



Curso
**Gestión de Residuos
para Funcionarios
Municipales**

MÓDULO 1:

**INTRODUCCIÓN A LA GESTIÓN DE RESIDUOS:
VISIÓN GLOBAL, NACIONAL Y REGIONAL**

UNIDAD 3:

**ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PARA LA VALORIZACIÓN
DE RESIDUOS Y VALORIZACIÓN ENERGÉTICA**



1. CONCEPTOS IMPORTANTES A CONSIDERAR

1.1 Valorización: 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 y la valorización energética. (Ley 20.920, 2016)

1.2 Preparación para la reutilización: Acción de revisión, limpieza o reparación, mediante la cual productos o componentes de productos desechados se acondicionan para que puedan reutilizarse sin ninguna otra transformación previa. (Ley 20.920, 2016)

1.3 Reciclaje: Empleo de un residuo como insumo o materia prima en un proceso productivo, incluyendo el coprocesamiento y compostaje, pero excluyendo la valorización energética. (Ley 20.920, 2016)

1.4 Valorización energética: Empleo de un residuo con la finalidad de aprovechar su poder calorífico. (Ley 20.920, 2016)

1.5 Instalación de recepción y almacenamiento: Lugar o establecimiento de recepción y acumulación selectiva de residuos, debidamente autorizado. (Ley 20.920, 2016)

2. CANTIDAD DE RESIDUOS Y DE RECICLAJE EN LA REGIÓN METROPOLITANA

En el primer reporte de manejo de residuos sólidos en Chile del Ministerio del Medio Ambiente, año 2010, se estima que la región generó, en el año 2009, un total de 2.807.247 toneladas de residuos municipales, es decir, residuos de origen domiciliario, comercio, oficinas, escuelas y limpieza de calles, entre otros. En concordancia con lo anterior, el Informe de Gestión y Valorización de Residuos Sólidos, realizado por la Seremi del Medio Ambiente de la Región Metropolitana el año 2012, estimó que la región disponía 2.885.254 toneladas de residuos en destinatarios autorizados durante el año 2011, por lo tanto, en dos años hubo un incremento de un 2,78% en cuanto a la generación y disposición de residuos en la Región Metropolitana. Sin consideramos este aumento en la generación de residuos domiciliarios y lo proyectamos hasta el año 2020, la cantidad de residuos generados alcanzaría los 4.000.000 de toneladas al año, es decir, cerca de 11.000 toneladas de residuos al día, lo cual es preocupante si reconocemos que la proyección de la vida útil de los rellenos sanitarios es limitada, como se indica en el mismo informe. (SEREMI del Medio Ambiente Región Metroplotina, 2018)

Las principales variables que influyen en el aumento en la generación de residuos, están dadas por el crecimiento de la población, el aumento del poder adquisitivo, los patrones de consumo y la actividad económica. No obstante, el aumento en la generación de residuos no es proporcional con el aumento en las tasas de reciclaje, por lo menos así lo demuestran los datos mostrados en la siguiente tabla 1, en la cual se indica que entre los años 2011 y 2013, el porcentaje de residuos que se recicla se mantuvo en el orden del 11%. (SEREMI del Medio Ambiente Región Metroplotina, 2018)

Tipo de residuos	Año 2011 (ton)	%	Año 2013 (ton)	%
Domiciliarios	2.885.254	76,5%	3.064.423	74,72%
Asimilables a domiciliarios	446.877	11,9%	571.782	13,94%
Reciclaje	438.620	11,6%	464.937	11,34%
Total	3.770.751	100%	4.101.142	100%

Tabla 1. Cifras por tipo de residuos

Fuente: Bases Técnicas Seremi del Medio Ambiente Región Metropolitana

3. TIPOS DE TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO PARA LA VALORIZACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS (GESCAM, 2016)

3.1 Compostaje

3.1.1 ¿Qué es?

El proceso de compostaje se puede definir como una oxidación biológica que ocurre bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y aireación. Los microorganismos (bacterias, hongos y actinomicetos) utilizan el carbono y nitrógeno disponibles en los residuos orgánicos, liberando energía por la actividad metabólica y produciéndose gracias a una serie de reacciones bioquímicas, agua, anhídrido carbónico y sales minerales.

Dentro del proceso de compostaje uno de los factores más importantes es la relación carbono/nitrógeno (C/N). El carbono proporciona una fuente de energía y además constituye aproximadamente el 50% de la masa de células microbianas¹. El nitrógeno es un componente crucial de las proteínas, de los ácidos nucleicos, aminoácidos, enzimas y de las coenzimas necesarias para el crecimiento y la funcionalidad de la célula. Una célula bacteriana típica tiene de 12 a 15% de nitrógeno (en peso seco)². A nivel práctico, el porcentaje de nitrógeno es un indicador de la velocidad de descomposición y permite una determinación del tiempo de compostaje, siempre y cuando las condiciones de humedad, aireación y temperatura sean las óptimas. Una relación C/N inicial de 25 a 30 se considera como adecuada para iniciar el proceso³.

El compost posee un gran valor agronómico, utilizándose como enmienda orgánica en el suelo, con el fin de mejorar su estructura, como fertilizantes orgánicos y como sustrato para la producción de plantas, entre otros usos. El compost producido en una planta de compostaje se puede utilizar como abono o como tierra humus para variadas aplicaciones como; agricultura, silvicultura, reforestación, jardinería, producción de filtros biológicos, entre otros.

El compost tiene variadas propiedades que ayudan al mejoramiento de los suelos, las cuales se pueden categorizar en:

Físicas	El compost posee baja densidad y baja resistencia mecánica ⁴ . Esto permite que su aplicación a los suelos, mejore las propiedades físicas de estos, pues se favorece la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola, reduce la densidad aparente, aumenta la porosidad y permeabilidad y aumenta la capacidad de retención de agua, obteniendo suelos más esponjosos.
Biológicas	El compost incentiva la actividad biológica en el suelo, debido al aporte de nutrientes requerido por los microorganismos, actúa como soporte y alimento de los microorganismos que viven a expensas del humus y que contribuyen a su mineralización.
Nutricionales	La acción nutriente del compost se desarrolla directa e indirectamente. En forma directa, suministra a los suelos los tres elementos básicos NPK (Nitrógeno, Fosforo y Potasio), en porcentajes relativamente pequeños. En forma indirecta, al actuar como biofertilizante favorece la utilización por las plantas de los fertilizantes químicos y evita las pérdidas por lixiviación de las formas solubles de nitrógeno.

Tabla 2. Propiedades del compost.
Fuente: (GESCAM, 2016)

¹ Brock T. Y Madigan M., Biología de los Microorganismos, Prentice Hall, 6° Ed.1991, 1069 Pp.
² Ídem.
³ Corporación Tecnológica de Chile (Intec), Manual de Compostaje, Santiago, Chile 1997.
⁴ VARNERO, M. T. Desarrollo de Substratos Orgánicos: Compost y Bioabonos. En: Experiencias internacionales en la rehabilitación de espacios degradados. Departamento de Manejo de Recursos Forestales. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. Publicaciones Miscelâneas Forestales N° 3. Santiago, Chile. 2001.

3.1.2 Proceso

Durante el proceso de compostaje se diferencian a grandes rasgos, dos fases, la descomposición y la maduración, cuya separación se hace evidente sobre todo por una variación de la temperatura del proceso⁵.

3.1.2.1 Fase de descomposición

Llamada también fase de compostaje, se caracteriza por una gran actividad de los microorganismos. En ella se distinguen tres periodos:

Período Mesófilo: corresponde a la digestión por parte de la población microbiana de los carbohidratos y sacáridos de bajo peso molecular. La temperatura óptima para esta fase es de 35°C aproximadamente acompañado con un pH bajo entre 4,5 y 5,5. Sin embargo, como consecuencia de la actividad metabólica de los microorganismos, la temperatura se eleva considerablemente alcanzando a los pocos días los 40° C.

Período Termófilo: la actividad de descomposición es llevada a cabo por microorganismos termófilos, los cuales descomponen las proteínas y carbohidratos superiores más difíciles de degradar. Existe un aumento del pH, por acumulación de amoníaco, llegando a valores entre 8 y 9 producto de la descomposición de proteínas y compuestos nitrogenados. Las temperaturas van desde los 40 a 70°C. Normalmente en esta etapa, se logran destruir semillas de malezas, esporas de hongos y algunas fitotoxinas que, de no ser destruidas, significarían un problema al adicionar el compost al suelo⁶.

Período de enfriamiento: En este período, conforme los materiales se consumen, ocurre una disminución de la temperatura hasta alcanzar la del medio ambiente, producto de la disminución de la actividad microbiológica. El residuo se convierte en un compuesto estable con un importante contenido de nutrientes, entre ellos nitrógeno (N) en forma de nitritos, fósforo (P) y potasio (K), los cuales le dan al compost, la característica de acondicionador de suelos.

3.1.2.2 Fase de estabilización o maduración

Esta constituye una etapa de síntesis y polimerización, en la cual se producen sustancias de tipo húmicas en forma predominante. La actividad de los microorganismos disminuye, pues disponen de poco material biodegradable, predominan los microorganismos mesófilos y aparece la mesofauna.

