de concientización sobre la vocación elegida (pudiendo ser vocación la Gestión de residuos)<sup>164</sup>, a funcionarios municipales, actores de la Mesa AVAC, Juntas de Vecinos y organizaciones comunitarias.

---

<sup>163</sup> Disponible en: <http://www.academia.subdere.gov.cl/?p=7331>

<sup>164</sup> Las temáticas de vocación son: Energía; Biodiversidad; Gestión hídrica; Residuos sólidos; Descontaminación atmosférica; Urbanismo Sustentable; Paisaje de conservación; U otro tema que proponga la comuna. <https://educacion.mma.gob.cl/gestion-local/sistema-de-certificacion-ambiental-municipal/acreditacion-de-vocacion-ambiental-nivel-avac/>

En el caso de municipios que desarrollen proyectos piloto de 3R, es obligatoria la capacitación para todos los funcionarios en torno al reciclaje, la reducción y la reutilización.

Como se mencionó en la sección 4.2.1.2.2, la Academia Adriana Hoffmann, tiene como objetivo atender la creciente demanda ciudadana en materias de Educación Ambiental y Educación para el Desarrollo Sustentable, a través de un proceso continuo de formación dirigido a docentes, ciudadanía, y funcionarios públicos. Hasta el año 2018 se habían realizado más de 20 cursos, siendo tres específicos para los funcionarios municipales; Evaluación Ambiental Estratégica, Gestión del cambio climático para hacedores de política pública a nivel local en Chile, y Gestión de Residuos para funcionarios municipales; este último curso se realizó en el marco del Programa Santiago REcicla<sup>165</sup> y tuvo como objetivo entregar herramientas sobre la formulación de proyectos de residuos sólidos, que permitan fortalecer las competencias en la gestión de residuos en los funcionarios municipales, y que puedan implementar a nivel individual y comunitario. Este curso se realizó con éxito, logrando la participación de más de cincuenta comunas de la Región Metropolitana. Esta plataforma tiene un gran potencial como instrumento en el fortalecimiento de la educación para los funcionarios municipales, se recomienda realizar cursos asociados a la formulación e implementación de proyectos de valorización de residuos orgánicos.

#### 4.2.2.2 Ciudadanía

El modelo del SCAM favorece la participación de la ciudadanía a partir de diferentes instancias; este sistema exige la formación de los Consejos Ambientales Comunales (CAC) que son una instancia formal de participación ciudadana creada mediante una resolución del municipio que le da validez institucional. El CAC, en relación con el proceso de certificación municipal, tiene como funciones realizar propuestas o proyectos ambientales en la comuna, apoyar las líneas estratégicas y el proceso de implementación del sistema de certificación ambiental en el municipio. En relación con la participación ciudadana en general, gran parte de los productos exigidos, deberán incluirla en su elaboración y validación; de hecho, uno de los requisitos en la primera etapa de la certificación, consiste en el diseño y formalización de procesos o mecanismos de participación ciudadana para la comunidad, los cuales deberán abordar los tres niveles básicos, es decir informativo, consultivo y resolutivo. Este instrumento tiene una gran posibilidad de fortalecer la educación ambiental en la ciudadanía en el caso de especificar la necesidad de capacitar en torno a la valorización de los residuos orgánicos, principalmente si el municipio posee un nivel de certificación AVAC, escogiendo la vocación Gestión de los Residuos.

La Academia Adriana Hoffmann (sección 4.3.1.2.2) tiene su enfoque en la demanda ciudadana, en materias de educación ambiental, 10 cursos de los más de 20 realizados hasta el año 2018 se enfocaban en la ciudadanía en general, existiendo sólo uno enfocado en la Jerarquización para el manejo de los residuos llamado Educación Ambiental y Residuos para Ciudadanía. Este curso, realizado de manera remota, al igual que el curso dirigido a los funcionarios municipales, se elaboró en el marco del Programa

---

<sup>165</sup> Para más información, ver: <http://www.santiagorecicla.cl/>

Santiago REcicla, y su desarrollo tuvo un alto interés desde la ciudadanía, ejecutándose tres veces durante el año 2018, participando en total más de 1.000 ciudadanos. Se recomienda replicar esta instancia con un enfoque en la valorización de los residuos orgánicos desde el Departamento de Educación Ambiental con el objetivo de concientizar sobre el impacto de la generación de sus residuos orgánicos, para promover el compromiso en la gestión de los residuos orgánicos.

#### 4.2.2.3 Comunidad escolar

Como se mencionó en la sección 4.2.1.3, el Ministerio de Educación en Chile promueve los Objetivos Fundamentales Transversales (OFT) del currículum escolar en la educación básica y media. Uno de ellos, *“La persona y su entorno”*, espera afianzar entre otros aprendizajes:

- *...Valorar sus procesos y resultados con criterios de satisfacción personal y sentido de vida, calidad, productividad, innovación, responsabilidad social e impacto sobre el medio ambiente...*
- *...Proteger el entorno natural y sus recursos como contexto de desarrollo humano...*

Si bien está integrado el “medio ambiente” en los OFT a través de estos aprendizajes, los establecimientos educacionales tienen la facultad de elaborar proyectos apropiados a la situación local<sup>166</sup>, sin embargo, la educación ambiental es muy incipiente en las propuestas curriculares y programas de estudio, tanto de enseñanza básica como media. Muñoz-Pedrerros<sup>167</sup> realizó un breve análisis de los planes y programas de estudios vigentes, en los que observó que existen numerosos espacios y momentos que permitirían fortalecer principios de la educación ambiental en la escuela y trabajar diversos temas ambientales de manera integral<sup>168</sup>, sin embargo, existen dificultades para su implementación, aprovechándose rara vez, ya que *“la gran mayoría de los profesores de enseñanza básica y media no abordó la educación ambiental durante su formación académica, lo que dificulta su aplicación efectiva a los planes y programas de estudios”*<sup>194</sup>.

Frente a esta debilidad, se recomienda que el Ministerio del Medio Ambiente, a través de las secretarías regionales, realice actividades de educación enfocadas específicamente a docentes. A principios del año 2018, la Seremi del Medio Ambiente RM, desarrolló, la Escuela de Educación Ambiental “Valorización de Residuos para Comunidades Educativas”<sup>169</sup>, su objetivo fue entregar herramientas para diseñar y ejecutar actividades educativas asociadas a la estrategia jerarquizada del manejo de residuos, junto con fomentar que los participantes sean agentes activos para su implementación en la comunidad escolar. Esta instancia tuvo bastante éxito, sin embargo, es necesario que

---

<sup>166</sup> Ministerio del Medio Ambiente (2017). Educación Ambiental. Una mirada desde la institucionalidad ambiental chilena. Disponible en: [https://educacion.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/09/LIBRO-EDUCACION-AMBIENTAL-final\\_web.pdf](https://educacion.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/09/LIBRO-EDUCACION-AMBIENTAL-final_web.pdf)

<sup>167</sup> Muñoz-Pedrerros, A. (2014). La Educación en Chile, una tarea aún pendiente. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/asoc/v17n3/v17n3a11.pdf>

<sup>168</sup> Fuentealba, V. (2007). Certificación ambiental de establecimientos educativos de Chile: una oportunidad para la formación de ciudadanía.

<sup>169</sup> Disponible en: <http://www.santiagorecicla.cl/exitosa-escuela-de-educacion-ambiental-santiago-recicla/>

acciones como esta tengan un mayor alcance, ya que, siendo una actividad regional, tuvo como beneficiados solamente 80 docentes.

En relación con el SCAM, una de las exigencias, es la que el municipio fomente la educación ambiental, mediante su inclusión en el Plan Anual de Educación Municipal (PADEM), este instrumento por definición establece la política local para la educación de la comuna. Pese a que se exige la temática ambiental en su diseño, sería recomendable especificar la integración de un Programa de gestión de residuos orgánicos domiciliarios, un PADEM que aborda esto es el de la Municipalidad de Villa Alemana (2019)<sup>170</sup>, donde determina lo siguiente “*Todos los establecimientos educacionales, a contar del año 2018 y año escolar 2019, seguirán participando del programa Medio Ambiental impulsado por la Ilustre Municipalidad de Villa Alemana. Dicho programa consiste en actividades como retiro diferenciado de residuos, proceso de compostaje, lombricultura y reciclaje, entre otros.*” Por otra parte, la municipalidad deberá proponer el ingreso de un número de establecimientos municipalizados al Sistema Nacional de Certificación Ambiental de Establecimientos Educacionales del Ministerio del Medio Ambiente (SNCAE).

