



MANUAL DE COMPOSTAJE

UNA HERRAMIENTA PARA COMBATIR EL CAMBIO CLIMÁTICO

Programa impulsado por:



Environment and
Climate Change Canada

Environnement et
Changement climatique Canada

Programa ejecutado por:



MANUAL DE COMPOSTAJE

Una herramienta para combatir el Cambio Climático.

Programa Reciclo Orgánicos

Ministerio de Medio Ambiente de Chile.

Ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá.

Copyright: Ministerio del Medio Ambiente de Chile.

Material elaborado por el Programa Reciclo Orgánicos con la colaboración de Arcadis e ImplementaSur.

Autores:

Denisse Aguilera

Gerardo Canales

Arvind Chandrasekar

Diego Fernández

Magdalena Márquez

Santiago Ribadeneira

Patricia Salvo

Paul van der Werf

Edición:

Francesca Chiappa

Diseño:

Erika Cid

Reservados todos los derechos.

ISBN: 978-956-09753-0-0

Se autoriza la reproducción total o parcial de este documento citando como fuente al Programa Reciclo Orgánicos.

Publicado en Chile, 2021.

ACERCA DEL MANUAL	7
CONOCE EL PROGRAMA RECICLO ORGÁNICOS	9
¿QUÉ ES EL COMPOSTAJE?	10
BENEFICIOS DEL COMPOSTAJE	12
MATERIAL PARA COMPOSTAR	13
FACTORES FÍSICOQUÍMICOS QUE CONDICIONAN EL PROCESO DE COMPOSTAJE	13
EVALÚA EL POTENCIAL PARA COMPOSTAR EN TU COMUNA	15
Actividades de Compostaje en la comuna	16
Cantidad de Orgánicos Generados por Región	16
Costos de Recolección y Beneficios Económicos	18
Normativa Legal Aplicable al Compostaje en Chile	21
CONSIDERACIONES TÉCNICAS DEL PROYECTO	28
Ubicación de la Planta de Compostaje	29
Calidad de la Materia Prima	34
Tecnología y Selección de Equipos	38
IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	48
Gestión del proyecto	49
Financiamiento	50
Involucramiento con la Comunidad	54

Contenedores	59
Vehículos para Recolección	61
OPERACIÓN DE PLANTAS DE COMPOSTAJE	65
Operación paso a paso	66
Diseño de una Planta de Compostaje Pequeña	76
Diseño de una Planta de Compostaje Mediana	80
Sugerencias de equipamiento y maquinaria	84
Sugerencias para considerar galpón o techumbre	85
PRODUCTO FINAL	88
Calidad del Compost y Usos	89
Comercialización	91
Consideraciones Finales	94
BIBLIOGRAFÍA ASOCIADA	96

Chile y Canadá mantienen hace más de 20 años un Acuerdo de Cooperación Ambiental. Dentro de este acuerdo el Gobierno de Canadá, entre otras actividades, busca apoyar la implementación de la Contribución Nacional Determinada de Chile, y lograr las reducciones de Gases de Efecto Invernadero comprometidas bajo el marco del Acuerdo de París.

Fruto de esta cooperación nace el Programa Reciclo Orgánicos, cuyo fin es disminuir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del sector residuos, en particular el gas metano generado por la descomposición de los residuos orgánicos que es muy dañino para el medio ambiente.

Esta iniciativa forma parte del compromiso del Gobierno de Canadá de \$ 2.65 mil millones de financiamiento climático, para ayudar a otros países a enfrentar los desafíos del cambio climático y su transición a economías con bajas emisiones de carbono.

El presente manual entrega directrices sobre cómo implementar proyectos de compostaje municipal, evitando así la emisión de gases dañinos para la atmósfera, contribuyendo a generar un impacto positivo para el medioambiente y la sociedad en su conjunto, lo que nos permite avanzar en cumplir las metas comprometidas en el Acuerdo de París.



Michael Gort
Embajador de Canadá en Chile.

El cambio climático es el desafío más importante que tenemos como generación y enfrentarlo con decisión y sentido de urgencia es tarea de todos.

Porque son las pequeñas acciones que cada uno toma, las que, sumadas a muchas otras, producen los grandes cambios. Y el mundo necesita hoy más que nunca un gran cambio cultural: pasar de esa cultura de lo desechable a una cultura de lo reutilizable, e impulsar la transición a un desarrollo verdaderamente sustentable que permita cuidar de nuestro planeta, nuestro hogar común.

Una manera de involucrarnos es haciéndonos cargo de nuestros residuos orgánicos que representan el 58% de la bolsa de basura que genera un hogar promedio en Chile, pero se aprovecha menos del 1%.

Por eso como Ministerio del Medio Ambiente lideramos la elaboración de una Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos (ENRO) que plantea como meta que el 66% de los residuos orgánicos que generamos en nuestros hogares sea valorizado, aprovechando sus nutrientes, mejorando la calidad de vida de las personas y disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero que generan.