Los tres periodos de la fase de descomposición tienen lugar en un tiempo relativamente corto (de días a semanas), pero la fase de madurez requiere periodos mayores (meses). La etapa final de la maduración a temperatura ambiente oscurece el material y apenas produce olor alguno a causa de las transformaciones que ha sufrido su materia orgánica⁷, cuya calidad como compost va a depender del control de factores que inciden directamente el proceso de descomposición o afectan a los microorganismos involucrados en él, como son: la humedad, aireación, temperatura, pH, relación C/N y el tamaño de las partículas.

3.1.2.3 Experiencias Nacionales

En el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) han ingresado 69 proyectos de compostaje, de los cuales 31 han sido aprobados. Estos corresponden principalmente a compostaje de guanos o purines, como también mortalidades (de la piscicultura).

La empresa KDM presentó su proyecto de compostaje de RSD al SEA, el cual fue aprobado en 2007⁸.

⁵ BROCA, L. (2003), Compostaje. Revista Perspectiva Ambiental. Fundación Terra Barcelona, España. N° 29. Disponible en: <http://www.ecoterra.org/subcat.php?cat=3&subcat=3&lang=es>

⁶ AVENDAÑO, D. El Proceso de Compostaje. Memoria para optar al Título de Ingeniero Agrónomo. Departamento de Fruticultura y Enología. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 2003.

⁷ ROCA, L., 2003.

⁸ <https://www.kdm.cl/index.html>

3.2 Compostaje en Contenedor Cerrado

3.2.1 ¿Qué es?

Existe en el mercado internacional una gran variedad de técnicas para compostar residuos orgánicos vegetales en contenedores que poseen un sistema de ventilación positiva que permite dosificar oxígeno de forma pareja al material y negativa para extraer los gases que son tratados en un biofiltro. El espacio físico que se requiere para llevar a cabo este proceso es considerablemente menor al de las pilas de aireación en especial cuando se trata de grandes volúmenes y por lo mismo se considera una gran alternativa para el problema de falta de espacio en las ciudades densamente habitadas.

El sistema, dependiendo de las cantidades a tratar, puede diseñarse con contenedores con capacidades de almacenar 20 o 40 toneladas. Dichos contenedores son llenados con residuos orgánicos vegetales o animales y son cerrados durante 20 días. En dicho período se monitorea la temperatura del contenido y se airea para estimular a las bacterias encargadas de compostar el material, optimizando de esta forma el proceso de descomposición.

Al utilizarse un sistema cerrado, los olores y lixiviados que pudieran generarse en el proceso de degradación son recolectados y tratados de tal forma que se prevengan impactos negativos en cuanto a la emisión de gases.

En la figura 1 se puede apreciar contenedores de 40 toneladas en una planta.



Figura 1. Tecnología de compostaje NaturTech, 2015.
Fuente: Renewable Carbon Management LLC.

3.2.2. Proceso

Este proceso de compostaje consta de las siguientes etapas:

- 1) Mezclado y carga de los digestores: etapa en que se mezcla los residuos orgánicos juntos con algún otro material estructurante, obteniendo una materia prima con un nivel de mezcla y porosidad suficiente para ser cargados a los digestores y dar comienzo al tratamiento.
- 2) Aireación: sistema de aireación automatizado de acuerdo a las características de la alimentación, de manera de llevar un proceso controlado durante 21 días por lo general.

3) Enfriamiento y descarga: En un batch de 21 días, el material orgánico puede ser retirado y puesto de nuevo en el digestor en el día 7 aprox., de manera de mejorar su condición de aireación.

4) Maduración: se estima conveniente que exista un período de maduración del compost, de manera que el producto alcance las propiedades de secado acorde a la normativa vigente.

5) Cribado o Mezclado para distintos tipos de sustrato: etapa de post procesamiento en donde se adecua el compost a las condiciones en que el cliente lo requiere.

3.2.3. Experiencias internacionales

Renewable Carbon Management LLC (RCM) ha desarrollado su tecnología en Norteamérica con un total de 14 instalaciones, con diferentes capacidades de tratamiento. Incluso, han desarrollado un proyecto de tratamiento de 500 kilos/día en agosto del 2001 en Beijing, China. La tabla 3 a continuación señala algunos casos exitosos de plantas funcionando con la tecnología NaturTech.

Lugar	Capacidad de Tratamiento	Años de Implementación
Dodge County, Minnesota	10 ton/día	1994
Hutchinson, Minnesota	4-6 ton /día	1995
Washington	27 ton/día	1997
Manhattan, New York	1 ton/día	1997
Rio Rancho, New Mexico	7 ton/día 24 ton/día	2005 2009
Iowa	1 ton/día	2006
Beltsville, MD	6 ton/día 60 ton/día	2007 2011

Tabla 3. Experiencia de la empresa Renewable Carbon Management LLC, 2015.

Fuente: Renewable Carbon Management LLC.

Bighanna es otra empresa desarrolladora de esta tecnología que opera a nivel mundial, con más de 900 instalaciones de contenedores alrededor del mundo es un importante referente en materia de compostaje. Esta empresa posee representación en Chile.

Te invitamos a indagar más sobre esta tecnología explorando las fichas técnicas de sus contenedores en el siguiente link: http://www.bighanna.com/e_prod/

3.3 Vermicompostaje

3.3.1 ¿Qué es?

El Vermicompostaje o Lombricultura es un proceso biotecnológico que permite degradar y estabilizar residuos orgánicos bajo condiciones aerobias y mesófilas mediante la acción metabólica y física de ciertas especies de lombrices de tierra, que al alimentarse de residuos orgánicos aceleran su degradación microbiana. Así, en este proceso se aprovecha la capacidad detritívora de las lombrices, que ingieren, trituran y digieren el residuo orgánico, descomponiéndolo mediante la acción de sus enzimas digestivas y de la microflora aeróbica y anaeróbica presente en el interior de su intestino⁹.

⁹ Manuel Fernández G. (2011) Aplicación de la tecnología del Vermicompostaje para la valorización agronómica de residuos y desechos de cultivos de invernadero. Granada, España. pp 44-76.

3.3.2 Proceso

Las lombrices son capaces de ingerir una cantidad de residuos que oscila entre el 50% y 100% de su propio peso¹⁰, dependiendo de las características de los residuos, las condiciones físico químicas del suelo y del tipo de lombriz. Este proceso conlleva a que la digestión de la lombriz reduzca en hasta un 50% el volumen total de los residuos¹¹ a la vez que incrementa su superficie de contacto, facilitando la colonización microbiana de los residuos excretados¹² acelerando su degradación. A su vez, el sistema digestivo de la lombriz es capaz de alterar la composición química de los residuos, incrementando la concentración de nutrientes que promueven la proliferación de microorganismos que finalizan el proceso de degradación¹³.

Por otra parte, y de forma indirecta, la propia acción mecánica del movimiento de la lombriz al interior de los canales edáficos, facilita la aireación estimulando su biooxidación promoviendo su degradación. A su vez, el mucus y las secreciones propias de la lombriz son entendidos como sustancias de fácil asimilación para los microorganismos degradadores de materia orgánica, por lo cual ayudan a su proliferación.

De esta forma las lombrices tienen un impacto directo e indirecto sobre las características físicas y químicas de los residuos orgánicos, provocando una transformación de su microbiota autóctona que tiene como consecuencia una promoción de la proliferación de microorganismos que participan en la degradación de los residuos.

En la figura 2 se sintetiza dicho mecanismo de interacción de las lombrices con el sustrato y con los microorganismos presentes en el.

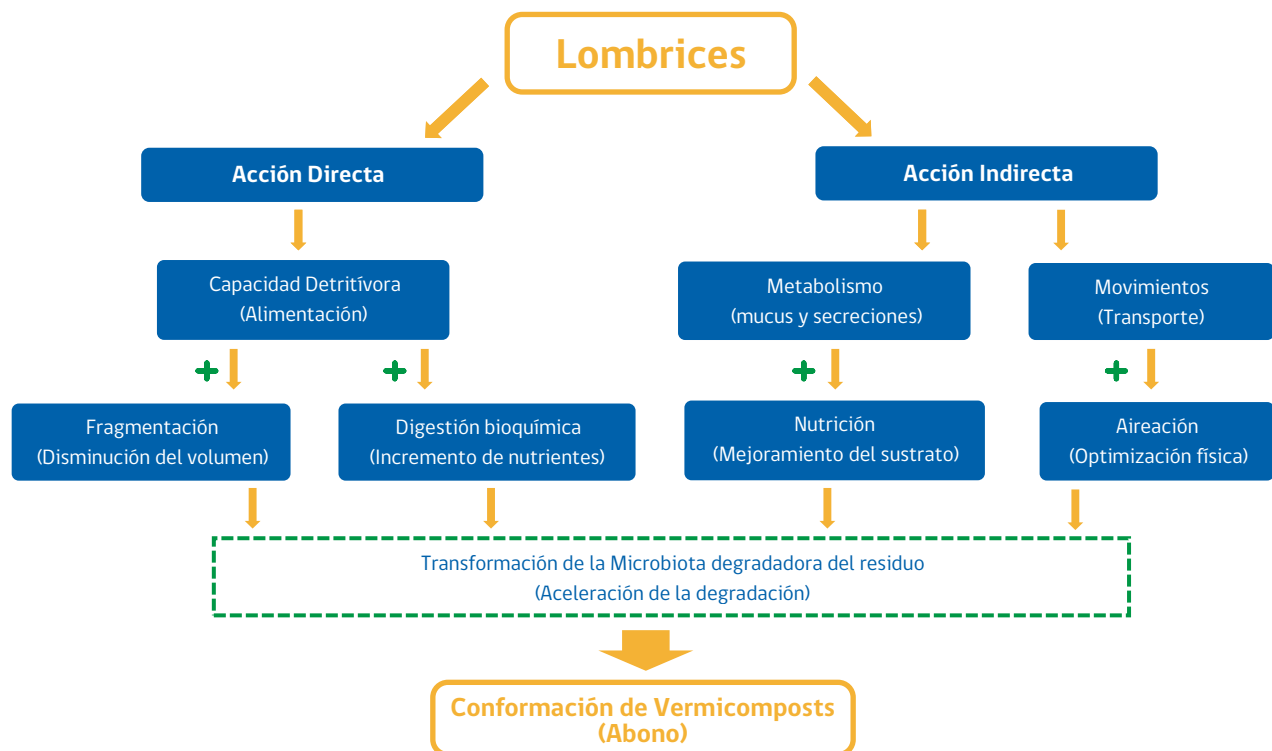


Figura 2. Sistema de interacción de las lombrices con el sustrato.
Fuente: (GESCAM, 2016)

¹⁰ Edwards, C. A. Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earth-worms and earthworms in waste and environmental management. La Haya, Holanda 1988.