El SNCAE, como se especificó en la sección 5.2.1.2.1, es un sistema de gestión integrado, que busca incorporar en su ejecución otros programas o políticas educativas que el establecimiento desarrolle, vinculándolo con temáticas que potencian el trabajo ambiental tales como vida saludable, convivencia, formación ciudadana, entre otras. El nivel de certificación ambiental que alcancen los establecimientos educacionales está dado por el cumplimiento de indicadores establecidos en el instrumento denominado Matriz Ambiental. Estos indicadores están relacionados con los tres ámbitos de acción: Curricular, Gestión y Relaciones con el Entorno<sup>171</sup>. El ámbito curricular busca destacar la temática ambiental existente en el currículum, planes y programas de estudio del establecimiento; el ámbito gestión busca incorporar prácticas ambientales en la gestión de sus recursos y en el quehacer educativo, como por ejemplo en el Proyecto Educativo Institucional (PEI), Reglamento de Convivencia Escolar, entre otros; y el ámbito relación con el entorno pone énfasis en la interacción del establecimiento educativo con su entorno inmediato. En relación con las exigencias especificadas en la matriz ambiental, se podrían integrar acciones más concretas en torno a la implementación de un Programa de Valorización de Residuos Orgánicos, teniendo que aplicarlo todos los establecimientos que forman parte del SNCAE.

Con respecto a la Academia Adriana Hoffmann, 9 cursos de los más de 20 realizados hasta el año 2018 fueron dirigidos específicamente a docentes (educadores de párvulo y docentes de educación básica y media), existiendo sólo uno enfocado en la Jerarquización para el manejo de los residuos llamado Educación Ambiental y Residuos para Ciudadanía. Este curso, realizado de manera remota, al igual que el curso dirigido a los funcionarios municipales y a la ciudadanía, se elaboró en el marco del Programa Santiago REcicla, y su desarrollo tuvo un alto interés, ejecutándose tres veces durante el año 2018, participando en total más de 500 profesores. Se recomienda replicar esta instancia con un enfoque en la valorización de los residuos orgánicos desde el Departamento de Educación Ambiental con el objetivo de concientizar sobre el impacto de

<sup>170</sup> Disponible en: [http://portal.cmva.cl/transparencia/14/padem/PADEM\\_2019.pdf](http://portal.cmva.cl/transparencia/14/padem/PADEM_2019.pdf)

<sup>171</sup> Ministerio del Medio Ambiente. (2018). Manual Programa Escuelas Sustentables. Disponible en: <https://sncae.mma.gob.cl/docs/manual/Manual-Programa%20Escuelas%20Sustentables-2018.pdf>

la generación de sus residuos orgánicos, para promover el compromiso en la gestión de los residuos orgánicos.

Las Redes Ambientales, como se mencionó en la sección 4.2.1.2.3, son una iniciativa que busca ampliar la oferta de contenidos vinculados a la educación ambiental y el desarrollo sostenible, permitiendo la comunicación y el apoyo mutuo entre las distintas iniciativas existentes, además de incentivar el diálogo entre la institución pública, y las organizaciones de la sociedad civil (públicas y privadas) definidas como potenciales Centros de Educación Ambiental. Este instrumento puede aplicarse en la difusión de experiencias en torno a la valorización de residuos orgánicos, actualmente la Red Nacional de Centros de Educación se encuentra activa a través de las redes sociales.

El Club de forjadores ambientales (sección 4.2.1.2.4), al igual que las Redes Ambientales, es un espacio de intercambio de información y experiencias, sin embargo, este programa se enfoca en los establecimientos educacionales que forman parte del SNCAE. El día 18 de octubre se celebra el “día del forjador ambiental”, esta instancia, celebrada a nivel nacional, puede ser una instancia de encuentro de los grupos, para formar una red y compartir experiencias. Además, de incentivar el trabajo que realizan los establecimientos educacionales en educación ambiental con temas de conservación.

El Fondo de Protección Ambiental, mencionado en la sección 4.2.1.2.5, posee el concurso Escuelas Sustentables el cual tiene como objetivo *“Fomentar la gestión ambiental en Establecimientos Educacionales a través de la generación de hábitos y conductas sustentables, incorporando y promoviendo la educación ambiental y la participación de la comunidad como ejes centrales en su desarrollo.”* Pueden participar de este concurso Centros de Padres y Apoderados, Club Deportivo Escolar, Agrupaciones Ambientales, Agrupaciones Culturales, Agrupaciones Artísticas, entre otras y tiene un monto de \$4.000.000 y pueden desarrollarse proyectos en torno a la gestión de los residuos, producción sustentable y biodiversidad, gestión energética y eficiencia hídrica, y capacitación y extensión ambiental. Durante el año 2019 se pudo apreciar que 11 de los 54 proyectos adjudicados, correspondieron a la línea de gestión de residuos, siendo 3 de ellos específicamente de valorización de residuos orgánicos.

Estos proyectos tienen un gran impacto en la comunidad escolar en torno a la educación ambiental y la implementación de un sistema de valorización de residuos, sin embargo, al igual que el Concurso de Gestión Ambiental Local, no se confirma la permanencia de éstos ya que el financiamiento se realiza durante 6 meses, se recomienda un seguimiento en torno a los proyectos de valorización de residuos orgánicos, dando a conocer las experiencias exitosas existentes en torno a este tema.

#### 4.2.2.4 Líderes ambientales comunitarios y Juntas de Vecinos (JJVV)

Como se pudo apreciar en la sección 4.2.1.2.6, el SCAM favorece la participación de la ciudadanía a partir de diferentes instancias; uno de los requisitos para lograr la certificación Nivel Básico, el municipio debe elaborar una Ordenanza Ambiental, la cual se corrige en el Nivel Intermedio y de Excelencia. Para estos efectos el municipio debe adquirir un compromiso de apoyar la difusión de la Ordenanza Ambiental en las JJVV de la comuna, por lo tanto, en primera instancia deben elaborar un cronograma con los talleres para la difusión, dando prioridad a las JJVV. En la etapa de Acreditación de

Vocación Ambiental Comunal (AVAC), el municipio debe formar una mesa la que se conforma por actores representantes de los diferentes sectores; público, comunitario, privado y educacional. El actor con mayor representatividad en el sector comunitario corresponde a las JJVV y los líderes ambientales comunitarios. En esta misma etapa el municipio debe preparar un programa de capacitación o charlas de concientización sobre la vocación elegida, a funcionarios municipales, actores de la Mesa AVAC, Juntas de Vecinos y organizaciones comunitarias. Este instrumento tiene una gran posibilidad de fortalecer la educación ambiental, específicamente, en actores clave como los líderes ambientales comunitarios de la comuna y JJVV, destacando el potencial que se tiene en el caso de que la comuna posea un nivel de certificación AVAC, escogiendo la vocación Gestión de los Residuos.

En relación con la Academia Adriana Hoffmann, este instrumento, como se mencionó anteriormente, tiene su enfoque en la demanda ciudadana, pudiendo participar representantes de las organizaciones comunitarias de la comuna y representantes de las JJVV como personas naturales. El ideal es que estos representantes tengan contacto directo con la contraparte ambiental del municipio con el objetivo estar informados cuando se realicen cursos a través de esta plataforma.

En torno al financiamiento, como se mencionó en la sección 4.2.1.2.5, el Fondo de Protección Ambiental tiene como objetivo apoyar iniciativas de organizaciones sociales e instituciones chilenas sin fines de lucro, a través del financiamiento total o parcial de proyectos o actividades orientados a la protección o reparación del medio ambiente, el desarrollo sustentable, la preservación de la naturaleza o la conservación del patrimonio ambiental. El concurso de Gestión Ambiental Local tiene como objetivo *“Apoyar proyectos de carácter comunitario y asociativo, los cuales deben reconocer y aportar a resolver un problema ambiental, contribuyendo a mejorar la calidad ambiental del territorio, generando mayor conciencia y valoración del entorno, mejorando la calidad de vida, e incorporando y promoviendo la educación ambiental y la participación ciudadana.”* Pueden postular las siguientes organizaciones:

- Organizaciones Comunitarias Territoriales o Funcionales
- Corporaciones o Fundaciones
- Comunidades Agrícolas y Asociaciones Gremiales
- Organizaciones No Gubernamentales ONG

El financiamiento es entre \$4.000.000 y \$5.000.000 y pueden desarrollarse proyectos en torno a la gestión de los residuos, cambio climático o biodiversidad. Durante el año 2019 se pudo apreciar un alto interés desde la ciudadanía frente a la gestión de los residuos, 30 de los 77 proyectos adjudicados en el Concurso de Gestión Ambiental Local, correspondieron a esta línea temática, existiendo proyectos enfocados específicamente en la gestión de residuos orgánicos. Estos proyectos tienen un gran impacto en la ciudadanía en torno a la educación ambiental, sin embargo, no se confirma la permanencia de éstos ya que el financiamiento se realiza durante 6 meses, se recomienda un seguimiento en torno a los proyectos de valorización de residuos orgánicos, dando a conocer las experiencias exitosas existentes en torno a este tema.

#### 4.2.2.5 Operarios a cargo de la recolección de RO y la planta de valorización

Como se mencionó anteriormente en la sección 4.2.1.2.6 a partir del SCAM, en los diferentes niveles de certificación se exigen ciertas acciones en torno a los RRHH, como por ejemplo la elaboración de planes de capacitación diferentes temas, incluyendo residuos, educación ambiental, gestión ambiental local, mediación ambiental, consumo responsable, entre otros. El municipio podría aprovechar esta línea de acción para incorporar a los operarios a cargo de la recolección de RO y/o la planta de valorización de RO pese a que puedan ser de empresas externas.