Esta meta sin duda que es ambiciosa, pero alcanzable si todos somos capaces de sumarnos al desafío. A través de este manual, queremos poner a disposición de cualquier persona o entidad interesada en incursionar en el compostaje a mediana y gran escala en Chile, un documento técnico que facilite la implementación de plantas de compostaje municipales, uno de los objetivos planteado en la ENRO.

Por medio de los proyectos realizados a través del Programa Reciclo Orgánicos, gracias al Acuerdo de Cooperación Ambiental que sostienen los gobiernos de Canadá y Chile, hemos evidenciado, bajo la propia experiencia, que es posible implementar plantas de compostaje a nivel municipal y con ello combatir el cambio climático y mejorar la calidad de vida de las personas. Sin duda, este manual es una tremenda herramienta para apoyar la planificación de futuras iniciativas de compostaje a nivel nacional.



Carolina Schmidt
Ministra del Medio Ambiente
Chile.

ACERCA DEL MANUAL

Este manual recopila un esfuerzo en conjunto de los miembros, tanto de Chile como de Canadá, que conforman el Programa Reciclo Orgánicos, con el propósito de diseñar un documento técnico, pero de fácil lectura, que pueda ser utilizado por aquellas personas interesadas en incursionar en el compostaje a mediana y gran escala en Chile. Para facilitar su uso, el documento ha sido estructurado en diferentes secciones enfocadas a un público en particular y con un objetivo de aprendizaje específico. Por ejemplo, la sección inicial del documento está dirigida tanto a personas experimentadas en el mundo del compostaje, como a quienes se inician en él. Esta sección aborda conceptos generales sobre el programa Reciclo Orgánicos y además, responde preguntas básicas como ¿qué es el compostaje? ¿cuáles son sus beneficios y materiales más usados en su proceso? ¿cuáles son los factores que influyen en su desempeño?, entre otros.

El capítulo 2 está dirigido a las agencias gubernamentales locales y grupos comunitarios que pretenden analizar la viabilidad de establecer un proyecto de compostaje en algunas de las diferentes regiones de Chile. Este capítulo presenta un resumen de las actividades existentes de cada región, la cantidad de orgánicos generados, los costos asociados al

manejo de este tipo de residuos, así como un breve repaso de la normativa legal aplicable al compostaje en Chile.

El capítulo 3 está pensado en aquellos actores, públicos o privados, que están en la etapa de planificación de un programa o proyecto de compostaje en la región. Este capítulo describe las consideraciones técnicas que debe seguir un proyecto de compostaje, incluyendo la selección de la mejor ubicación, la calidad de la materia prima a utilizar en el proceso y sobre todo las tecnologías y equipos existentes para ejecutar la actividad.

El capítulo 4 está enfocado a aquellos actores, públicos o privados, que han culminado la etapa de planificación y están comenzando a implementar dichos programas o proyectos. Incluye información sobre la gestión de este tipo de proyectos como, por ejemplo, el perfil de profesionales necesarios para la operación de una planta de compostaje, las posibles formas de financiamiento o cofinanciamiento que se pueden establecer para la ejecución del proyecto (incluyendo ejemplos de casos de éxito en la región) y, además, detalla los mecanismos para lograr el involucramiento exitoso de la comunidad.

El capítulo 5 está elaborado con énfasis en las municipalidades y empresas privadas interesadas en participar de las actividades específicas de recolección y transporte de los materiales a compostar. Este capítulo está enfocado en los requerimientos técnicos y características de los sistemas de recolección requeridos para llevar a cabo un proyecto de compostaje; esto incluye tanto los camiones para la recolección, como los contenedores requeridos para el transporte del material a compostar.

Finalmente, el capítulo 6 está dirigido exclusivamente a los operadores de plantas de compostaje y el capítulo en sí constituye un Manual Operativo de una Planta de Compostaje que considera información asociada con los procesos al interior de una planta (recepción de materiales, pre procesamiento, formación de pilas, compostaje, curado, cribado y mercadeo) también incluye un listado de soluciones a los problemas más comunes que surgen al momento de operar una planta de compostaje. Además, se entregan ejemplos de diferentes plantas de compostaje, con distintas dimensiones y tecnologías.

Quienes conformamos el Programa Reciclo Orgánicos -en Chile y Canadá- esperamos que este documento sea de utilidad para ustedes. El compostaje es una industria que genera miles de empleos y recursos económicos pero, por sobre todo, ¡es una actividad que contribuye a combatir el cambio climático y le devuelve vida al suelo!

CONOCE EL PROGRAMA RECICLO ORGÁNICOS

Actualmente, Canadá está apoyando a Chile en la implementación de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (CDN) bajo el Acuerdo de París, a través de iniciativas para reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero generadas en el sector de residuos Chile, coordinadas por el Programa Reciclo Orgánicos.

Esta guía de planificación incluye consideraciones operativas, financieras, comunicacionales y regulatorias para la implementación de un programa de compostaje. La guía está diseñada, principalmente, para promover la gestión de residuos municipales orgánicos en Chile, incluyendo residuos procedentes de residencias, instituciones (como colegios y universidades, hospitales y parques empresariales), áreas verdes, entre otros.