¹¹ Manuel Fernández, op. cit.

¹² GRAMA (2015) Manual de Vermicompostaje Disponible en <http://webs.uvigo.es/jdiguez/wp-content/uploads/2012/01/Relationships-between-Composting-and-Vermicomposting.pdf>

¹³ Rajiv K. Sinha, Gokul Bharambe & David Ryan (2008) Converting Wasteland into Wonderland by Earthworms- a low cost nature's technology for soil remediation: a case of study of Vermiremediation of PAHs contaminated soil Disponible en http://www98.griffith.edu.au/dspace/bitstream/handle/10072/23487/55347_1.pdf

Son 8 las principales especies de lombrices utilizadas en el proceso vermicompostaje, sin embargo la más utilizada es una Annelida de clase Oligoqueta de la familia de Lombriciade del genero Lombricus, Eisenia de especie Foetida denominada comúnmente como Lombriz Roja de California (Eisenia foetida), ésta se caracteriza por su color rojizo-purpura y tiene una serie de cualidades para el proceso de vermicompostaje, como son; ser una de las especies que tiene un mayor espectro de resistencia termal (10°C - 35°C)¹⁴, son entendidas una de las especies con mayor rango de tolerancia ante variaciones del sustrato en el cual se desarrollan¹⁵, son comparativamente la lombriz terrestre más voraz, capaces de consumir el equivalente a su propio peso diario y posee un ciclo reproductivo de los más rápidos en comparación con sus pares¹⁶. Véase en tabla 4 algunas características que deben tener los residuos

Humedad	El grado de humedad presente en los residuos orgánicos debe superar el 50% dado que las lombrices poseen un mecanismo de intercambio gaseoso que se realiza a través de su epidermis, implicando que, para que la lombriz cumpla eficientemente con la ingesta de los residuos este parámetro debe ser ajustado a los niveles óptimos de la especie de lombriz utilizada.
pH	La tolerancia del ante este factor es variable para cada especie de lombriz, por lo cual se debe tener en consideración la especie elegida considerado de estas dependerá el grado de productividad de vermicompostaje.
Contenido de carbono y nitrógeno	La relación proporcional entre el carbono y el nitrógeno (C/N) presentes en los residuos se conforma como una de las condicionantes ante el óptimo desarrollo de las lombrices en el sustrato, ésta relación de C/N oscila entre 20 y 30. Cabe destacar que relación no es completamente determinante para el desarrollo de las lombrices sin embargo en niveles muy alejados del optimo, el crecimiento y la reproducción de las lombrices puede ser negativamente influenciado ¹⁷ .
Temperatura	El óptimo termal para que las lombrices mantengan una adecuada tasa de producción y reproducción va a depender de cada especie de lombriz, sin embargo como regla general se define que la temperatura ideal debe oscilar en torno a los 20°C. ¹⁸ .
Estructura	La estructura física del residuo debe permitir el drenado de excedentes de agua y una correcta aireación, ya que las lombrices requieren una concentración de oxígeno aproximada de un 60% ¹⁹ , además de que está esta debe permitir el correcto desplazamiento de las lombrices en el interior del residuo.
Contenido de sales	Las lombrices tienen una baja capacidad de osmorregular las sales que absorben con el agua, por lo que una elevada concentración de éstas en el residuo impediría su ingesta y en niveles elevados es considerado como un factor de fatalidad en las lombrices.
Concentración de amoníaco y amonio	Altas concentraciones de amoníaco en los residuos representan un factor de alta toxicidad para las lombrices, por lo cual es definido como un factor a considerar ante la utilización de sistemas de vermicompostaje. Para este parámetro se recomienda que los niveles de amoníaco y amonio no superen los 0,5mg/g ⁽⁻¹⁾ de sustrato. ²⁰

Tabla 4. Características que deben poseer los residuos orgánicos

¹⁴ Ángel Ramón Rodríguez (enero, 2015) Producción y Calidad de Abono Orgánico por Medio de la Lombriz Roja Californiana (Eisenia Foetida) y su Capacidad Reproductiva.

¹⁵ Jorge Domínguez & Marco Pérez Lozada (2010) Eisenia Fetida y Eisenia Andrei Bouche, 1972 son dos especies diferentes de lombrices de tierra" Acta Zoologica Mexicana. Disponible en: <http://www1.inecol.edu.mx/azm/AZM26-esp%282010%29/AZM-Esp-24-Dominguez-Perez.pdf>

¹⁶ Ángel Ramón Rodríguez. op. cit.

¹⁷ Carlos Manuel Acosta-Duran, Et Al. (2013) Precomposteo de Residuos Orgánicos y su Efecto en la Dinamica Poblacional de Eisenia Foetida, Agronómica Costarricense. Disponible en: http://www.mag.go.cr/rev_agr/v37n01_127.pdf

¹⁸ GRAMA (enero, 2015) op. cit.

¹⁹ Manuel Fernández, op. cit.

²⁰ Ídem

En síntesis, las lombrices son capaces de alimentarse de una gran variedad de residuos orgánicos, sin embargo, algunos materiales retrasan el proceso, fomentando el letargo de las lombrices, minimizando su tasa de reproducción, producir vectores, entre otras consecuencias negativas. Es por esto que de la parte orgánica del residuo se debe evitar añadir grandes cantidades de restos de cítricos (naranjas, limones, pomelo) y las especias y alimentos pesadamente condimentados o aderezados, como quesos o alimentos ácidos que pueden provocar cambios abruptos del pH del sustrato. A su vez los productos cárnicos son de difícil trituración para las lombrices y su lenta degradación los define como elementos propensos a la putrefacción y a la atracción de vectores y patógenos perjudiciales para la lombrices²¹.

3.3.2.1 Algunos ejemplos de Sistemas

Según el sistema con el cual son procesados los residuos por las lombrices se puede distinguir entre los sistemas de vermicompostaje tradicionales y sistemas de vermicompostaje con alimentación continua o flujo continuo²².

3.3.2.1.1 Sistemas de Vermicompostado Tradicional

En estos sistemas, la degradación de los residuos se realiza mediante un evento único de carga o alimentación, de modo que una vez ésta es degradada, todo material el vermicompostado es separado de las lombrices y retirado en su totalidad. De este tipo de sistemas se encuentran los siguientes:

Literas o camellones

Corresponden a espacios rectangulares delimitados con cualquier elemento que sirva de contención para el residuo que va a ser tratado, a la vez que impida el escape de las lombrices (Véase figura 3). Su escala de producción es variable y depende directamente de la cantidad de residuos a tratar, sin embargo independiente de ésta el espesor de los camellones suele ser como máximo de 50 cm, ya que una gran cantidad de residuo apilada genera un incremento de su temperatura además de compactar el material impidiendo el movimiento de la lombriz a través de éste²³.

El sistema funciona mediante la introducción directa de las lombrices sobre el residuo previamente acondicionado. Una vez estabilizado el proceso de degradación del residuo, se forma un camellón contiguo con nuevos residuos que atrae a las lombrices permitiendo la separación de las lombrices y por ende el retiro del residuo vermicompostado.



Figura 3. Camellones utilizados para el Vermicompostaje
Fuente: Registro Fotográfico de Lombrimadrid. 2015.

²¹ GRAMA (enero, 2015) op. cit.

²² Manuel Fernández, op. cit.

²³ Manuel Fernández, op. cit.

Corresponde a un sistema de contención de los residuos, de modo que las lombrices se encuentran ciertamente protegidas de las condiciones ambientales. Su funcionamiento varía según cada receptáculo o contenedor, sin embargo, como regla general se presenta bajo un sistema gemelo de contenedores que facilita la separación de las lombrices una vez finalizado el proceso de degradación (Véase Figura 4). Son utilizados principalmente a pequeñas escalas y sin sistemas de mecanización.



Figura 4. Contenedor utilizado como Vermicompostador
Fuente: Registro Fotográfico de Lombrimadrid. 2015.