#### 4.2.3 Objetivos y acciones para cada actor según proceso

A continuación, se presentan los objetivos, las acciones y los contenidos recomendados en el ámbito de la educación ambiental para cada sistema de manejo para valorizar residuos orgánicos y cada actor involucrado en la implementación de éstos.

##### 4.2.3.1 Separación en origen

###### 4.2.3.1.1 Educación a funcionarios municipales y autoridades

###### a. Objetivo

Municipios con herramientas para ejecutar programas de separación en origen en sus comunas.

###### b. Acciones

- Concientizar a funcionarios municipales de todas las áreas sobre los impactos que conllevan los residuos generados en cada hogar, dando a conocer las alternativas de manejo y sus impactos.
- Visibilizar la temática de residuos desde una perspectiva positiva, identificando oportunidades de mejora, promoviendo el conocimiento de experiencias exitosas, generando espacios de discusión y difusión a través del reconocimiento de buenas prácticas y de iniciativas asociadas a I+D+i (Innovación, Desarrollo e investigación), entre otros.
- Entregar herramientas a los funcionarios municipales para formular proyectos enmarcados en la obtención de insumos para facilitar la separación en origen (por ejemplo, contenedores domiciliarios).
- Capacitar a funcionarios municipales en el asesoramiento hacia la comunidad cuando surjan dudas respecto al modo de separar sus residuos orgánicos.
- Orientar a funcionarios municipales en la elaboración de un Plan Anual de Educación Ambiental que priorice la separación en origen de los residuos orgánicos en los establecimientos educacionales.

###### 4.2.3.1.2 Educación a ciudadanía

###### a. Objetivo

Ciudadanos conscientes con el impacto de la generación de sus residuos orgánicos y comprometidos con la separación éstos en origen.

b. Acciones

- Abordar la educación ambiental desde la perspectiva formal y no formal a través de las distintas herramientas del Estado, generando conciencia en la ciudadanía y formando habilidades prácticas sobre el desarrollo sostenible, promoviendo cambios conductuales que estén en armonía con el desarrollo social, el crecimiento económico y el cuidado del medio ambiente, incentivando conductas acordes con la prevención y valorización de residuos orgánicos.
- Concientizar a la ciudadanía sobre los residuos que se generan en el hogar, identificando sus impactos, de acuerdo con el tratamiento realizado.
- Concientizar a la ciudadanía sobre los beneficios de la prevención y valorización de residuos, en búsqueda de la generación de cambios de conducta.
- Entregar conocimiento a la ciudadanía sobre los residuos orgánicos que se pueden valorizar, dependiendo de la tecnología aplicada.

#### 4.2.3.1.3 Educación a comunidad escolar

a. Objetivo

Comunidad escolar comprometida con la separación de los residuos orgánicos generados en el establecimiento educacional.

b. Acciones

- Entregar herramientas para destacar la temática ambiental existente en el currículum nacional, planes y programas de estudio del establecimiento e incorporar prácticas ambientales en la gestión de los recursos y el quehacer educativo del establecimiento.
- Promover la interacción del establecimiento educativo con su entorno inmediato (dimensión económica, social-ambiental y cultural), logrando como resultado que el establecimiento sea un actor proactivo e integrante de redes de cooperación para la intervención en el territorial local.
- Capacitar a los docentes en la elaboración de un Programa de gestión de residuos orgánicos domiciliarios, que incorpore acciones de reducción y/o reciclaje de residuos.
- Capacitar a los funcionarios de las empresas a cargo de proveer alimentos en el establecimiento educacional (quioscos, casinos, entre otros) sobre la separación en origen de los residuos orgánicos.
- Dar a conocer a la comunidad que se relaciona con el establecimiento (apoderados, entorno del establecimiento educacional, entre otros) las gestiones realizadas en torno a la separación en origen de los residuos orgánicos, informando sobre sus beneficios.

#### 4.2.3.2 Valorización domiciliaria

##### 4.2.3.2.1 Educación a funcionarios municipales y autoridades

###### a. Objetivo

Municipios capaces de implementar programas de valorización domiciliaria de residuos orgánicos, otorgando las herramientas necesarias para su implementación desde la ciudadanía.

###### b. Acciones

- Capacitar a funcionarios municipales en la formulación de proyectos de valorización domiciliaria de residuos orgánicos, pudiendo financiar capacitaciones y adquisición de composteras, vermicomposteras, entre otras tecnologías.
- Dar a conocer a los funcionarios municipales sobre las nuevas tecnologías enmarcadas en la valorización domiciliaria de residuos orgánicos, conociendo sus ventajas y desventajas.
- Capacitar a funcionarios municipales en el asesoramiento a la comunidad cuando surjan dudas sobre el uso de la tecnología aplicada en la valorización de los residuos orgánicos a nivel domiciliario.
- Promover la comunicación a través de diferentes medios de comunicación, como por ejemplo Fono-ayuda, grupos de WhatsApp, Facebook. Entre otros, para lograr cubrir los diferentes tipos de beneficiario.

##### 4.2.3.2.2 Educación a líderes ambientales comunitarios

###### a. Objetivo

Constitución de un órgano participativo para la gestión de los residuos orgánicos domiciliarios, cuyos principios fundamentales deberán ser la responsabilidad, la colaboración, la prevención y el seguimiento hacia los ciudadanos.

###### b. Acciones

- Designar líderes ambientales en cada territorio donde se realizaría valorización de residuos orgánicos por origen.
- Concientizar a los líderes ambientales sobre el impacto positivo que genera en el medio ambiente la gestión sustentable de residuos.
- Capacitar a líderes ambientales en profundidad respecto a la valorización de los residuos orgánicos a nivel domiciliario.
- Capacitar a líderes ambientales en el asesoramiento a la comunidad cuando surjan dudas respecto al uso de la tecnología aplicada a la valorización de los residuos orgánicos a nivel domiciliario.

##### 4.2.3.2.3 Educación a la ciudadanía

###### a. Objetivo

Ciudadanos conscientes del impacto de la generación de sus residuos y comprometidos con el tratamiento de los residuos orgánicos en origen.

###### b. Acciones

- Abordar la educación ambiental desde la perspectiva formal y no formal, a través de las distintas herramientas del Estado, generando conciencia en la ciudadanía y formando habilidades prácticas sobre el desarrollo sostenible, promoviendo cambios conductuales que estén en armonía con el desarrollo social, el crecimiento económico y el cuidado del medio ambiente, incentivando conductas acordes con la prevención y valorización de residuos orgánicos en origen, para generar cambios de conducta.
- Concientizar a la ciudadanía sobre los residuos que se generan en el hogar, identificando los impactos que generan.
- Entregar conocimiento a la ciudadanía sobre los residuos que se pueden valorizar, y las alternativas tecnológicas disponibles.

#### 4.2.3.2.4 Educación a comunidad escolar

##### a. Objetivo

Comunidad escolar comprometida con el tratamiento en origen de los residuos orgánicos generados en el establecimiento educacional.

##### b. Acciones

- Entregar herramientas para destacar la temática ambiental existente en el currículum nacional, planes y programas de estudio del establecimiento e incorporar prácticas ambientales en la gestión de los recursos y el quehacer educativo del establecimiento.
- Promover la interacción del establecimiento educativo con su entorno inmediato (dimensión económica, social-ambiental y cultural), logrando como resultado que el establecimiento sea un actor proactivo, e integrante de redes de cooperación para la intervención en el territorial local.
- Colaborar en la implementación de un punto verde que incluya la valorización de residuos orgánicos como composteras o vermicomposteras, utilizándolo como un recurso pedagógico en las diversas asignaturas.
- Capacitar a los docentes en la elaboración de un Programa de gestión de residuos sólidos domiciliarios, que incorpore acciones de reducción, reutilización y/o reciclaje de residuos orgánicos.
- Dar a conocer a la comunidad que se relaciona con el establecimiento (apoderados, entorno del establecimiento educacional, entre otros) las gestiones realizadas en torno a la valorización *in situ* de los residuos orgánicos, dando a conocer los beneficios de esto.

#### 4.2.3.3 Valorización comunitaria

##### 4.2.3.3.1 Educación a funcionarios municipales y autoridades

##### a. Objetivo

Municipios capaces de implementar programas de valorización comunitaria de residuos orgánicos, otorgando las herramientas necesarias para su implementación desde la ciudadanía.

##### b. Acciones

- Capacitar a funcionarios municipales en la formulación de proyectos de valorización de residuos orgánicos a mediana escala, pudiendo financiar capacitaciones y adquisición de composteras, vermicomposteras, entre otras tecnologías.
- Dar a conocer a los funcionarios municipales sobre las nuevas tecnologías enmarcadas en la valorización a mediana escala de residuos orgánicos, conociendo sus ventajas y desventajas.
- Capacitar a funcionarios municipales en el asesoramiento a la comunidad cuando surjan dudas respecto al uso de la tecnología aplicada en la valorización de los residuos orgánicos a nivel domiciliario.
- Colaborar en el fortalecimiento del liderazgo de las Juntas de Vecinos, potenciando su carácter territorial representativo de las personas que residen en una misma unidad vecinal.