La guía sigue la lógica implementada en programas de compostaje exitosos de varias regiones de Canadá. El primer paso en este proceso es comprender las oportunidades y los desafíos para una operación de compostaje de tamaño industrial. Este proceso requiere una buena comprensión de las prácticas actuales de generación y gestión de residuos.



Foto por Shutterstock

#YoReciclOrganicos ¿y tú?

1

¿Qué es el
Compostaje?



Foto por Shutterstock

El compostaje es un proceso biológico de transformación de la materia orgánica para obtener compost. El compost es un abono natural creado a partir de la acción de bacterias, hongos y microorganismos sobre los residuos orgánicos. El compost puede servir como: abono para mejorar las propiedades de los suelos y entregar nutrientes a las plantas y, a la vez, funciona como mecanismo de reciclaje de los residuos orgánicos que, en el caso de Chile, representa en promedio el 50% de los residuos sólidos domésticos.

Bajo condiciones controladas, el compostaje se realiza en dos etapas principales:

Etapa activa

Mientras los microorganismos se alimentan de materia orgánica, consumen oxígeno (O_2) y producen calor, dióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua.

Durante esta etapa, la mayoría de la materia orgánica degradable se descompone. Se necesita un plan de manejo para mantener la temperatura, el oxígeno y la humedad óptima para la conservación de la actividad de los microorganismos. Las pruebas de **temperatura, contenido de humedad y niveles de oxígeno** pueden ayudar a tomar decisiones sobre las actividades de compostaje, al igual que, cómo voltear, airear o agregar humedad a la pila.

Etapa de curado

La actividad microbiana disminuye y, a medida que el proceso se acerca a su finalización, el material alcanza temperatura ambiente. El producto final adquiere características similares al humus, la fracción orgánica del suelo. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el material se reduce en volumen en un **20 a 60%**, el contenido de humedad en un **40%** y el peso disminuye hasta un **50%**.¹

¹ FAO. (2013). Manual de compostaje del agricultor. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf>



BENEFICIOS DEL COMPOSTAJE

El compostaje es un elemento importante de la gestión sostenible de los residuos sólidos, ya que ofrece una forma de procesar la fracción de residuos biodegradables. El compostaje reduce la cantidad de residuos a ser transportados y eliminados, mitigando los efectos negativos para el medio ambiente. Los beneficios más importantes de compostar son:



Reducir los residuos enviados a rellenos sanitarios o vertederos.



Mejora el drenaje del suelo y reduce la erosión.



Evita las emisiones incontroladas de gases de efecto invernadero generados por la descomposición de la materia orgánica en los sitios de disposición final.



Mejora la capacidad de retención de nutrientes.



Mejora la salud del suelo.



Los nutrientes del compost pueden complementar la fertilización tradicional.



Mejora la estructura del suelo.



Mejora y estabiliza el pH del suelo.

MATERIAL PARA COMPOSTAR

La clasificación en origen consiste en agrupar y categorizar los residuos generados por los ciudadanos (en sus casas, oficinas, restaurantes, hoteles, establecimientos educacionales, entre otros), para ser luego enviados a lugares donde serán revalorizados, como plantas de compostaje y reciclaje.

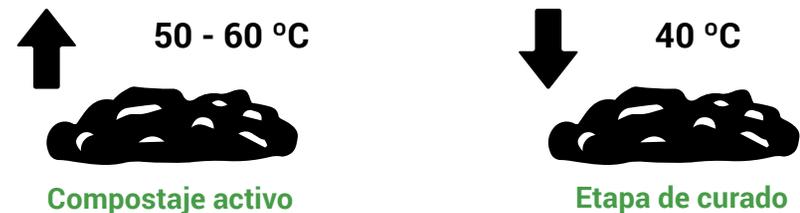


Fuente: Reciclo Orgánicos

FACTORES FISICOQUÍMICOS QUE CONDICIONA EL PROCESO DE COMPOSTAJE

Temperatura

La temperatura es un indicador importante en el proceso de compostaje. La temperatura aumenta debido a la actividad microbiana y puede percibirse a las pocas horas de formar una pila. Durante el proceso de compostaje activo, la temperatura generalmente aumenta rápidamente entre 50-60 °C y se mantiene así durante varias semanas. Mientras que las velocidades de reacción bioquímica se duplican con cada aumento de 10 °C de temperatura. Durante la etapa de curado, la temperatura desciende gradualmente a 40 °C, hasta que eventualmente, alcanza la temperatura ambiente.



Relación Carbono/Nitrógeno:

La relación Carbono-Nitrógeno (C:N) es un parámetro fundamental para la actividad biológica, ya que los microorganismos necesitan entre 20 a 25 veces más carbono que nitrógeno para mantenerse activos. En el proceso inicial, la relación molecular debe estar entre 25:1 a 30:1, que en términos de volumen significa una proporción entre 2 y 4 a 1 entre mate-

rial café² y verde³. Los microorganismos digieren el carbono como fuente de energía e ingieren nitrógeno para sus proteínas y actividades de reproducción.