3.3.2.1.2 Sistemas de vermicompostaje de alimentación continua

Estos corresponden a sistemas en los cuales se procesa una cantidad continua de residuos orgánicos, definida en función de la productividad de la población de lombrices utilizadas, a la vez que es posible ir retirando el residuo estabilizado del sistema. Dentro de este tipo de sistemas encontramos los siguientes tipos:

Verticales modulares

Estos sistemas están conformados por varias unidades o módulos desmontables interconectados mediante agujeros o canales que permiten el desplazamiento de la lombriz entre ellos (Véase figura 5). Así, este tipo de sistemas permiten diferenciar pisos de degradación intercambiables, logrando una captación continua de residuos. Su escala de aplicación depende directamente de la capacidad del contenedor y su modalidad de funcionamiento sin mecanización limita su utilización a aplicaciones netamente domésticas. Las principales vermicomposteras modulares tiene la capacidad de tratar aproximadamente 250 Gr. diarios de residuos²⁴, por lo que su aplicación a mayor escala aun es bastante lejana.

²⁴ COM postadores (Enero, 2015) Vermicompostaje, cantidades y restos a tratar Disponible en: <http://www.compostadores.com/descubre-el-compostaje/vermicompostaje>



Figura 5. Contenedor modular utilizado como Vermicompostador.
Fuente: Registro Fotográfico de Lombrimadrid. 2015.

Verticales mecanizados

Estos sistemas permiten una alimentación semicontinua de residuos orgánicos sobre la capa superior de un contenedor elevado que posee un sistema mecanizado de descarga del residuo ya estabilizado en la capa inferior (Véase figura 6). Al igual que los sistemas modulares las lombrices ascienden continuamente a medida que van degradando el residuo fresco disponiendo el residuo vermicompostado a su paso. Este tipo de tecnología tiene la capacidad de procesar cantidades considerables de residuos orgánicos en espacios relativamente reducidos. El volumen que este sistema es capaz de tratar, va a depender directamente de las dimensiones del vermireactor, sin embargo, en promedio estos llegan a tratar 5.000 Kg. de residuos por año.²⁵



Figura 6. Vermireactor de alimentación semicontinua
Fuente: Manuel Fernández, op. cit.

²⁵ Composta Red (Julio, 2013) Boletín Trimestral de la Red Estatal de Entidades por el Compostaje Doméstico y comunitario Disponible en: http://www.compostaenred.org/documentacion/Boletines/Boletin14_CompostaenRed_julio13.pdf

De flujo horizontal

Se conforman por un sistema de corredores dispuestos horizontalmente en los cuales se dispone el residuo de modo que las lombrices recorran los corredores de extremo a extremo a medida que van degradando los residuos. Este tipo de sistemas permite una alimentación semicontinua de residuos orgánicos, sin embargo, requiere de una disposición estratégica de éste en los corredores. (Véase figura 7).



Figura 7. Sistema de vermicompostaje de flujo horizontal

Fuente: Manuel Fernández, op. cit.

3.3.3 Experiencias nacionales

Existe el desarrollo de varias iniciativas de menor escala de compostaje, como Humus de Chile, Lombricultura o la Unión de Ganaderos de la Región de la Araucanía y la I. Municipalidad de La Pintana, quienes producen humus de forma particular.

El municipio de Providencia está impulsando un programa de compostaje y vermicompostaje a nivel domiciliario. Los cientos de kits que se han entregado a vecinos de la comuna permiten reciclar los residuos orgánicos que se generen en sus hogares (restos de frutas y verduras y cáscaras de huevo, entre otros) y transformarlos, a través del compostaje, en abono para el jardín.

Revisa mayor información en: <http://www.providencia.cl/reciclaje/reciclaorganico/compostaje-vermicompostaje>

3.3.4 Fermentación anaeróbica

3.3.4.1 ¿Qué es?

En términos generales este proceso consiste en una fermentación de materiales orgánicos (en ausencia de oxígeno) realizada por microorganismos capaces de sobrevivir en este ambiente, por lo que la materia orgánica se transforma a través de una serie de reacciones bioquímicas en un gas cuyos componentes principales son el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂), denominado biogás²⁶. Por lo anterior, la producción de biogás dependerá directamente del tipo de biomasa utilizada, por lo que es importante considerar este factor al momento de evaluar una alternativa, estudiando el tipo de materia prima disponible.

La fermentación anaeróbica se produce naturalmente en diversos ambientes, como los sistemas gastrointestinales de algunos animales (rumen), los sedimentos de los ríos y lagos, también en sistemas controlados como biodigestores, fermentadores anaeróbicos, o en las celdas controladas de los rellenos sanitarios (tecnología probada en rellenos sanitarios).

Este proceso de fermentación a través de biodigestores produce gran cantidad de energía debido al gas metano que se libera en durante la descomposición. A fin de evitar el escape de esta energía a la atmósfera, las plantas de fermentación seca capturan el biogás emitido para generación de energía eléctrica. En otros casos, existen plantas de biogás donde el gas es almacenado y posteriormente usado en la generación de energía eléctrica en una central termoeléctrica en bloque donde también se genera calor.

²⁶ COMISIÓN Nacional de Energía (CNE) y GTZ, Potencial de Biogás, Proyecto Energías Renovables CNE/GTZ, Gobierno de Chile, 2007.

Otro producto resultante del proceso de fermentación corresponde a la de materia orgánica que fue utilizada en el proceso y ya no está en su estado original, sino en un estado de mayor maduración y con menor cantidad de líquidos, denominada digestato, la que puede ser aplicada directamente al suelo como fertilizante o ser utilizada para producir compost o humus.

La cantidad de metano contenido en el biogás varía entre el 50 % a 59 % del total de gas generado²⁷, por lo tanto, de éste factor dependerá la calidad del biogás en términos de producción de electricidad y calor. Mientras más metano posea el biogás mayor será la producción de electricidad o calor.

Esta variación en la cantidad de biogás producido por tonelada de biomasa se debe a la gran variabilidad de materiales orgánicos que pueden ser utilizados en el proceso, los que tendrán distintos factores de emisión de biogás, siendo los más eficientes: maíz, pastos y hierbas, podas agrícolas, RSD municipales, estiércol de ganado, caballos y aves, entre otros.

3.3.4.2 Ejemplos de Sistemas

Los sistemas de digestión o fermentación anaeróbica pueden clasificarse en función de ciertos parámetros, como el régimen de alimentación de la materia prima al reactor, contenido de sólidos en la materia prima y temperatura del proceso.

Existen tres régimen de alimentación de la materia prima al reactor de fermentación²⁸:

3.3.4.2.1 Continuo

Se adiciona la materia orgánica de forma continuada y constante en el fermentador. Se espera un mejor funcionamiento cuando se opera de forma continua, aunque, experiencias a nivel de laboratorio, han obtenido resultados análogos de producción de metano operando en continuo y en semicontinuo.

3.3.4.2.2 Discontinuo

El volumen del reactor se llena, en una única toma, con la alimentación. La materia orgánica, junto con el inóculo, permanecen en el reactor hasta transcurrir el tiempo necesario para conseguir la degradación requerida. El reactor discontinuo no es un tipo de reactor sino más bien un modo de operación que puede ser útil cuando el residuo es de difícil degradación, o cuando el residuo posee alto porcentaje de sólidos totales o sólidos en suspensión. Así, la digestión anaerobia seca en discontinuo es una excelente tecnología que puede ser aplicada a subproductos agrícolas donde se añade una cantidad mínima de agua, y se obtiene gran cantidad de biogás, con bajo coste, fácil diseño y aplicación.

3.3.4.2.3 Semi-continuo

Se introduce la materia orgánica en el reactor periódicamente, 1 a 3 veces al día. No obstante, desde el punto de vista biológico, los sistemas en continuo pueden degradar mayor volumen de sustrato que los semi-continuos, puesto que en estos casos la alimentación se presenta intermitentemente en exceso y en defecto.

3.3.4.3 Tipo de fermentación

Según el contenido de sólidos que tenga el residuo a tratar se puede clasificar en dos tipos: bajo contenido de humedad y alto contenido de humedad, por lo que se habla de digestión anaerobia húmeda o seca, las cuales se describen a continuación:²⁹

²⁷ ARVIZU J. y HUACUZ J., Biogás de Rellenos Sanitarios para producción de Electricidad, Boletín IIE, diciembre 2003, pág. 118 - 123.

AGULAR-VIRGUEN et al, Potencial Energético de los Residuos Sólidos Municipales, Revista Ingeniería 13-1, 2009, pág. 59-62.

²⁸ FORSTER Tania, Digestión anaerobia termofílica seca de residuos sólidos urbanos: estudio de las variables del proceso en el arranque y estabilización del biorreactor, Tesis para optar al grado de Doctora en Ingeniería Química, Departamento de Ingeniería Química, Tecnología de Alimentos y Tecnologías del Medio Ambiente, Universidad de Cádiz, noviembre 2005.

²⁹ POLANCO F. et al, Criterios para la selección de Tecnología de Digestión Anaeróbica de Residuos Sólido, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Valladolid, España, 2002. FORSTER Tania, 2005, op. cit.