#### 4.2.3.3.2 Educación a Juntas de Vecinos

##### a. Objetivo

Juntas de Vecinos empoderadas en la gestión ambiental, conscientes del impacto de los residuos orgánicos generados en los hogares y comprometidos con la separación y valorización de los residuos orgánicos generados por la comunidad.

##### b. Acciones

- Fortalecer el vínculo entre las juntas de vecinos y la municipalidad, principalmente con el área de medio ambiente, aseo y ornato.
- Concientizar a los representantes de las juntas de vecinos sobre el impacto positivo que genera en el medio ambiente la gestión sustentable de los residuos orgánicos.
- Capacitar a las juntas de vecinos en profundidad respecto a la valorización comunitaria de los residuos orgánicos.
- Entregar herramientas a las juntas de vecinos, como organización comunitaria, en la postulación de fondos y formulación de proyectos de valorización de residuos orgánicos a mediana escala, pudiendo financiar capacitaciones y adquisición de composteras, vermicomposteras, entre otras tecnologías.
- Capacitar a representantes de las juntas de vecinos en el asesoramiento a la comunidad cuando surjan dudas respecto al uso de la tecnología aplicada en la valorización de los residuos orgánicos a nivel domiciliario.

#### 4.2.3.3.3 Educación a ciudadanía

##### a. Objetivo

Ciudadanos organizados, conscientes con el impacto de la generación de sus residuos y comprometidos con el tratamiento de los residuos orgánicos en el territorio.

##### b. Acciones

- Abordar la educación ambiental desde la perspectiva formal y no formal, a través de las distintas herramientas del Estado, generando conciencia en la ciudadanía y formando habilidades prácticas sobre el desarrollo sostenible, promoviendo

cambios conductuales que estén en armonía con el desarrollo social, el crecimiento económico y el cuidado del medio ambiente, incentivando conductas acordes con la prevención y valorización de residuos orgánicos en origen.

- Concientizar a la ciudadanía sobre los beneficios de la prevención y valorización de residuos, para generar cambios de conducta, identificando los impactos que generan.
- Entregar conocimiento a la ciudadanía sobre los residuos que se pueden valorizar, dependiendo de la tecnología aplicada.
- Fortalecer el compromiso de la ciudadanía con el territorio, colaborando en la gestión en el tratamiento de los residuos orgánicos generados en la comunidad.
- Promover la comunicación a través de diferentes medios de comunicación, como por ejemplo Fono-ayuda, grupos de WhatsApp, Facebook. Entre otros, para lograr cubrir los diferentes tipos de beneficiario.

#### 4.2.3.4 Recolección diferenciada

##### 4.2.3.4.1 Educación a funcionarios municipales y autoridades

###### a. Objetivos

Municipios capaces de implementar programas de recolección diferenciada de residuos orgánicos, otorgando las herramientas necesarias para su implementación a la ciudadanía.

###### b. Acciones

- Capacitar a funcionarios municipales en la formulación de proyectos de recolección diferenciada, pudiendo financiar capacitaciones e insumos.
- Dar a conocer a los funcionarios municipales sobre las nuevas tecnologías para fomentar la recolección diferenciada y la valorización de residuos orgánicos a gran escala, conociendo las ventajas y desventajas de cada una.
- Capacitar a los funcionarios a cargo de la formulación de las especificaciones técnicas de las licitaciones enmarcadas en la gestión de los residuos para lograr que las empresas adjudicadas deban colaborar en el servicio de recolección diferenciada.
- Capacitar a funcionarios municipales en el asesoramiento a la comunidad sobre la operación de la recolección diferenciada de los residuos orgánicos.
- Fortalecer el vínculo entre los operarios encargados de la recolección de los residuos y el área de medio ambiente, aseo y ornato, colaborando en la recolección de los residuos orgánicos.

##### 4.2.3.4.2 Educación a operarios encargados de la recolección de los residuos orgánicos

###### a. Objetivo

Operarios de recolección comprometidos con el programa de gestión de los residuos orgánicos y con conocimiento sobre buenas prácticas ambientales y de seguridad.

###### b. Acciones

- Dar a conocer a los operarios de recolección diferenciada sobre las nuevas tecnologías para la valorización de residuos orgánicos a gran escala, conociendo las ventajas y desventajas de cada una.
- Capacitar a funcionarios municipales en el asesoramiento a la comunidad sobre la operación de la recolección de los residuos orgánicos.
- Fortalecer el vínculo entre los operarios encargados de la recolección de los residuos y el área de medio ambiente, aseo y ornato.

#### 4.2.3.4.3 Educación a ciudadanía

##### a. Objetivo

Ciudadanos organizados, conscientes del impacto de la generación de sus residuos y comprometidos con la entrega de los residuos orgánicos de manera diferenciada para su correcta valorización.

##### b. Acciones

- Abordar la educación ambiental desde la perspectiva formal y no formal, a través de las distintas herramientas del Estado, generando conciencia en la ciudadanía y formando habilidades prácticas sobre el desarrollo sostenible, promoviendo cambios conductuales que estén en armonía con el desarrollo social, el crecimiento económico y el cuidado del medio ambiente, incentivando conductas acordes con la prevención y valorización de residuos orgánicos en origen.
- Concientizar a la ciudadanía sobre los beneficios de la prevención y valorización de residuos, para generar cambios de conducta, identificando los impactos que generan.
- Entregar conocimiento a la ciudadanía sobre los residuos que se pueden valorizar, dependiendo de la tecnología aplicada en el territorio.
- Informar a toda la ciudadanía sobre el *modus operandi* de la recolección diferenciada de los residuos orgánicos.
- Promover la comunicación a través de diferentes medios de comunicación, como por ejemplo Fono-ayuda, grupos de WhatsApp, Facebook. Entre otros, para lograr cubrir los diferentes tipos de beneficiario.

#### 4.2.3.4.4 Educación a comunidad escolar

##### a. Objetivo

Comunidad escolar comprometida con la entrega de los residuos orgánicos generados en el establecimiento educacional de manera correcta.

##### b. Acciones

- Entregar herramientas para destacar la temática ambiental existente en el currículum nacional, planes y programas de estudio del establecimiento.
- Entregar herramientas para incorporar prácticas ambientales en la gestión de los recursos y el quehacer educativo del Establecimiento.
- Promover la interacción del establecimiento educativo con su entorno inmediato (dimensión económica, social-ambiental y cultural), logrando como resultado que

el establecimiento sea un actor proactivo, e integrante de redes de cooperación para la intervención en el territorial local.

- Entregar conocimiento a la comunidad escolar sobre los residuos que se pueden valorizar, dependiendo de la tecnología aplicada en el territorio.
- Informar a la comunidad escolar sobre el *modus operandi* de la recolección de los residuos orgánicos.

#### 4.2.3.5 Valorización centralizada

##### 4.2.3.5.1 Educación a funcionarios municipales y autoridades

###### a. Objetivo

Municipios capaces de implementar programas de recolección diferenciada de residuos orgánicos y su valorización de manera centralizada, otorgando las herramientas necesarias para su implementación desde la ciudadanía.

###### b. Acciones

- Entregar herramientas a los funcionarios municipales para tener una estimación sobre la cantidad y tipología de residuos orgánicos generados en la comuna.
- Dar a conocer a los funcionarios municipales las nuevas tecnologías para la valorización de residuos orgánicos a gran escala, conociendo las ventajas y desventajas de cada una.
- Capacitar a funcionarios municipales en la formulación de proyectos de instalación y operación de plantas de compostaje a gran escala.
- Capacitar a los funcionarios a cargo de la formulación de las especificaciones técnicas de las licitaciones para la gestión de los residuos orgánicos.
- Fortalecer el vínculo entre los operarios de la planta de compostaje y el área de medio ambiente, aseo y ornato, colaborando en lo que sea necesario.

##### 4.2.3.5.2 Educación a operarios de la planta de valorización centralizada

###### a. Objetivo

Operarios comprometidos con el programa de valorización centralizada.

###### b. Acciones

- Dar a conocer a los funcionarios municipales sobre las nuevas tecnologías para la valorización de residuos orgánicos a gran escala, conociendo las ventajas y desventajas de cada una.
- Fortalecer el vínculo entre los operarios de la planta de compostaje, el área de medio ambiente, aseo y ornato del municipio.
- Capacitar a los operarios en profundidad respecto de todos los aspectos técnicos y operativos que involucran la operación de una planta de estas características.
- Capacitar a los operarios en todos los aspectos relativos a medio ambiente, salud y seguridad.