Humedad

La humedad juega un papel esencial en el metabolismo de los microorganismos e indirectamente en el suministro de oxígeno. Los microorganismos pueden utilizar solamente aquellas moléculas orgánicas que se disuelven en agua. El contenido de humedad entre 50% y 60% (en peso) proporciona la humedad adecuada sin limitar la aireación. Si la humedad desciende por debajo del 40%, la actividad microbiana es más lenta, mientras que si excede el 65% se dificulta la circulación de aire a través de la pila.

Aireación

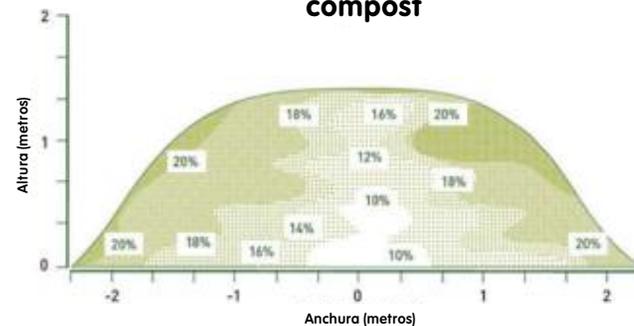
El oxígeno ha de ser suficiente para mantener la actividad microbiana y en ningún caso debe llegar a condiciones anaerobias ya que generaría una caída en el rendimiento y se producirían malos olores.

Las concentraciones de oxígeno mayor del 10% se consideran óptimas para mantener la pila de compost en un medio aeróbico. Algunos sistemas de compostaje pueden mantener un nivel de oxígeno adecuado mediante mecanismos pasivos o naturales de aireación, otros sistemas requieren la aireación activa, con sopladores o con volteos de la pila.

² El residuo orgánico café proviene de restos de podas, ramas y troncos de árboles. Esta fracción es conocida también como fracción lignocelulósica.

³ El residuo orgánico verde proviene de restos de frutas y verduras, principalmente desde hogares, establecimientos comerciales, casinos, ferias y mercados. Además de restos de césped, hojas frescas y plantas derivadas del mantenimiento de parques y jardines.

Concentración de oxígeno en una pila de compost



Fuente: Sepúlveda Villada, Luis Anibal, Alvarado Torres, Jhon Alexander. (2013). *Manual de Compostaje*.

pH:

El pH es un buen indicador de cómo ha evolucionado el proceso de descomposición, en el compostaje. El pH normalmente baja ligeramente durante las primeras etapas del proceso (~5.0) debido a la formación de CO₂ y ácidos orgánicos. Los ácidos sirven como sustratos para futuras poblaciones microbianas. Posteriormente, el pH empieza a subir y puede llegar a niveles tan altos entre 8 y 9 como consecuencia de la liberación de CO₂, la aireación de la biomasa y la producción de amoníaco de la degradación de las proteínas.

2

Evalúa el Potencial
para Compostar en
tu Comuna

ACTIVIDADES DE COMPOSTAJE EN LA REGIÓN



Foto por Reciclo Orgánicos

Un paso inicial en la planificación para la implementación de un programa de compostaje es la exploración de operaciones que cumplan con todos los requisitos dentro del marco de la ley. Para establecer un programa de compostaje en su localidad, podría ser beneficioso cooperar con otras instituciones, agencias gubernamentales locales, empresas de transporte y grupos comunitarios.

Compartir equipos es un ejemplo de este enfoque. Volteadores de compost, trituradoras y sistemas de cribado pueden ser de propiedad conjunta o alquilada. Las empresas privadas pueden suministrar equipo para el agricultor, transporte y procesamiento, y las materias primas pueden ser suministradas por instituciones y establecimientos de servicios alimentarios.

CANTIDAD DE ORGÁNICOS GENERADOS POR REGIÓN



Fuente: Reciclo Orgánicos

En general se estima que el 58% de los residuos sólidos urbanos son de tipo orgánico. En la **Tabla 1** se muestran las estadísticas de generación total y porcentaje de orgánicos para todas las regiones de Chile. Es importante considerar que, para la adecuada evaluación de una instalación de compostaje, es crítico conocer los valores locales de generación de orgánicos ya que pueden variar bastante, según las condiciones locales. Por ejemplo, en aquellas localidades con una alta población rural o con programas de compostaje domiciliario, la proporción de orgánicos disponibles en los residuos que van a disposición final puede ser menor al 50%.

Por otro lado, es importante que, una vez identificado el porcentaje de residuos orgánicos disponibles en el total generado, el equipo técnico a cargo de la evaluación identifique aquellos grandes generadores urbanos tales como ferias,

mercados, colegios, reparticiones públicas, faenas de mantención de parques y jardines, restaurantes, hoteles, etc.

Estas fuentes de volúmenes importantes de orgánicos limpios son fundamentales para iniciar la operación de plantas municipales ya que la logística de recolección y transporte asociada es relativamente fácil en comparación con la recolección diferenciada domiciliaria, la cual puede ser iniciada en una etapa posterior a la entrada en operación o marcha blanca con grandes generadores.

Otro factor a considerar es el acceso a orgánicos “café”, o material rico en carbono para ser mezclado en proporciones adecuadas con el material “verde”. Como norma general, se requieren entre 2 y 4 partes de volumen de material café por cada parte de material verde.