Húmeda

La concentración de sólidos presentes es cercana al 5 y 15 %, lo que implica importantes diferencias en las necesidades de agua de dilución y calefacción. Todos los sistemas comerciales responden al modelo de tanque agitado y su diferencia fundamental procede de la forma de agitar. El sistema más utilizado es la agitación por recirculación de biogás, seguido de la agitación mecánica y de la recirculación de masa en digestión. El tiempo de residencia usual es superior a 20 días. El material digerido se deshidrata por centrifugación o tornillos compactadores produciéndose un notable caudal de agua. Una parte se devuelve al proceso y la otra se purga conduciéndola a depuración para eliminar materia orgánica y nitrógeno. Otra alternativa es utilizarla como riego de los túneles de compostaje a los que habitualmente se conduce la materia digerida. El equipamiento necesario para el funcionamiento es de bajo costo, pero se requiere de agua para el proceso, lo que podría encarecer los costos.

Seca

La materia prima presenta una concentración de sólidos cercana al 40%, lo que modifica notablemente las características hidrodinámicas del sistema. Se trabaja con una mezcla con consistencia semejante a una "pasta". Los modelos de flujo y forma de conseguir la mezcla difieren en las diferentes tecnologías comerciales, entre las que destacan los procesos SmartFerm, BioFerm, y Valorga. Los tiempos de residencia habituales son 10 días aproximadamente, lo que obliga a inocular el reactor. Con el grado de humedad de operación no es necesario deshidratar y se obvia el tratamiento del agua residual producida en la deshidratación de los sistemas de vía húmeda. Las principales ventajas que presenta la digestión seca son los bajos requerimientos de agua para la dilución del residuo, menores requerimientos para la deshidratación del residuo final y mayor producción de biogás por unidad de volumen del reactor.

3.3.4.4 Proceso

Según la experiencia desarrollada por empresas especializadas en el rubro³⁰, una tonelada de residuos orgánicos puede producir entre 60 y 200 m³ de biogás; alrededor del 50 y 60 % de esta mezcla corresponde a metano y el resto a CO₂, y la producción de energía a partir de la combustión del biogás se estima en 2,3 Kwh/m³.

El tiempo de permanencia del residuo en el fermentador dependerá directamente de la composición de éste. Al existir una mayor cantidad de material orgánico, el óptimo de permanencia es alrededor de 25 días con un rendimiento (o eficiencia) del 75%. Así, para tratar 100 toneladas en 25 días, se requiere una disponibilidad de 4 ton/día lo que equivale a una población de 8 mil personas con una generación promedio de 1 kg/persona de RSD del cual el 50% corresponde a materia orgánica. En tabla 5, se presentan una comparación en la producción de biogás de diferentes substratos.

Substratos en comparación	m3 gas/tonelada	Pronóstico metano en %(1)
Podas de parque	68	57
Residuos de verduras (ferias libres)	56,7	60
Residuo sólido municipal	162	59
Hierba en silo	204,3	59,2
Estiércol de oveja	99	59
Maíz en silo	202	56,3

Tabla 5. Factores de Generación de biogás por tonelada de Substrato. RM, 2015.Fuente: Registro Fotográfico de Lombrimadrid. 2015.

Nota: (1), El pronóstico de metano es el porcentaje estimado de metano presente en el biogás
Fuente: BioFerm.

³⁰ BioFerm. op cit.

Por medio de la tecnología SmartFerm, se pueden alcanzar tasas de generación de biogas del orden de los 85 m³ por cada tonelada de residuos de orgánicos, esto, por medio de fermentación seca. El sistema consiste en la producción de biogás a partir de estructuras apiladas de residuos orgánicos en un proceso no continuo. Dentro de las ventajas de este tipo de planta, es que existe la posibilidad de incluir el tratamiento del biogás producido, de manera de generar calor y energía, lo que se traduce en un menor requerimiento energético externo. El requerimiento mínimo para la instalación de una de sus plantas es de 5.000 ton/año de cualquier residuo orgánico, teniendo presente que se debe considerar la mezcla con chip de madera o algún otro residuo orgánico que otorgue estabilidad a la estructura que serán tratadas.³¹

3.3.4.4.1 Pretratamiento

El material orgánico debe ser mezclado con madera chipeada, residuos de césped o de árboles, de manera de mejorar las condiciones estructurales del material, y facilitar el proceso de digestión anaeróbico.

3.3.4.4.2 Aireación Inicial

Luego de ser cargado el material orgánico dentro del digestor, este se cierra utilizando un sello de gas, lo que asegura las condiciones el proceso. Cada digestor contiene un sistema de aireación en el piso el cual se activa inmediatamente después de sellar la puerta. El sistema de aireación tiene como objetivo crear un ambiente aerobio para generar calor y elevar la temperatura interna hasta las condiciones de tratamiento deseado, por un período de 12 horas, lo que se traduce en un ahorro energético (véase figura 8).

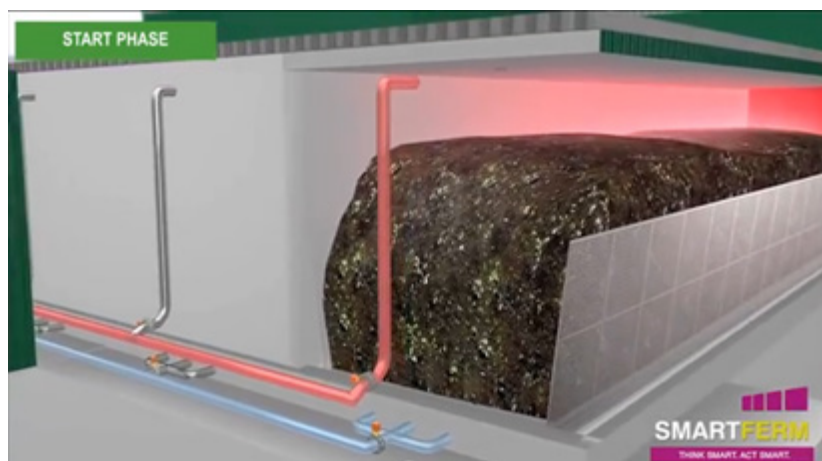


Figura 8. Etapa de Aireación Inicial de la tecnología SmartFerm.
Fuente: Zero Waste Energy, LLC.
"AD Process"

3.3.4.4.3 Ciclo de Percolado

Luego de la aireación, el oxígeno remanente es consumido por bacteria aeróbicas, de manera de entrar a la etapa anaeróbica propia del tratamiento de fermentación (véase figura 9). En esta etapa, se rocía el material orgánico con agua de proceso que contiene microorganismos termofílicos (denominado percolado, quienes serán los que descompongan los residuos. Este percolado se bombea en un circuito cerrado entre los digestores y los estanques de percolado, situado debajo de la cámara de fermentación.

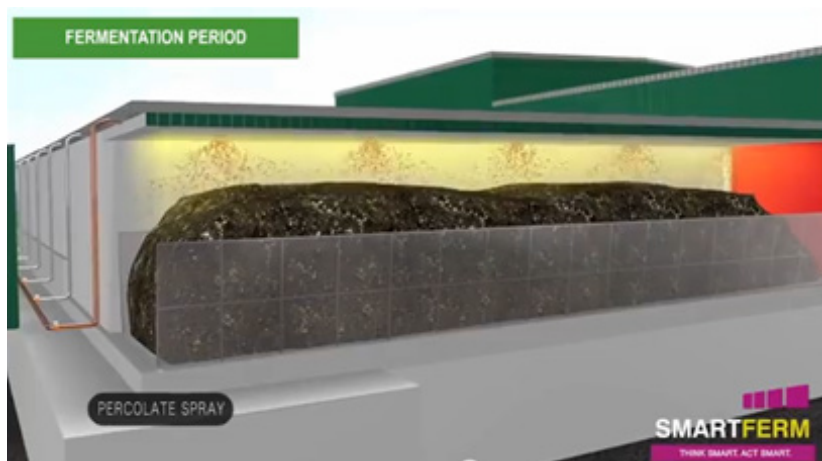


Figura 9. Etapa de Fermentación de la tecnología SmartFerm
Fuente: Zero Waste Energy, LLC.
"AD Process"

³¹ Zero Waste Energy, LLC, op cit.

La duración de esta etapa se extiende a lo largo de 20 días aproximadamente, de manera de garantizar una tasa de biogás aceptable. El percolado se recoge en un sistema de drenaje, para luego pasar por un estanque en donde se depositan posibles sólidos arrastrados. De este estanque, por rebalse, el líquido pasa al estanque inicial de almacenamiento de percolado, en donde se recargan los microorganismos termófilos, para luego iniciar un nuevo ciclo. La alta cantidad de ácidos orgánicos arrastrados son tratados en el estanque de captación de percolados, de manera de controlar el equilibrio del pH durante el proceso y de la síntesis de biogás.

3.3.4.4 Sistema de Biogás

A medida que transcurren los días de tratamiento, la tasa de producción de biogás comienza a incrementar. El flujo de gas es captado por un sistema de tuberías empotradas, y se almacena en cámaras de doble membrana. El biogás almacenado puede ser destinado para sistema CNG (Compressed natural gas) o sistemas de cogeneración.