### 4.3 Generación y gestión de proyectos

Tal como se indicó anteriormente, una de las necesidades identificadas de mayor importancia también es contar con una unidad de asistencia técnica que tenga la capacidad de generar y gestionar proyectos para acelerar su implementación en el corto plazo junto a las municipalidades, además de acompañar y monitorear su operación. Esta unidad de asistencia técnica debiera también coordinar acciones de educación ambiental y fortalecimiento de capacidades asociadas a la cartera de proyectos que impulse. Adicionalmente, esta unidad debiera entregar orientación a los municipios respecto de ajustes normativos que se pueden implementar a nivel local con el fin de promover una valorización eficiente y eficaz de los residuos orgánicos.

De acuerdo con la información recabada en este estudio, se ha podido identificar una falta de capacidades técnicas y conocimiento específico al interior del sector público para abordar adecuadamente la problemática generada por la deficiente gestión de los residuos orgánicos. Además, existe desconocimiento de las ventajas y desventajas de las distintas opciones de solución, que van desde la implementación de programas para reducir la generación de residuos orgánicos hasta criterios básicos para la selección de las mejores tecnologías disponibles para la valorización de residuos orgánicos con viabilidad en el contexto local.

Bajo este contexto, esta sección presenta recomendaciones respecto de la implementación y funciones que esta unidad de asistencia técnica debiera desempeñar para ayudar eficazmente en la planificación, preparación e implementación de proyectos que mejoren sustantivamente la gestión de residuos orgánicos en Chile.

#### 4.3.1 Implementación de la unidad de asistencia técnica

La Ley 19.300 establece en el Artículo 70, letra r que: “el Ministerio de Medio Ambiente podrá establecer convenios de colaboración con gobiernos regionales y municipalidades destinados a adoptar las medidas necesarias para asegurar la integridad, conservación y reparación del medio ambiente regional y local, así como la educación ambiental y la participación ciudadana. Cuando dichos convenios contemplen transferencia de recursos, deberán contar con la autorización del *Ministerio de Hacienda*.” Basado en este artículo, el Ministerio de Medio Ambiente podría crear una unidad de asistencia técnica que colabore con las entidades territoriales para apoyar el desarrollo de proyectos de valorización de residuos, toda vez que estas iniciativas contribuirían al cumplimiento de los objetivos de protección ambiental que la Ley impone al Ministerio de Medio Ambiente.

Esta unidad podría ubicarse al interior de la oficina de economía circular del Ministerio de Medio Ambiente y desde allí coordinarse con el resto de los servicios involucrados en la evaluación, preparación y financiamiento de proyectos de manejo de residuos sólidos, tales como SUBDERE y MIDESO. Adicionalmente, esta unidad técnica debe coordinarse a nivel regional con un profesional de la SEREMI de Medio Ambiente, encargado de ser la conexión con el Gobierno Regional y los municipios. Este profesional sería el responsable de involucrarse en los procesos de planificación a nivel regional con el fin de incorporar el desarrollo de proyectos de valorización de residuos orgánicos como parte de las líneas de acción regional. Además, sería el responsable de realizar el levantamiento de la cartera de proyectos y apoyar su avance hasta la etapa de implementación.

El detalle de las áreas de trabajo que deben ser ejecutadas por la unidad de asistencia técnica y los apoyos regionales se describen a continuación.

#### 4.3.2 Áreas de trabajo de la unidad de asistencia técnica

Todo programa de valorización de residuos orgánicos debe contar con una infraestructura adecuada como elemento central para viabilizar las iniciativas. No obstante, la mera existencia de infraestructura por supuesto no garantiza el alcance de las metas de largo plazo en términos de reducción y valorización de residuos orgánicos. Por lo tanto, además de fomentar la construcción de infraestructura es necesario asegurar que existen las capacidades técnicas a lo largo de la cadena de valor que maximicen los beneficios derivados de la presencia de las inversiones físicas. Adicionalmente, un adecuado sistema de monitoreo y seguimiento ayuda a garantizar que de manera permanente se observen y atiendan las necesidades de ajuste y mejoramiento que derivan de la implementación de los proyectos de gestión de residuos orgánicos.

La unidad de asistencia técnica debiese tener distintas áreas de trabajo enfocadas en apoyar a las municipalidades en el desarrollo de estrategias e iniciativas para reducir el desperdicio y promover el desvío de material orgánico de los sitios de disposición final. Es decir, esta unidad de asistencia técnica debiera promover una combinación de actividades "aguas arriba" que identifiquen formas de mantener los materiales fuera del flujo de residuos por completo y, "aguas abajo", con actividades para manejar los residuos orgánicos de manera sustentable. Otra área crítica implica la divulgación y educación relacionada con la creación de una gestión de residuos sostenible hacia el futuro.

Adicionalmente, para asegurar un buen desempeño de largo plazo de las iniciativas es necesario medir permanentemente los resultados de los programas y servicios, instalaciones y mejoras de infraestructura. En base a esto, se identifican las siguientes 4 áreas de trabajo como las principales que la unidad de asistencia técnica debiera cumplir:

- Asistencia para el desarrollo, en base a metas, de planes y programas de largo plazo;
- Asistencia técnica para la instalación de infraestructura;
- Asistencia legal para la generación de normativa de fomento local;
- Fortalecimiento de capacidades del sector público y educación y sensibilización ciudadana.

##### 4.3.2.1 Asistencia para el desarrollo, en base a metas, de planes y programas de largo plazo

La unidad de asistencia técnica con el fin de proveer apoyo a lo largo de todo el proceso de implementación de los planes y programas para la adecuada gestión de residuos orgánicos debiera entregar recomendaciones para desarrollar, mejorar y expandir dichos instrumentos. Este apoyo debiera promover en los distintos niveles de planificación territorial, una gestión de calidad para los residuos orgánicos y al mismo tiempo incentivar la reducción de la cantidad de residuos generados y eliminados.

Para disminuir paulatinamente la dependencia respecto de los sitios de disposición final y a la vez asegurar una sostenibilidad futura de la gestión de residuos, los planes de gestión integral de residuos a nivel regional y municipal necesitan ser mejorados y expandidos de manera constante con el fin de tender a maximizar la cantidad de residuos desviados de la disposición final. Para este fin, la unidad de asistencia podría entregar directrices y recomendaciones en áreas tales como:

- Ordenamiento territorial
- Evaluación de alternativas de valorización
- Planificación operativa de largo plazo
- Asistencia para la creación de proyectos asociativos que optimicen el uso de los recursos.

#### 4.3.2.2 Asistencia técnica para la instalación de infraestructura

El proceso de desarrollo e implementación de proyectos de prevención y valorización de orgánicos cuenta con las siguientes etapas principales: Preinversión, inversión y operación.

La etapa de preinversión se enfoca en analizar las distintas alternativas de acción y tratamiento de acuerdo con las condiciones locales. En base a los siguientes antecedentes básicos, se pueden analizar y comparar las alternativas que bajo una perspectiva técnica, económica, ambiental y social representen los máximos beneficios para la municipalidad o grupo de municipalidades:

- Generación y composición de residuos orgánicos domiciliarios
- Generación y composición de residuos orgánicos municipales no domiciliarios
- Disponibilidad de terrenos aptos para la construcción y operación de una planta de valorización de residuos orgánicos
- Disposición de la comunidad para realizar separación en origen
- Disposición de la comunidad para realizar compostaje domiciliario, comunitario o centralizado
- Recaudación municipal para gestión de residuos sólidos
- Gasto municipal para gestión de residuos sólidos
- Fuentes de financiamiento disponibles (para preinversión, inversión y operación)
- Capacidades técnicas existentes en el municipio y a nivel local

Dado que los avances tecnológicos son permanentes y los modelos de implementación variados, es recomendable mantener cierta flexibilidad en la determinación de la mejor alternativa tecnológica para cada caso en particular, permitiendo la presentación de propuestas competitivas que entreguen distintas opciones, siempre resguardando que se cumpla con los criterios de costo, eficiencia, y protección del medio ambiente, entre otros.

Una vez que la definición técnica de la mejor alternativa de inversión está zanjada, la etapa siguiente, es gestionar el financiamiento para la construcción de las obras y con ello avanzar a la etapa de inversión. Sin embargo, previo a la solicitud de fondos, es necesario

desarrollar un perfil de proyecto, lo suficientemente robusto que permita avanzar a la etapa de financiamiento e inversión. En esta etapa, es quizás donde el aporte de la unidad de asistencia técnica cobra mayor relevancia, porque se esperaría que, dadas las competencias técnicas especializadas, sumadas a la experiencia acumulada que la unidad irá adquiriendo, debiera contar con diseños de proyectos tipo, de acuerdo con las distintas realidades existentes en el país. El desarrollo de este banco de proyectos, que utilizan modelos de implementación y alternativas tecnológicas, relativamente estandarizadas, contribuiría a acelerar el proceso de gestión de proyectos e inclusive generar economías de escala que disminuirían los costos actuales de preinversión e inversión.

Para las etapas de construcción, puesta en marcha y operación, incluyendo el monitoreo y mejoramiento continuo, esta unidad de asistencia técnica, también podría prestar apoyo a los gobiernos regionales en tareas tales como: evaluación técnica de propuestas; selección de mejores alternativas tecnológicas; ajustes derivados de la puesta en marcha; acompañamiento y recomendaciones de mejora para la fase de operación y gestión de información y reporte.