TABLA 1 Cantidad de residuos orgánicos generados por región

Región	Residuos Generados (Ton / año 2017)	Materia orgánica (%)	Materia orgánica (Ton / año 2017)
1. Tarapacá	124.850	47	59.182
2. Antofagasta	212.643	41	86.785
3. Atacama	96.508	48	45.857
4. Coquimbo	263.285	59	154.389
5. Valparaíso	633.722	70	445.597
6. Libertador General Bernardo O'Higgins	296.176	49	146.604
7. Maule	308.412	52	161.145
8. Bio Bío	487.291	57	279.072
9. La Araucanía	263.657	67	177.147
10. Los Lagos	242.633	55	133.448
11. Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	33.188	52	17.225
12. Magallanes y de la Antártica Chilena	42.831	35	14.991
13. Metropolitana de Santiago	2.925.550	57	1.660.633
14. Los Ríos	118.206	49	58.451
15. Arica y Parinacota	92.709	53	49.028
16. Ñuble	133.608	64	86.163

Fuente: 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.

Desde un punto de vista operativo, esto significa que una planta de compostaje debe contar siempre con un stock suficiente de reservas de este material café, ya que esto además ayudará a enfrentar eventuales incidencias como el exceso de agua en las pilas o falta de oxígeno por una estructura sin suficientes espacios para la circulación adecuada de aire, etc.

Actualmente, en Chile solo el 0,4% de los residuos orgánicos municipales es compostado. De hecho, Santa Juana es la única municipalidad en Chile que posee una planta de compost de carácter industrial y un sistema de separación en origen y recolección diferenciada entre sus vecinos.

COSTO DE RECOLECCIÓN Y BENEFICIOS ECONÓMICOS

Este escaso desarrollo tiene que ver con varios factores, siendo el más relevante la inversión asociada a mejorar la gestión de los residuos sólidos urbanos hacia un estándar superior. Además, los costos de gestión de los residuos son comparativamente bajos en Chile, ya que no incorporan todos los costos ambientales asociados al actual modelo de manejo y, por lo tanto, no hay incentivos aparentes para invertir en mejoras. En la siguiente tabla, se presentan los costos promedio por región para la gestión de residuos actual, considerando únicamente la recolección, transporte y disposición final.

TABLA 2 Costos asociados al manejo de residuos orgánicos por región (en pesos chilenos)

Región	Costos por tonelada para recolección y transporte	Costo por tonelada para disposición	Costo total por tonelada
1. Tarapacá	\$ 19.745	\$12.788	\$32.533
2. Antofagasta	\$28.524	\$7.188	\$35.713
3. Atacama	\$32.929	\$14.768	\$47.697
4. Coquimbo	\$21.479	\$9.348	\$30.827
5. Valparaíso	\$37.139	\$7.472	\$ 44.612
6. Libertador General Bernardo O'Higgins	\$ 30.263	\$ 8.703	\$ 38.966
7. Maule	\$ 38.482	\$ 9.250	\$ 47.732
8. Bio Bío	\$ 43.162	\$ 11.956	\$ 55.119
9. La Araucanía	\$ 39.726	\$ 9.882	\$ 49.608
10. Los Lagos	\$ 25.346	\$ 7.755	\$ 33.101
11. Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	\$ 24.857	\$ 12.074	\$ 36.931
12. Magallanes y de la Antártica Chilena	\$ 24.184	\$ 6.720	\$ 30.905
13. Metropolitana de Santiago	\$ 21.380	\$ 10.301	\$ 31.681
14. Los Ríos	\$ 27.972	\$ 6.173	\$ 34.145
15. Arica y Parinacota	\$ 8.133	\$ 2.946	\$ 11.078
16. Ñuble	\$ 26.384	\$ 10.002	\$ 36.386

Fuente: 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.

De acuerdo con la información del Ministerio del Medio Ambiente de Chile, en 2016 se generaron aproximadamente 7,7 millones de toneladas de residuos municipales. De ese total, aproximadamente el 50% correspondía a residuos orgánicos; es decir, alrededor de 3,85 millones de toneladas fueron destinados a disposición final sin ser valorizados (a excepción de una pequeña cantidad que fue valorizada por medio de iniciativas desarrolladas a pequeña escala en algunos municipios del país).

En 2018, solamente se recicló el 6,6% de los residuos sólidos generados a nivel municipal en la Región Metropolitana de Santiago. Adicionalmente, con la modificación del Decreto de Ley 3.063 sobre Rentas Municipales adoptado en el año 2005, la exención del pago por el servicio de aseo (recolección, transporte y disposición final) para la mayoría de las viviendas o unidades habitacionales del país, implicó un mayor gasto municipal para financiar este servicio.

De acuerdo con el “Diagnóstico y Catastro de RSD Año 2017” publicado por SUBDERE, en 2016 el 89% de los municipios del país presentaban un déficit municipal en los servicios de Aseo. Adicionalmente, en promedio, los municipios del país utilizaban el 5,7% del Presupuesto Municipal en servicios de Aseo y Gestión de Residuos.