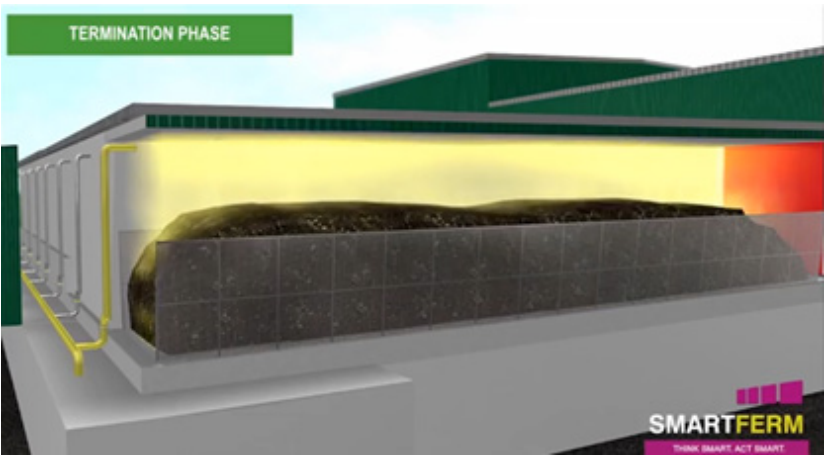


Figura 10. Etapa de Aireación Final de la tecnología SmartFerm.
Fuente: Zero Waste Energy, LLC. "AD Process".

3.3.4.4.5 Aireación Final

En la etapa final de tratamiento, es decir, en el día 21, se deja circular aire dentro de la cámara de manera de inhibir la producción de biogás. La mezcla de gases es capturada por un sistema de tuberías de escape que quema inicialmente el biogás de baja calidad (menor al 20% de metano). Esta operación demora entre 4 a 5 horas.

3.3.4.4.6 Generación de Electricidad a partir del biogás

La producción de este tipo de energía se hace mediante una transformación por medio de un motor de combustión interna y un generador.

3.3.4.5 Experiencias internacionales

No existen experiencias formales con fermentación seca en nuestro país, siendo de mayor desarrollo la fermentación húmeda. En otros países, esta metodología es ampliamente usada para el manejo de residuos, obteniendo resultados variables en cuanto a eficiencia, principalmente debido a la gran variabilidad de materias primas existentes. La empresa Zero Waste Energy, LLC, ha implementado cuatro plantas de fermentación seca a lo largo de su trayectoria. La tabla 6 indica los proyectos, capacidad de tratamiento y año de ejecución, todos localizados en Estados Unidos.

Localidad	Capacidad de Tratamiento (ton MO/año)	Numero de digestores	Año de Ejecución
Montgomery, Alabama	12.500	8	Junio 2014
Marina, California	5.000	4	Febrero 2013
San José, California	90.000	16	Diciembre 2013
San Francisco, California	11.200	8	Enero 2015

Tabla 6. Experiencias de instalación de plantas de Fermentación Seca.
Fuente: Zero Energy Waste LLC. "US Operating References for All Sized Operations".

4. ALTERNATIVAS PARA LA VALORIZACIÓN DE RESIDUOS INORGÁNICOS

4.1 Recolección segregada de residuos domiciliarios valorizables: Resultados del APL Envases y Embalajes, firmado por el Centro de Envases y Embalajes. (CENEM, 2018)

4.1.1 Introducción

El año 2015, el Centro de Envases y Embalajes firmó un Acuerdo de Producción Limpia, el cual contemplaba dentro de sus metas, implementar un sistema de recolección de residuos de envases y embalajes pos consumo domiciliario. Este sistema se desarrolló entre mayo de 2016 a abril del 2017 en la Unidad Vecinal 10 de la Municipalidad de Providencia.

El modelo de gestión desarrollado fue de segregación en origen por parte de los vecinos, y recolección selectiva puerta a puerta.

Para la recolección, la empresa HopeChile contó con un camión recolector $\frac{3}{4}$ de cerca de 5 m³ de capacidad. La actividad fue realizada por un supervisor y dos auxiliares. El camión recolector estuvo provisto de maxisacos de 1 m³ para el acopio transitorio de cada tipología de residuo manteniendo la segregación realizada en cada casa para luego ser entregada a un centro de acopio para su clasificación específica.



Figura 11. Camión recolector
Fuente: Informe Consolidado de Gestión de Residuos (Piloto REP), CENEM 2018.

A los vecinos se les entregó un kit de 3 bolsas para el almacenamiento y entrega de residuos. Para la segregación de residuos en los hogares se propuso una separación en tres fracciones: papel y cartón (bolsa azul), vidrio (bolsa verde) y envases livianos (plásticos, metales en bolsa amarilla). Para apoyar dicha separación se entregó una guía informativa (véase figura 13) respecto de los materiales que debían ser separados para recolección en cada color de bolsa.



Figura 12. Kit de 3 bolsas para el almacenamiento y entrega de residuos.
Fuente: Informe Consolidado de Gestión de Residuos (Piloto REP), CENEM 2018.

Vecin@ recicla en tu barrio

MATERIAL		DESCRIPCIÓN
SOLO ENVASES		
ENVASES DE ALUMINIO Y OTROS METALES	Latas de bebidas, jugos y cerveza. Tarros de conservas.	Entrégalos limpios, sin restos de alimentos, líquidos o grasas. Enjuágalos para limpiarlos. Aplástalos y colócalos en la bolsa.
ENVASES TETRA PAK	Envases de bebidas, jugos, alimentos, leche, salsas, cremas.	Entrégalos limpios, sin restos de alimentos o líquidos. Desarma la caja y dale un pequeño enjuague para limpiarlos. Aplástalos y amárralos si es posible.
BOTELLAS DE PLÁSTICO PET 1	Botellas transparentes para bebidas, jugo y agua mineral.	Entrégalos sin restos de líquidos u otros residuos en su interior. Enjuágalos para limpiarlos.
BOTELLAS Y ENVASES DE PLÁSTICO PEAD 2	Botellas duras de detergente, limpiadores, shampoo, leche y yogurt de 1 litro, bolsas plásticas de supermercado, tapa rosca plástica de botellas y envases.	Aplástalos y colócalos en la bolsa. Retira etiqueta y tapa plástica y dispón en la misma bolsa.
ENVASES, BANDEJAS, VASOS Y EMPALAJES DE PS (PLUMAVIT)	Envases y bandejas de alimentos, carnes y vasos. Elementos de embalaje.	Entrégalos limpios, sin restos de alimentos, dale un pequeño enjuague para limpiarlos y aplástalos para que ocupen menos volumen.
CAJAS Y ENVASES DE CARTÓN CORRUGADO Y LISO	Cajas de cartón en general.	Entrégalas sin otros materiales en su interior, desarmadas y aplastadas.
DIARIOS, REVISTAS, PAPEL Y ENVASES DE CARTÓN	Diarios y revistas. Papel blanco usado o nuevo, hojas de cuaderno, fotocopias y papel impreso. Envases de cartón en general para cereales, productos de aseo o similares. Cajas de huevos.	Entrega residuos limpios y sin mezcla con otros materiales. Entrega cajas desarmadas y aplastadas. Apila las cajas de huevos.
SOLO ENVASES		
BOTELLAS Y FRASCOS DE VIDRIO	Frascos y botellas de vidrio para bebidas y/o licores.	Entrega sin restos de líquido. Sin tapas metálicas, de plástico o corchos. Enjuágalos para limpiarlos. (NO MEZCLAR CON LOZA, CERÁMICA, VIDRIO DE VENTANAS, ESPEJOS, VASOS, FRASCOS DE PERFUME).



CONTACTO

medioambiente@providencia.cl
☎ 224454195

info@cenem.cl
☎ 22250117

contacto@hopechile.cl
☎ 9 9309 7608

Figura 13. Guía informativa para separación de residuos.

Fuente: Informe Consolidado de Gestión de Residuos (Piloto REP), CENEM 2018.

Los residuos recolectados se entregaron a la Empresa Rembre SPA en Colina (instalación de recepción y almacenamiento), quien llevó un registro de los distintos tipos de residuos recolectados y su destino para mantener la trazabilidad del proceso completo.

4.1.2 Viviendas participantes

- ▶ N° total de viviendas que se integraron al programa: 227 viviendas
- ▶ N° total de vecinos involucrados al término: 794 habitantes.
- ▶ Promedio mensual de participación: 155 viviendas.

4.1.3 Cantidad total de residuos recolectados y clasificados

Al término del proyecto, se cuantificó un total recolectado de 27.660 kg de residuos entregados por los vecinos; este material fue clasificado en las instalaciones de Rembre enviándose 26.529,6 kg a reciclaje, equivalentes al 95,9% del material recolectado.

La cantidad total de material rechazado, o merma promedio, calculada para los 12 meses fue de un 4,1%; la merma total acumulada fue reduciéndose en el tiempo respecto del valor informado al mes 4 (5,9%) y el mes 8 (4,7%).

Considerando las cantidades en peso, el principal material recolectado y clasificado fue papel y cartón (51,9%), seguido de vidrio (35,9%) y finalmente envases livianos (12,2%).

Material	Total recolectado Kg	Total clasificado Kg	Merma Kg	Merma %
Bolsa Amarilla: plásticos, metal, cartón para bebidas	3843,2	3231,6	611,6	15,9%
Bolsa Azul: papel y cartón	14285,0	13766,1	518,9	3,6%
Bolsa Verde: vidrio	9531,9	9531,9	0,0	0,0%
Total	27660,1	26529,6	1130,5	4,09%

Tabla 7. Resumen cantidades recolectadas y clasificadas hasta el Mes 12
Fuente: Informe Consolidado de Gestión de Residuos (Piloto REP), CENEM 2018.

4.1.4 Materiales y tipos de envases recolectados y clasificados

En base a la clasificación de los materiales recolectados se obtuvo la diferenciación por tipo de envase que se muestra en la siguiente tabla.