#### 4.3.2.3 Asistencia legal para la generación de normativa de fomento local

Con el fin de mejorar las condiciones de entorno relacionadas con la implementación de planes y programas para la reducción y adecuada valorización de residuos orgánicos, en la sección de financiamiento e incentivos, se indicaron algunas recomendaciones de instrumentos normativos que se podrían aplicar a nivel local. En esa dirección, la unidad de asistencia técnica podría contar con una capacidad especializada en materia legal, para:

- Asesorar a los municipios en el mejoramiento de ordenanzas existentes o creación de nuevas normas locales.
- Generar ordenanzas modelo que puedan servir de base para que los gobiernos locales desarrollen las propias ajustándolas a la realidad local.

La asistencia técnica de un equipo legal especializado en materias de gestión de residuos podría acelerar la implementación de estos instrumentos a nivel local, mejorarlos de manera permanente y dar mayor certeza a las autoridades y ciudadanos respecto de la eficiencia y eficacia de las medidas implementadas. Adicionalmente, contar con capacidad profesional especializada en esta materia a nivel central representaría una eficiencia en el uso de los recursos fiscales y ayudaría a mantener las estrategias de implementación locales dentro de un marco coherente y más o menos homogéneo a lo largo del país.

#### 4.3.2.4 Fortalecimiento de capacidades del sector público y educación y sensibilización ciudadana

Como se ha mencionado a lo largo del estudio, las capacidades y el conocimiento de todos los actores involucrados en el proceso de implementación de proyectos deben ser fortalecidas permanentemente. A pesar de la existencia de iniciativas puntuales para el fortalecimiento de capacidades del sector público en materia de gestión de residuos, sería recomendable contar con un apoyo permanente y sistemático en esta materia que no solo

permita como país avanzar a un nivel básico de gestión de residuos orgánicos, sino que ir más allá y promover la innovación y la creación de modelos de implementación eficientes y acordes con nuestras necesidades y realidades.

A pesar de que contamos con una exitosa y robusta plataforma de promoción de educación ambiental a nivel de colegios, aún queda pendiente educar con más fuerza y cobertura a otros actores relevantes tales como ciudadanos, comunidad empresarial en tanto generadores y proveedores de productos y servicios y servicios públicos relacionados indirectamente con la gestión de residuos orgánicos.

La unidad de asistencia técnica podría cumplir las siguientes tareas en este ámbito:

- Generar y mantener una base consensuada y validada de conocimiento para facilitar y estandarizar la creación de capacidades a lo largo del país en base a criterios y objetivos comunes.
- Divulgación continua de materias relativas a la gestión de residuos orgánicos en Chile actuando como una unidad de apoyo para la multiplicación de conocimiento a través de los entes territoriales con quien pudiera interactuar.
- Apoyar técnicamente a la División de Educación Ambiental y Participación Ciudadana en la provisión de material para distintos públicos objetivo, con el fin de promover el adecuado manejo de los residuos orgánicos.
- Facilitar y promover la investigación y desarrollo en materia de gestión de residuos orgánicos, coordinando la colaboración entre la academia, sector público y sector privado.

## 5 Bibliografía

Ab Jalil, NA., Basri, H., Ahmad Basri, NE., Abushammala, MFM. (2015). The potential of biodrying as pre-treatment for municipal solid waste in Malaysia. J. Adv. Rev. Sci. Res. 2015; 7:1-13.

Almeida, D. R. (2010). Estudio de la co-digestión anaeróbica de desechos orgánicos agroindustriales. AVANCES, vol. 2, Págs. C12-C17.

Anchundia, G., y Ruiz, B. (2012). Implementación de un biodigestor, para la utilización y aprovechamiento de los residuos generados en las actividades productivas del camal municipal de Manta. Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, Ecuador. Disponible en: [https://www.academia.edu/15157818/UNIVERSIDAD\\_LAICA\\_ELOY\\_ALFARO\\_DE\\_MANAB%C3%8D](https://www.academia.edu/15157818/UNIVERSIDAD_LAICA_ELOY_ALFARO_DE_MANAB%C3%8D)

Arcadis. (2017). Análisis Técnico y Económico de Alternativas Tecnológicas para el Tratamiento de Residuos Orgánicos para la Municipalidad de Viña Del Mar.

Arce, J. (2011). Diseño de un Biodigestor para generar biogás y abono a partir de desechos orgánicos de animales aplicable en las zonas agrarias del litoral. Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, Ecuador. Recuperado [en 18 de noviembre de 2019] desde [en línea]: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1593/15/UPS-GT000209.pdf>

Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). (2014). Biodigestores de pequeña escala. Un análisis práctico sobre su factibilidad. Recuperado [en 18 de noviembre de 2019] desde [en línea]: <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-biodigestor-familiar.pdf>

Aranda, C. (2019). Análisis de Transformaciones Limpias de Residuos Orgánicos en Composteras Domésticas de Calidad. Recuperado [en 18 de noviembre de 2019] desde [en línea]: [https://www.researchgate.net/profile/Cesar\\_Aranda\\_Castillo/publication/331562706\\_Analisis\\_de\\_Transformaciones\\_Limpias\\_de\\_Residuos\\_Organicos\\_en\\_Composteras\\_Domesticas\\_de\\_Calidad/links/5c80aeb9458515831f8b3611/Analisis-de-Transformaciones-Limpias-de-Residuos-Organicos-en-Composteras-Domesticas-de-Calidad.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Cesar_Aranda_Castillo/publication/331562706_Analisis_de_Transformaciones_Limpias_de_Residuos_Organicos_en_Composteras_Domesticas_de_Calidad/links/5c80aeb9458515831f8b3611/Analisis-de-Transformaciones-Limpias-de-Residuos-Organicos-en-Composteras-Domesticas-de-Calidad.pdf)

Banco Mundial. (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Recuperado [en 25 de noviembre] desde [en línea]: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>

Bolívar, H., y Ramírez, E. (2012). Propuesta para el diseño de un biodigestor para el aprovechamiento de la materia orgánica generada en los frigoríficos de Bogotá. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

Bukhmirov, VV., Kolibaba, OB. y Gabitov, RN. Experimental research of solid waste drying in the process of thermal processing. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering; Octubre 2015. p. 012006. Recuperado [en 16 de noviembre de 2019] desde [en línea]: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/93/1/012006/pdf>

Corporación de Fomento a la Producción (CORFO). (2018). Programa de Transformación Tecnológica, Energética y Ambiental para el segmento PyME de la Industria Porcina. Proyectos “La Islita”, “Chorombo”: “El Guindo”, “Paine” y “Pelarco”, “Los Castaños”, y “Santa Francisca”

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, GIZ. 2012. Digestato como fertilizante. Recuperado [en 26 de diciembre de 2019] desde [en línea]: [https://www.digestate-as-fertilizer.com/Download/Digestato\\_como\\_fertilizante.pdf](https://www.digestate-as-fertilizer.com/Download/Digestato_como_fertilizante.pdf)

Diario Oficial de la República de Chile. (1992). Ley N° 18.695. Orgánica Constitucional de Municipalidades. Recuperado [en 26 de diciembre de 2019] desde [en línea]: <http://bcn.cl/1uwcvc>

Diario Oficial de la República de Chile. (1994). Ley N° 19.300, Sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Recuperado [en 18 de diciembre de 2019] desde [en línea]: <http://bcn.cl/1ux38>

Diario Oficial de la República de Chile. (2016). Decreto Supremo 119/2016. Reglamento de Seguridad de las plantas de biogás e introduce modificaciones al reglamento de instalaciones de gas.

Diario Oficial de la República de Chile. (2016). Ley N° 20.920, Establece marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje. Recuperado [en 18 de diciembre de 2019] desde [en línea]: <http://bcn.cl/1vy3u>

Diario Oficial de la República de Chile. (2018). Ley N°21.125 Ley de Presupuestos del Sector Público año 2019, p. 106. Recuperado [en 18 de diciembre de 2019] desde [en línea]: [http://www.dipres.gob.cl/598/articles-187231\\_doc\\_pdf.pdf](http://www.dipres.gob.cl/598/articles-187231_doc_pdf.pdf)

Díaz, J., Gómez, C., Herrera, F. y Echavarría, M. (2013). Rediseño y optimización de un dispositivo de compostaje a pequeña escala para ser utilizado en proyectos de agricultura urbana. Recuperado [en 18 de noviembre de 2019] desde [en línea]: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5085351.pdf>

Elnaas, A., Belherazem, A., Müller, W., Nassour, A. y Nelles, M., (2015). Biodrying for mechanical biological treatment of mixed municipal solid waste and potential for RDF production. In: 3RD International Conference on Sustainable Solid Waste Management, Tinos, Greece.

Espey, S. (2001). Renewables portfolio standard: a means for trade with electricity from renewable energy sources?. Energy Policy., 29, 557.

Evangelou, A., Gerassimidou, S., Mavrikis, N., Komilis, D. (2016). Monitoring the performances of a real scale municipal solid waste composting and a biodrying facility using respiration activity indices. Environ. Monit. Assess. p.188:302.