En Chile, se ha avanzado en el cierre de sitios de disposición final inadecuados y la habilitación de rellenos sanitarios a partir de la promulgación del reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios (Decreto No. 189, de 2008, del Ministerio de Salud). Sin embargo, el uso activo de sitios no aptos para la disposición de residuos sólidos municipales (RSM) sumado a la escasez, cada vez mayor, de sitios disponibles adecuados para la construcción de nuevos rellenos nos enfrenta al desafío de acelerar al máximo una

transición hacia modelos de manejo sostenible de residuos en nuestro país. En ese contexto, debe considerarse, que los residuos orgánicos son los causantes de los principales impactos ambientales asociados a la disposición final, tales como la generación de lixiviados, olores, y gases de efecto invernadero (GEI, principalmente metano) y la proliferación de vectores de enfermedades. Adicionalmente a estos impactos, debemos también cuantificar las oportunidades de valorización que se pierden al enterrar los residuos orgánicos a partir de los cuales se podría generar energía y reciclar la gran cantidad de nutrientes contenidos en ellos.

En el contexto de la tendencia observada en las emisiones de GEI que tiene el sector residuos, las últimas estadísticas (Inventario Nacional de GEI) señalan que el sector residuos representa un 3,3% del balance nacional de GEI en 2016, alcanzando 5.801,1 kt CO₂-equivalente y se ha incrementado en un 95,4% desde 1990 y en un 9,1% desde 2013; lo cual se debe al aumento de la población y sus residuos generados. De este total de emisiones de GEI, el 74,2% corresponden a la disposición de residuos sólidos municipales, industriales y otros, por lo que fomentar acciones de mitigación en este ámbito resulta un desafío clave para el sector.

En el ámbito de la valorización de residuos orgánicos, a pesar de que hoy existen varias iniciativas puntuales a nivel municipal, aplicar la jerarquía en el manejo de los residuos a la fracción orgánica a través de tratamientos alternativos a la disposición final, se ha descartado normalmente por la falta de un esquema de financiamiento que facilite la inversión en opciones de valorización. Esto impide (i) reflejar adecuadamente el principio de “quien contamina paga” al manejo de residuos, (ii) incentivar a que los municipios incorporen el manejo de orgánicos separados en los contratos de aseo o a que (iii) los generadores urbanos y ciudadanos separen sus orgánicos en la fuente.

Además, altos costos iniciales de capital, falta de familiaridad con las tecnologías, falta de mercados robustos para sus productos y desconocimiento sobre modelos de negocio apropiados entre otros, han impedido hasta el momento el despliegue masivo de estas opciones de valorización a pesar de que en muchos casos son económicamente favorables. Por ejemplo, al cuantificar el ahorro por tratamiento de lixiviados, extensión de la vida útil de los rellenos sanitarios, ahorro asociado al transporte de residuos al lugar de disposición final (que muchas veces se encuentran a grandes distancias del Municipio), ingresos por venta de subproductos como compost, biogás, electricidad o calor.

Por su parte, desde una perspectiva ambiental y social, se identifican también una serie de co-beneficios ambientales y sociales, tales como:

Co-beneficios ambientales:



Reducción de las emisiones de GEI que se generan durante la disposición final de residuos orgánicos en rellenos sanitarios, especialmente de gas metano, que, al ser un contaminante climático de vida corta, los beneficios e impactos debido a su mitigación en salud, ecosistemas y el clima son más inmediatos.



La reducción de los residuos depositados en el relleno sanitario reduce la generación de lixiviados del relleno sanitario y por lo tanto evita la contaminación adicional de los acuíferos.



El uso de compost producido en la agricultura y el mantenimiento de áreas verdes pueden ayudar a reemplazar el uso de fertilizantes químicos.



La transformación de un residuo en fertilizante natural y el regreso de nutrientes al suelo y al ciclo silvoagropecuario.



El aumento en el reciclaje de materiales, a lo que podría contribuir la separación en origen de residuos orgánicos, puede reducir el uso de materias primas (papel, plástico, metales, etc.).

Co-beneficios sociales:



Disminución de los impactos en la salud de la población al reducir los contaminantes del aire a nivel local y mejorar la calidad del aire, así como la contaminación del suelo y el agua, especialmente para las poblaciones que viven cerca del relleno sanitario.



Creación de empleos: las tecnologías de tratamiento de residuos alternativas pueden generar más empleos que los rellenos sanitarios.



Crear estilos de vida sostenibles y aumentar la calidad de vida de las poblaciones más vulnerables, como los recicladores informales, ya que los materiales reciclables no estarán tan contaminados con residuos orgánicos.

Co-beneficios económicos:



Si la planta de compost está localizada más cerca que el actual sitio de disposición se pueden generar ahorros en costos de transporte y disposición final derivados de la disminución de los residuos orgánicos llevados a relleno sanitario.



La desviación de residuos orgánicos hacia compostaje resulta en una extensión de la vida útil de los rellenos sanitarios y ahorro en costos de manejo de lixiviados.



La valorización de los residuos orgánicos y su eventual comercialización pueden generar ingresos adicionales a los ahorros.