Tipo de Material	Tipo de residuo	Kg clasificados	% (en peso) del total	
Plásticos	Botellas PET (1)	1297,8	4,89%	% total material 7,8%. PET representa 63% del total.
	Envase duro PEAD (2)	447,8	1,69%	
	Bolsas PEBD (4)	131,9	0,50%	
	Bolsas PP (5)	6,1	0,02%	
	Tapas botellas PP (5)	63,7	0,24%	
	Envases de Yogurt PS(6)	46,9	0,18%	
	Envases y bandejas PS (6)	65,8	0,25%	
Metal	Tarros de conservas	209,2	0,79%	% total material 1,5%.
	Latas Al	193,3	0,73%	

Tipo de Material	Tipo de residuo	Kg clasificados	% (en peso) del total	
Papel y cartón	Diarios	6719,2	25,33%	% total material 54,8%.
	Papel Blanco	402	1,52%	
	Papel mixto (revistas/boletas/afiches)	3446,8	12,99%	
	Envases de cartón liso	1508,1	5,68%	Material No Envase representa 72,7% del total.
	Cartón corrugado	1510,7	5,69%	
	Cajas de Huevos	179,3	0,68%	Cartón representa 20,7% del total
	Cartones para bebidas	769,1	2,90%	
	Frascos y botellas de vidrio	9531,94	35,93%	
	TOTAL	26529,64	100,0%	

Tabla 8. Clasificación de residuos por material y tipo de envaseFuente: Informe Consolidado de Gestión de Residuos (Piloto REP), CENEM 2018.

Fuente: Informe Consolidado de Gestión de Residuos (Piloto REP), CENEM 2018.

4.1.5 Destino de los materiales y tasas de reciclaje

El 99,8% de los residuos clasificados se destinaron a empresas gestoras para su posterior valorización. Sólo los envases de yogurt y bolsas de polipropileno no tuvieron destino (0,2% del total, equivalentes a 54,6 kg de material).

Material	Empresa destinataria
Botellas (PET 1)	Recipet y Reciclados Industriales
Envase duro (PEAD 2)	Greenplast
Bolsas (PEBD 4)	Cambiaso
Bolsas (Polipropileno 5)	No hay hasta el momento
Tapas botellas (PP 5)	Converplast y Greenplast
Envases de yogurt (PS 6)	No hay hasta el momento
Poliestireno y envases y bandejas (PS 6)	REMBRE
Cartones para bebidas	Reciclados Industriales
Tarros de conservas	Gerdau Aza
Latas	Metalum
Diarios	Sorepa
Papel Blanco	Sorepa
Papel mixto (revistas/boletas/afiches)	Sorepa
Envases de cartón lisos	Sorepa
Cartón corrugado	Sorepa
Cajas de Huevos	Sorepa
Frascos y botellas de vidrio	Cristalería Toro

Tabla 9. Destino de los residuos clasificados.

Fuente: Informe Consolidado de Gestión de Residuos (Piloto REP), CENEM 2018.

4.2 Puntos Limpios y puntos verdes

4.2.1 ¿qué son y cómo funcionan?

Puntos limpios: Se trata de un lugar donde se reciben y almacenan los residuos reciclables. Se trata de una infraestructura adecuada para su selección y posterior valorización. En un punto limpio se realiza la compactación y enfardado de fracciones de residuos. Estos pueden ser fijos o móviles (SEREMI del Medio Ambiente, Región Metropolitana, s.f.).

Puntos verdes: Hablamos de contenedores donde se reciben los residuos. Este utiliza un espacio reducido en un lugar con acceso público para el depósito de los residuos reciclables. Generalmente están ubicados en plazas, supermercados, iglesias, condominios, oficinas, entre otros (SEREMI del Medio Ambiente, Región Metropolitana, s.f.).

Mapa de puntos verdes y puntos limpios en la Región Metropolitana <http://www.santiagorecicla.cl/mapa/>

4.2.2 Modelo de gestión

La existencia de puntos limpios y/o puntos verdes, permite al consumidor disponer de manera diferenciada sus residuos, siendo este el primer paso para activar la cadena del reciclaje.

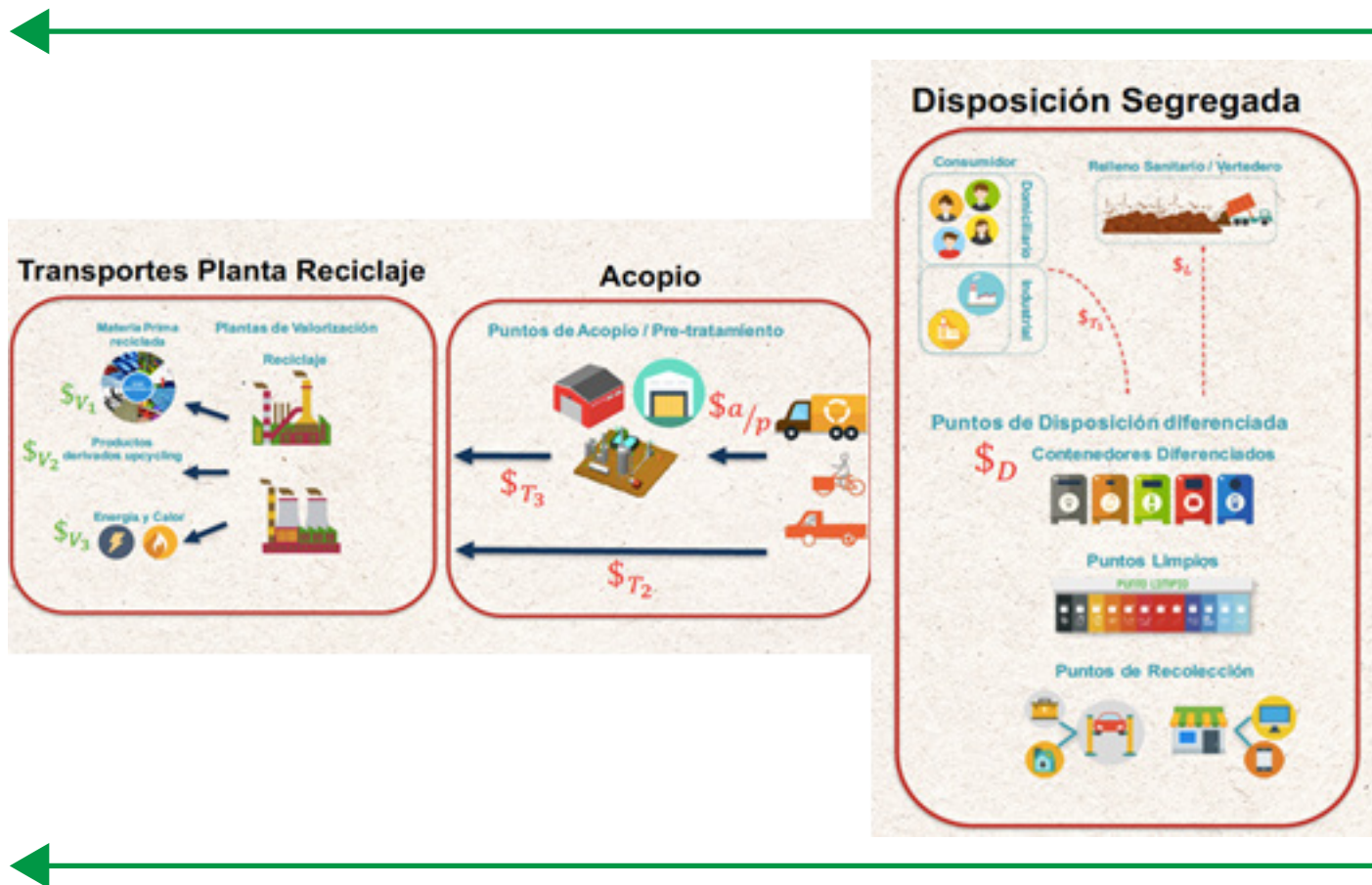


Figura 14. Modelo de gestión para la cadena de reciclaje.

Fuente: (Regenerativa, 2018). Imagen completa en presentación "Modulo IV - Modelo de Negocios del Reciclaje, lámina 5"

Por su parte, la venta de material constituye un modelo de negocios:

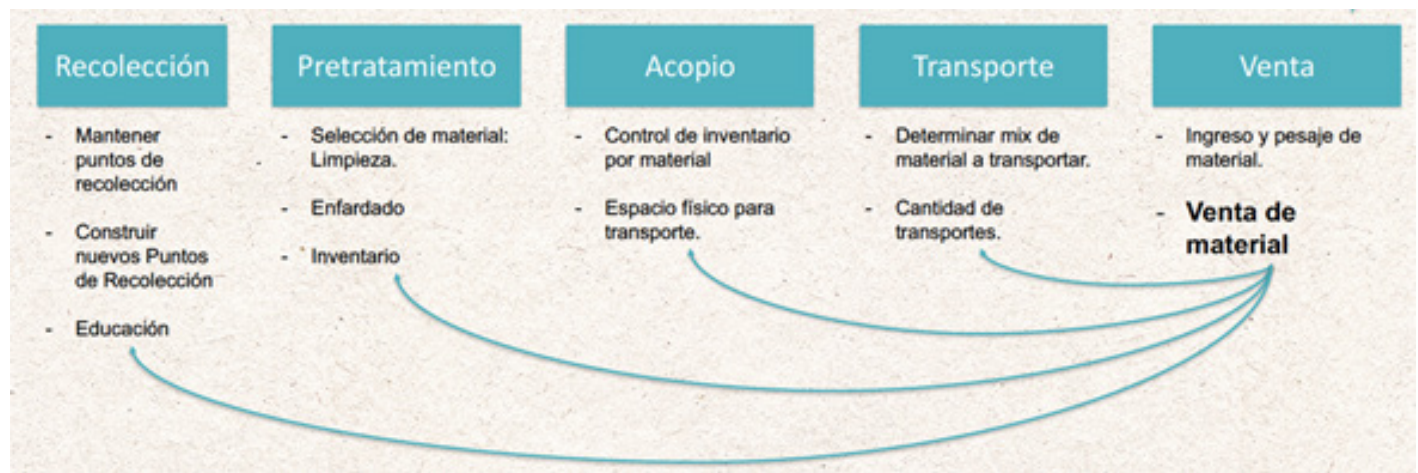


Figura 15. Modelo de negocio para la cadena de reciclaje.
Fuente: (Regenerativa, 2018).