Fernández, J. (2010). Tesis doctoral: Optimización de la digestión anaeróbica seca de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) en reactores en fases de temperatura. Facultad de Ciencias, Departamento de Ingeniería Química y Tecnología de

Alimentos. Recuperado [en 18 de noviembre de 2019] desde [en línea]: [https://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/15833/Tes\\_2011\\_02.pdf?sequence=1](https://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/15833/Tes_2011_02.pdf?sequence=1)

Gabril, P. (2019). New Mexico's Renewable Portfolio Standard: Analysis of Existing Policy Design Elements and Compliance Obligations Beyond 2020. Legal Studies Research Paper Series.

Garzón, M. (2011). Estudio de un biodigestor generador de gas metano mediante abono orgánico para prácticas de energías alternativas en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.

Gobierno Regional Metropolitano de Santiago y Ministerio de Energía. (2018). Estudio de Factibilidad de una Planta Waste to Energy para la Región Metropolitana – ID 1261-5-LP17. Recuperado [en 18 de noviembre de 2019] desde [en línea]: <http://www.minenergia.cl/autoconsumo/wp-content/uploads/2018/06/Informe-Final-Estudio-WTE-RM-2018.pdf>

Guardado, J. (2007). Diseño y Construcción de plantas de biogás sencillas. Ciudad de la Habana, Cuba: CUBASOLAR. Recuperado [en 18 de noviembre de 2019] desde [en línea]: [https://www.academia.edu/27601045/Dise%C3%B1o\\_y\\_construcci%C3%B3n\\_de\\_plantas\\_de\\_biog%C3%A1s\\_sencillas](https://www.academia.edu/27601045/Dise%C3%B1o_y_construcci%C3%B3n_de_plantas_de_biog%C3%A1s_sencillas)

Guerrero, L., Huilñir, C., Montalvo, S. y Barahona, A. (2019). Tratamiento anaerobio de residuos. Fundamentos y avances en la producción de biogás.

Haug, R.T. (1993). The Practical Handbook of Compost Engineering. Lewis Publishers. Boca Raton. Florida.

He P.J., Shao ZH., Zhang DQ. y Shao LM. (2009). Bio-stabilization of municipal solid waste prior to landfill: Environmental and economic assessment. III International Symposium MBT and MRF. Waste-to-Resources; 2009. Recuperado [en 8 de noviembre de 2019] desde [en línea]: <https://pdfs.semanticscholar.org/e051/4b0f39fac9b55791a3ae538f5deac11c3311.pdf>

International Solid Waste Association, How to Design an Appropriate Waste Fee: Principles, Practices and Applications of Waste Management Fees. Noviembre, 2011.

Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (INE). (2017). 2da Entrega Resultados Definitivos Censo 2017. Recuperado [en 10 de noviembre de 2019] desde [en línea]: [http://www.censo2017.cl/wp-content/uploads/2018/05/presentacion\\_de\\_la\\_segunda\\_entrega\\_de\\_resultados\\_censo2017.pdf](http://www.censo2017.cl/wp-content/uploads/2018/05/presentacion_de_la_segunda_entrega_de_resultados_censo2017.pdf)

Instituto Nacional de Normalización (INN). (2015). Norma Chilena 2880. Compost – Requisitos de calidad y clasificación.

Instituto Nacional de Normalización (INN). (2016). Norma Chilena 3381. Gestión de residuos – Plantas de digestión anaeróbica – Consideraciones para el diseño y operación. Jaimovich, O., Acevedo, F., Badell, N. E., Cerdá, A., Hardoy, E., y Vallarino, J. M. (2015). Tratamiento de residuos cloacales con Biodigestores. Buenos Aires, Argentina. Recuperado [en 24 de noviembre de 2019] desde [en línea]: [http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini\\_2015/trabajos/A047\\_COINI2015.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini_2015/trabajos/A047_COINI2015.pdf)

Jaramillo, G. y Zapata, L. (2008). Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia. Tesis de especialización, Facultad de Ingeniería Ambiental esp. Gestión ambiental; Universidad de Antioquia, Colombia. Recuperado [en 22 de noviembre de 2019] desde [en línea]: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>

Madejón, E., Díaz, M.J., López, R., Cabrera, F. (2002). New approaches to establish optimum moisture content for compostable materials. *Biores. Technol.* 2002; 85: 73-78. Recuperado [en 16 de noviembre de 2019] desde [en línea]: <https://europepmc.org/abstract/med/12146647>

Marcelo, D. y Viera, J. (2017). Proyecto de implementación de sistemas biodigestores para el aprovechamiento de residuos orgánicos generados por usuarios residenciales en la región Piura. En E. Carrera (Dir.), I Congreso Internacional de Ingeniería y Dirección de Proyectos III Congreso Regional IPMA – LATNET, (pp. 231-243). Recuperado [en 16 de noviembre de 2019] desde [en línea]: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4097/Proyecto\\_implementation\\_sistemas\\_biodigestores\\_para\\_aprovechamiento\\_residuos\\_organicos\\_generados\\_usuarios\\_residenciales\\_region\\_Piura.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4097/Proyecto_implementation_sistemas_biodigestores_para_aprovechamiento_residuos_organicos_generados_usuarios_residenciales_region_Piura.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ministerio de Desarrollo Social (MIDESO). (2013). Metodología de formulación y evaluación socioeconómica de proyectos de valorización de residuos municipales. Recuperado [en 30 de diciembre de 2019] desde [en línea]: <http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/download/valorizacion-de-residuos/?wpdmdl=905>

Ministerio de Energía, Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT). (2015). Medición del consumo nacional de leña y otros combustibles sólidos derivados de la madera. Recuperado [en 16 de noviembre de 2019] desde [en línea]: [http://dataset.cne.cl/Energia\\_Abierta/Estudios/Minerg/MEDICI%C3%93N%20DEL%20CONSUMO%20NACIONAL%20DE%20LE%C3%91A%20Y%20OTROS%20COMBUSTIBLES%20S%C3%93LIDOS%20DERIVADOS%20DE%20LA%20MADERA.pdf](http://dataset.cne.cl/Energia_Abierta/Estudios/Minerg/MEDICI%C3%93N%20DEL%20CONSUMO%20NACIONAL%20DE%20LE%C3%91A%20Y%20OTROS%20COMBUSTIBLES%20S%C3%93LIDOS%20DERIVADOS%20DE%20LA%20MADERA.pdf)

Ministerio del Medio Ambiente. (2009). Política de Educación Ambiental para el Desarrollo Sustentable. Recuperado [en 18 de diciembre de 2019] desde [en línea]: <http://sustentabilidad.umce.cl/wp-content/uploads/2016/10/Politica-Nacional-EA-EDS-2012-1.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente y Universidad de Magallanes. (2012). Manual de compostaje para zonas frías. Recuperado [en 17 de diciembre de 2019] desde [en línea]: <https://drive.google.com/file/d/1DKhD1dtFf9jPVYO3WrEpRbSvXwrhJhA9/view>

Ministerio del Medio Ambiente (2017). Educación Ambiental. Una mirada desde la institucionalidad ambiental chilena. Recuperado [en 17 de diciembre de 2019] desde [en línea]: [https://educacion.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/09/LIBRO-EDUCACION-AMBIENTAL-final\\_web.pdf](https://educacion.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/09/LIBRO-EDUCACION-AMBIENTAL-final_web.pdf)

Ministerio del Medio Ambiente (2017). Manual del Sistema de Certificación Ambiental Municipal. Recuperado [en 17 de diciembre de 2019] desde [en línea]: <https://educacion.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/07/MANUAL-SCAM-2017.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente. (2018). Manual Programa Escuelas Sustentables. Recuperado [en 17 de diciembre de 2019] desde [en línea]: <https://sncae.mma.gob.cl/docs/manual/Manual-Programa%20Escuelas%20Sustentables-2018.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente. (2019). Resultados XXII Concurso de Fondo de Protección Ambiental 2019. Recuperado [en 17 de diciembre de 2019] desde [en línea]: [http://fpa.mma.gob.cl/anexos/Proyectos\\_Seleccionados\\_FPA2019.V.2.pdf](http://fpa.mma.gob.cl/anexos/Proyectos_Seleccionados_FPA2019.V.2.pdf)

Ministerio de Salud de Chile. (1999). Decreto Supremo 594: Condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo. Recuperado [en 17 de diciembre de 2019] desde [en línea]: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=167766>

Municipalidad de Rapa Nui. (2018). Informe 3 – Línea Base. Programa Comunal de Compostaje RSD de la comuna de Isla de Pascua. Octubre 2018.