Creación de nuevos mercados y oportunidades de negocio.

NORMATIVA LEGAL APLICABLE AL COMPOSTAJE EN CHILE



Foto por Reciclo Orgánicos

Chile esta desarrollando durante 2018-2030 del Ministerio del Medio Ambiente, un documento que establece las directrices para la gestión integral de los residuos. Determina las obligaciones para los generadores, gestores, importadores y exportadores de residuos. Además, Chile está desarrollando durante 2020 la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos 2020-2040, donde se contará con nuevas directrices para la gestión de residuos orgánicos.

A continuación, se mencionan algunas normativas relacionadas con la gestión de residuos orgánicos y compostaje:

NCh 3322:2013 del Instituto Nacional de Normalización: Colores de Contenedores para Identificar Distintas Fracciones de Residuos.

NCh 2880:2015 del Instituto Nacional de Normalización: **Compost-Requisitos de Calidad y Clasificación.**

El siguiente apartado tiene por objeto orientar acerca de las exigencias de uso de suelo, ambientales y sanitarias que deben tenerse en consideración para la instalación de una planta de compostaje, así como respecto de la normativa aplicable a la actividad de compostaje.

Requisitos de uso de suelo

El sitio específico en que se pretende emplazar una planta de compostaje debe ser compatible con el uso de suelo regulado por los respectivos Instrumentos de Planificación Territorial.

De acuerdo con el Decreto Supremo No. 47 de 1992 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), corresponde a los Instrumentos de Planificación territorial definir los usos de suelo de cada zona. En efecto, para la fijación y aplicación de dichos usos de suelo, el artículo 2.1.24 los agrupa en seis tipos de uso, susceptibles de emplazarse simultáneamente en la misma zona, incluyendo el tipo de uso “Infraestructura”.

Por su parte, el artículo 2.1.29 señala que el tipo de uso Infraestructura se refiere a las edificaciones o instalaciones y a las redes o trazados destinadas, entre otras, a “infraestructura sanitaria, tales como, plantas de captación, distribución o tratamiento de agua potable o de aguas servidas, de aguas lluvia, rellenos sanitarios, estaciones exclusivas de transferencia de residuos, etc.”. En conformidad a la definición transcrita, y aunque la norma no lo señala de manera explícita, una planta de compostaje corresponde también a este grupo.

Conforme a lo señalado, se deben analizar los usos de suelo regulados por los Instrumentos de Planificación Territorial vigentes en el lugar en que quiere instalar la planta de compostaje con el objeto de determinar si existe compatibilidad territorial entre el proyecto y dichos instrumentos.

Requisitos ambientales

Una vez determinada la compatibilidad territorial, corresponde evaluar si el proyecto es de aquellos obligados a ingresar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).

De acuerdo con la legislación vigente, deben someterse al SEIA los proyectos o actividades indicados en el artículo 10 de la Ley No. 19.300 sobre bases generales del medio ambiente (Ley No. 19.300) y detallados en el artículo 3 del Decreto Supremo No. 40 de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente, Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (RSEIA).

Al respecto, el artículo 10 de la Ley No. 19.300, literal o), señala dentro de su enumeración los “Proyectos de saneamiento ambiental, tales como sistemas de alcantarillado y agua potable, plantas de tratamiento de aguas o de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, emisarios submarinos, sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos o sólidos.”

Por su parte, el artículo 3 del RSEIA indica que “Se entenderá por proyectos de saneamiento ambiental al conjunto de obras, servicios, técnicas, dispositivos o piezas que correspondan a: (...).

o.5 Plantas de tratamiento y/o disposición de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, estaciones de transferencia y centros de acopio y clasificación que atiendan a una población igual o mayor a cinco mil (5.000) habitantes”.

De acuerdo con lo anterior, las plantas de compostaje para el tratamiento de residuos orgánicos se enmarcan en la tipología de ingreso indicada en el literal 0.5) del artículo 3 del RSEIA y, por lo tanto, **están obligadas a ingresar al SEIA siempre que tengan la capacidad de atender a una población igual o mayor a 5.000 habitantes.**

Para determinar la cantidad de residuos domiciliarios correspondientes a 5.000 habitantes al día, debemos multiplicar el factor de generación diaria que aproximadamente corresponde a 1 kg (entre 0,8 y 1,2 dependiendo de cada comuna) por persona cada 24 horas, por 5.000, por lo que estamos frente a una generación diaria de entre 4 a 6 ton de residuos domiciliarios, aproximadamente.

En dicho caso, la regla general es que los proyectos de compostaje ingresen al SEIA mediante una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), salvo en el caso que generen o presenten alguno de los efectos, características o circunstancias enumerados en el artículo 11 de la Ley No. 19.300, y detallados en los artículos 5 al 10 del RSEIA, a saber:

Riesgo para la salud de la población, Efectos adversos significativos sobre los recursos naturales renovables, Reasentamiento de comunidades humanas o alteración significativa de los sistemas de vida y costumbres de grupos humanos, localización en o próxima a poblaciones, recursos, áreas protegidas y valor ambiental del territorio, Alteración del valor paisajístico o turístico de una zona y Alteración del patrimonio cultural.