4.2.3 Experiencias nacionales

Municipio de Vitacura (MMA, 2017)

Raúl Torrealba - Alcalde de Vitacura, Presidente de la Asociación de Municipalidades para la Sustentabilidad Ambiental (AMUSA)

“Tanto en la gestión ambiental como en la gestión de residuos, el Municipio ha sido pionero, otorgándoles a sus vecinos alternativas ambientales para el manejo de sus residuos. No solo basta con el paso del camión recolector de residuos tradicional, existe la opción de reciclar, tanto en su propia casa como en el punto limpio y los mini puntos limpios, como también el programa de retiro de desechos vegetales que se transforman en compost para nuestras áreas verdes”.

Desde el año 2015 se realiza en todo el territorio comunal recolección diferenciada de residuos, siendo la única comuna del país que lo ejecuta. Este servicio continuará desarrollándose en los próximos contratos. Además, se continuará con la implementación de mini puntos limpios fuera de los colegios.

Para la gestión de residuos, el municipio destina un 14% de los ingresos municipales.

“Los principales logros en gestión de residuos, se relacionan con involucrar a los vecinos en el manejo, ellos han comprendido que la gestión municipal es de protección del medio ambiente y se han hecho partícipe activamente de los programas municipales”.

• Nota en prensa:

<http://www.emol.com/noticias/Nacional/2016/08/24/818630/A-diez-anos-del-Punto-Limpio-de-Vitacura-30-millones-de-kilos-de-residuos-han-llegado-al-centro-de-reciclaje.html>

Informe de la gestión de residuos municipales:

<https://www.vitacura.cl/resources/descargas/pdf/scam/gestion%20de%20residuos.pdf>

Municipalidad de Peñalolén (MMA, 2017)

Carolina Leitaó - Alcaldesa de Peñalolén

“Hemos ido aumentando de manera significativa, desde el 2010 hasta hoy, los indicadores en gestión de residuos. En 2010 teníamos 250 familias participando en un programa de reciclaje. Hoy tenemos 15 mil en el total de programas que estamos ejecutando. Partimos con 3 recicladores de base y hoy contamos con 28. La idea es seguir aumentando. Pero el mayor avance que hemos tenido es en cuanto a infraestructura, con cinco puntos limpios, cuatro de acopio para el reciclaje inclusivo y nuestro centro de reciclaje, que es el Ecoparque, donde justamente vamos a trabajar la educación medio ambiental y la investigación en biodiesel, agua y reciclaje de residuos orgánicos”.

Respecto a la separación en origen, la Alcaldesa plantea lo siguiente “no es un tema que los municipios queramos o no hacer. No es un tema de disposición. Lo que ocurre es que cuando se hace una licitación incorporando este tipo de requisitos, suben los costos de manera infinita y nosotros no tenemos ninguna manera de financiar algo así. Somos un municipio deficitario en la gestión de residuos, pues la mayoría de los vecinos están exentos del pago. Los que pagan no son todos y algunos tienen deudas. El tema es que tenemos que aportar con recursos propios y en comunas como la nuestra, es realmente impagable el costo de un contrato así. Lo que sí debeos hacer es seguir buscando fórmulas para aumentar la separación. Hay dos cosas fundamentales para eso, además de incorporar en los contratos: primero, dar énfasis al reciclaje inclusivo y segundo, generar en las propias viviendas el hábito del reciclaje de residuos orgánicos”.

- Gestión de residuos en Peñalolén:
<https://www.penalolen.cl/medio-ambiente/gestion-de-residuos-solidos-en-penalolen/>
- Centro de reciclaje:
<https://www.penalolen.cl/medio-ambiente/centro-de-reciclaje-en-penalolen/>
- Ecoparque: <https://www.penalolen.cl/medio-ambiente/ecoparque-en-penalolen/#toggle-id-2>

Municipalidad de La Pintana (MMA, 2017)

Manuel Valencia Guzmán - Ex Director de Gestión Ambiental de la Municipalidad de La Pintana.

“En 2005 se inició el Programa de Separación de Residuos en Origen que propone entregar la fracción vegetal relevante separada del resto en un tacho especial de 35 litros en un sistema de recolección diferenciado, exclusivamente para vegetales. El supuesto para realizar este tipo de recolección segregada se basa en que, en una situación ideal, al menos la mitad de la flota haría recolección de vegetales y el otro 50% todo el resto o recolección convencional, sin aumentar la flota, sino, por el contrario, tratando de reducirla en la medida en que más fracciones sean aprovechables”.

El ciclo es el siguiente: sensibilización puerta a puerta - separación o acumulación segregada de residuos vegetales - recolección diferenciada de vegetales - tratamiento segregado de la fracción vegetal - aprovechamiento y valorización local.

“Actualmente, el 67% de las viviendas de La Pintana están sensibilizadas, separando en origen con una eficiencia cercana al 30% en la entrega de vegetales”.

- Nota en prensa:
<https://kilometrozero.cl/la-pintana-es-la-comuna-más-sustentable-de-chile-db8cc10110b1>

En otras regiones...

Municipalidad de Temuco

La Municipalidad de Temuco desde el año 2009 a la fecha ha avanzado de manera importante en materia de valorización de residuos, principalmente en la cadena del reciclaje, impulsando iniciativas de convenios con empresas gestoras de diferentes tipos de residuos, tales como: Cristalerías Toro y Cristalerías Chile, para el vidrio, el PET con RECIPET; y para los residuos electrónicos, a través de Chilerecicla y Recyclapolis.

En este sentido, el municipio ha invertido en la adquisición y operación de 55 puntos verdes para la recolección de PET, Papeles/Cartones y latas de aluminio, gestión realizada en conjunto con recolectores de base. Asimismo, mantiene redes de apoyo y colaboración con organizaciones de recolectores de base tales como: Proyecto Andes, Mujeres Emprendedoras de Vista Verde y Sindicato de Recicladores de Boyeco.

En materia de minimización y valorización de la fracción orgánica de los Residuos Sólidos Domiciliarios, el municipio de Temuco ha avanzado con Pilotos de Producción de Compost Domiciliario, entregando a vecinos aproximadamente 180 kits para compostaje, con intervención en diferentes sectores y villas de la ciudad.

<http://www.temuco.cl/thenoticias/2018marzo/girasantiagoreciclaje.htm>

<http://www.temuco.cl/thenoticias/2017mayo/composteras.htm>

4.2.4 Empresas dedicadas al reciclaje de diferentes residuos (SEREMI del Medio Ambiente, Región Metropolitana, s.f.):

En la Región Metropolitana existe un total de 54 empresas dedicadas al reciclaje de diferentes residuos, listadas en el siguiente link: <http://www.santiagorecicla.cl/donde-reciclar/>

BIBLIOGRAFÍA

CENEM. (2018). Informe Consolidado de Gestión de Residuos (Piloto REP). CENEM. Santiago: Acuerdo de Producción Limpia de Envases y Embalajes.

GESCAM. (2016). Estudio que permita elaborar un modelo de negocios apropiado a la realidad nacional para la gestión de residuos orgánicos de ferias libres . Santiago.

Ley 20.920. (2016). Establece marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje. Ministerio del Medio Ambiente, Santiago.

MMA. (2017). Observatorio de Residuos. Ley Marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje. Santiago: Maval SpA.

Regenerativa. (2018). Modelo de negocios en reciclaje. Santiago.

SEREMI del Medio Ambiente Región Metroplotina. (2018). Bases Técnicas "Crear y dictar un curso e-learning para ciudadanía, curso semi - presencial para funcionarios municipales. SEREMI del Medio Ambiente Región Metroplotina, Santiago.

SEREMI del Medio Ambiente, Región Metropolitana. (2017). Estrategia Regional de Residuos Sólidos Region Metropolitana de Santiago 2017 - 2021 . Santiago: Santiago Recicla.

SEREMI del Medio Ambiente, Región Metropolitana. (s.f.). Santiago Recicla. Recuperado el 5 de junio de 2018, de Donde Reciclar: <http://www.santiagorecicla.cl/donde-reciclar/>

“Este curso se ha elaborado en el marco del “Programa de Capacitación y Difusión en Gestión y Valorización de Residuos: Santiago REcicla”, iniciativa ejecutada por la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente RM, y financiada por el Gobierno Regional Metropolitano de Santiago”