Muñoz-Pedrerros, A. (2014). La Educación en Chile, una tarea aún pendiente. Recuperado [en 22 de noviembre de 2019] desde [en línea]: <http://www.scielo.br/pdf/asoc/v17n3/v17n3a11.pdf>

Negoi, RM., Ragazzi, M., Apostol, T., Rada, EC. y Marculescu, C. (2009). Biodrying of Romanian municipal solid waste: An analysis of its viability. UPB Sci. Bull. Ser. C 2009; 71:193-204. Recuperado [en 22 de noviembre de 2019] desde [en línea]: [https://www.researchgate.net/publication/235425774\\_Bio-drying\\_of\\_romanian\\_municipal\\_solid\\_waste\\_An\\_analysis\\_of\\_its\\_viability](https://www.researchgate.net/publication/235425774_Bio-drying_of_romanian_municipal_solid_waste_An_analysis_of_its_viability)

Nogales, R., Domínguez, J. y Mato, S. (2008). Vermicompostaje. En: Moreno, J. y Moral, R. (Eds.). Compostaje. pp. 187-207. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

Oficina de Estudios y Políticas Agraria (ODEPA). (2018). Desarrollo rural. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Recuperado [en 22 de noviembre de 2019] desde [en línea]: <https://www.camara.cl/pdf.aspx?prmID=150330&prmTIPO=DOCUMENTOCOMISION>

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI). (2017). Biogás en el sector lechero en Chile. Recuperado [en 26 de diciembre de 2019] desde [en línea]: <http://www.minenergia.cl/autoconsumo/wp-content/uploads/2018/08/Guia-Biogas-sector-lechero-2018.pdf>

Organización económica para la cooperación y el desarrollo económico (OCDE) y comisión económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2016). Evaluaciones del Desempeño Ambiental: Chile 2016 (Publicaciones OECD), p.25.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2013). Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Recuperado [en 03 de diciembre de 2019] desde [en línea]: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2014). Biogás Comunitario. Recuperado [en 22 de noviembre de 2019] desde [en línea]: <http://www.fao.org/publications/card/es/c/727681b8-559e-4bdf-a753-92cef2199e21/>

Poggio, D. (2007). Diseño y construcción de dos digestores anaeróbicos en el altiplano andino peruano. Universitat Politècnica de Catalunya, España. Recuperado [en 18 de noviembre de 2019] desde [en línea]: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/4109>

Poggio, D., Prado, M., Martí, I. y Velo, E. (2010). Biodigestores de bajo coste para climas andinos. Recuperado [en 18 de noviembre de 2019] desde [en línea]: [https://www.researchgate.net/publication/44898990\\_Adaptacion\\_de\\_biodigestores\\_tubulares\\_de\\_plastico\\_a\\_climas\\_frios](https://www.researchgate.net/publication/44898990_Adaptacion_de_biodigestores_tubulares_de_plastico_a_climas_frios)

Practical Action - The Schumacher Centre for Technology and Development. (2007). Technical Brief: Solar Drying. Recuperado [en 18 de noviembre de 2019] desde [en línea]: <http://biorealis.com/OMV/files/SolarDrying.pdf>

Ragazzi, M., Rada, E.C., Panaitescu, V., y Apostol, T. (2007). Municipal solid waste pretreatment: A comparison between two dewatering options. WIT Trans. Ecol. Environ. 2007; 102:943-949. Recuperado [en 16 de noviembre de 2019] desde [en línea]: <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/SDP07/SDP07090FU2.pdf>

Reciclo Orgánicos. (s.f.). Manual de Compostaje. Compostaje: una herramienta para combatir el cambio climático.

Red de Biodigestores para Latinoamérica y el Caribe. (2012). Estudio de factibilidad para un programa nacional de biogás doméstico en Bolivia. Disponible en: [http://redbiolac.org/biblioteca/PNB\\_Bolivia\\_factibilidad\\_2012](http://redbiolac.org/biblioteca/PNB_Bolivia_factibilidad_2012)

Red Española de Compostaje. (2014). Vermicompostaje: procesos, productos y aplicaciones III.5. Ediciones Paraninfo, S.A.

Röven, E. (2002). Manual de compostaje para municipios. Recuperado [en 18 de noviembre de 2019] desde [en línea]: <http://www.resol.com.br/Cartilha7/ManualCompostajeparaMunicipios.pdf>

Robles-Martínez F., Silva-Rodríguez E.M., Espinosa-Solares T., et al. (2012). Biodrying under greenhouse conditions as pretreatment for horticultural waste. J. Environ. Prot. 2012; 3:298-303. Recuperado [en 16 de noviembre de 2019] desde [en línea]: [https://www.researchgate.net/publication/268335929\\_Biodrying\\_under\\_Greenhouse\\_Conditions\\_as\\_Pretreatment\\_for\\_Horticultural\\_Waste](https://www.researchgate.net/publication/268335929_Biodrying_under_Greenhouse_Conditions_as_Pretreatment_for_Horticultural_Waste)

Salamanca, J. (2009). Diseño, Construcción y Puesta en Marcha de un Biodigestor a Escala Piloto para la Generación de Biogás y Fertilizante Orgánico. Universidad de San Francisco de Quito, Ecuador. Recuperado [en 13 de noviembre de 2019] desde [en línea]: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/740>

Servicio Agrícola Ganadero. (2014). Reseña de la vegetación de Chile, Servicio Agrícola y Ganadero. Recuperado [en 18 de diciembre de 2019] desde [en línea]: [http://www.sag.cl/sites/default/files/la\\_flora\\_de\\_chile\\_continental\\_5f\\_junio\\_2014\\_final2.pdf](http://www.sag.cl/sites/default/files/la_flora_de_chile_continental_5f_junio_2014_final2.pdf)

Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE). (2018). Estudio de factibilidad del funcionamiento de tecnologías que procesen residuos sólidos domiciliarios, asimilables y otros – ID 761-49-LP18.

Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE) a través del Programa Nacional de Residuos Sólidos. (2018). Diagnóstico de la situación por comuna y por región en materia de RSD y asimilables. Recuperado [en 28 de noviembre de 2019] desde [en línea]: <http://www.subdere.gov.cl/documentacion/diagn%C3%B3stico-y-catastro-de-rsd-%C3%B1o-2017>

Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE). (2018). Guía Operativa del Programa Nacional de Residuos Sólidos. Resolución Exenta N° 9187/2018. Recuperado [en 18 de noviembre de 2019] desde [en línea]: [http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos/guia\\_operativa\\_pnr-res.ex . 9187 de 2018.pdf](http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos/guia_operativa_pnr-res.ex . 9187 de 2018.pdf)

Tun, M. y Juchelková, D. (2018). Drying methods for municipal solid waste quality improvement in the developed and developing countries: A review. Environmental Engineering Research.; 10.4491/eer.327. Recuperado [en 18 de noviembre de 2019] desde [en línea]: [https://www.researchgate.net/publication/329452255\\_Drying\\_methods\\_for\\_municipal\\_solid\\_waste\\_quality\\_improvement\\_in\\_the\\_developed\\_and\\_developing\\_countries\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/329452255_Drying_methods_for_municipal_solid_waste_quality_improvement_in_the_developed_and_developing_countries_A_review)

Vanegas, D. (2018). Utilización de compostaje tradicional y vermicompostaje como estrategia para la implementación de agricultura urbana en Altos del Pino, Cazucá. Recuperado [en 18 de noviembre de 2019] desde [en línea]: [https://ciencia.lasalle.edu.co/cqi/viewcontent.cqi?article=1799&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cqi/viewcontent.cqi?article=1799&context=ing_ambiental_sanitaria)

Vásquez, O. y Loli, O. (2018). Compost y vermicompost como enmiendas en la recuperación de un suelo degradado por el manejo de *Gypsophila paniculata*. vol.9, n.1, pp.43-52. ISSN 2077-9917. Recuperado [en 17 de diciembre de 2019] desde [en línea]: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6504607>

Velis, CA., Longhurst, PJ., Drew, GH., Smith, R. y Pollard, SJ. (2009). Biodrying for mechanical-biological treatment of wastes: A review of process science and engineering. Bioresour. Technol.; 100:2747-2761. Recuperado [en 18 de noviembre de 2019] desde [en línea]: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19216072>

Villegas-Cornelio, C. y Laines, J. (2017). Vermicompostaje: avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. Recuperado [en 18 de noviembre de 2019] desde [en línea]: <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v8n2/2007-0934-remexca-8-02-393-en.pdf>

Wiser, R., Porter, K. y Grace, R. (2004). Evaluating Experience with Renewable Portfolio Standards in the United States. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California Berkeley.

Yuan, J., Zhang, D., Li, Y., et al. (2017) Effects of adding bulking agents on biostabilization and drying of municipal solid waste. *Waste Manage.*; 62:52-60.

Zhang, DQ., He, PJ., Yu, LZ., y Shao, LM. (2009). Effect of inoculation time on the bio-drying performance of combined hydrolytic-aerobic process. *Bioresour. Technol.*; 100:1087-1093. Recuperado [en 19 de noviembre de 2019] desde [en línea]: [https://www.researchgate.net/publication/23300302\\_Effect\\_of\\_inoculation\\_time\\_on\\_the\\_bio-drying\\_performance\\_of\\_combined\\_hydrolytic-aerobic\\_process](https://www.researchgate.net/publication/23300302_Effect_of_inoculation_time_on_the_bio-drying_performance_of_combined_hydrolytic-aerobic_process)