Cualquiera sea la vía de ingreso al SEIA, durante el procedimiento de evaluación ambiental, deberá solicitarse el Permiso Ambiental Sectorial Mixto del artículo de 140 del RSEIA: permiso para la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier planta de tratamiento de basuras y desperdicios de cualquier clase o para la instalación de todo lugar destinado a la acumulación, selección, industrialización, comercio o disposición final de basuras y desperdicios de cualquier clase.

Lo señalado anteriormente, no obsta a que la planta de compostaje deba ingresar al SEIA en virtud de otras tipologías de ingreso que se configuren de acuerdo con sus características específicas.

Finalmente, cabe señalar que el proceso de tramitación de una DIA tiene una duración de 60 días ampliables, por una sola vez, hasta 30 días adicionales.

Requisitos sanitarios

Ya sea que una planta de compostaje esté o no obligada a ingresar al SEIA, debe contar con las autorizaciones sectoriales referidas a las condiciones generales y particulares de la industria, actividad o proceso desarrollado. A continuación, se enumeran los permisos sectoriales aplicables a la actividad de compostaje de residuos orgánicos.

SEREMI de Salud respectiva: Solicitud de autorización para proceder a la construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier planta de tratamiento de basuras y desperdicios de cualquier clase, será necesaria la aprobación previa del proyecto por el Servicio Nacional de Salud (Artículo 79 del Código Sanitario).

SEREMI de Salud respectiva: Solicitud de autorización para la instalación y vigilar el funcionamiento de todo lugar destinado a la acumulación, selección, industrialización, comercio o disposición final de basuras y desperdicios de cualquier clase (Artículo 80 del Código Sanitario).

En cuanto a otros permisos exigidos por la Autoridad Sanitaria, la información varía de una región a otra. Por ejemplo, en algunas regiones debe solicitarse autorización de destinatario de residuos y, en otras, se exige solicitar autorización sanitaria para efectuar disposición final de residuos no peligrosos en predio industrial, local o lugar de trabajo o aprobación de proyectos de rellenos sanitarios, estaciones de transferencia o plantas de tratamiento de basuras y desperdicios.

En este contexto, **se recomienda consultar a la Autoridad Sanitaria respectiva, una vez que se cuente con el diseño del proyecto y con el área específica de su emplazamiento.**



Foto por Ilustre Municipalidad de San Antonio.

Normativa aplicable

En relación con la normativa aplicable a compostaje, es necesario tener presente que actualmente no existen normas específicas que regulen el compostaje, con excepción de aquella que indica los requisitos del compost. Sin embargo, son aplicables a la actividad del compostaje algunas disposiciones de la normativa general, a saber:

1 Ley N°19.300 sobre bases generales del medio ambiente y su reglamento

Tal como se señaló en la sección de requisitos ambientales, las plantas de compostaje deben ingresar al SEIA, de acuerdo con lo establecido en los artículos 10 letra o) de la Ley No. 19.300 y 3 literal o.5 del RSEIA.

2 Norma Chilena NCh 3382: 2016 “Gestión de residuos – Plantas de compostaje – Consideraciones para el diseño y operación”, del Instituto Nacional de Normalización

Esta norma detalla los requisitos de diseño y operación que deben cumplir las plantas de compostaje.

3 Norma Chilena NCh 2880: 2015 “Compost – Requisitos de calidad y clasificación”, del Instituto Nacional de Normalización

Esta norma clasifica el compost en diferentes clases y establece sus requisitos de calidad.

4 Ley No. 20.920 que establece marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje

Esta norma, en su artículo 3 No. 23, define reciclaje como el “empleo de un residuo como insumo o materia prima en un proceso productivo, incluyendo el coprocesamiento y compostaje (...)”. Es decir, la Ley No. 20.920 considera el compostaje como un tipo de reciclaje.

Por otra parte, el artículo el No. 10 de la misma disposición, define gestor como una “persona natural o jurídica, pública o privada, que realiza cualquiera de las operaciones de manejo de residuos y que se encuentra autorizada y registrada en conformidad a la normativa vigente”. En consecuencia, el titular de la planta de compostaje correspondería a un gestor según la Ley No. 20.920.

De acuerdo con el inciso 3 del artículo 5 del mismo cuerpo legal, “Los residuos sólidos domiciliarios y asimilables deberán ser entregados a la municipalidad correspondiente o a un gestor autorizado para su manejo”.

Por su parte, el artículo 6, indica que “Todo gestor deberá manejar los residuos de manera ambientalmente racional, aplicando las mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales, en conformidad a la normativa vigente, y contar con la o las autorizaciones correspondientes.

Asimismo, todo gestor deberá declarar, a través del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, al menos, el tipo, cantidad, costos, tarifa del servicio, origen, tratamiento y destino de los residuos, de acuerdo con lo dispuesto en el reglamento a que se refiere el artículo 70, letra p), de la ley No. 19.300”.

5 Decreto Supremo No. 1 de 2013, del Ministerio del Medio Ambiente, reglamento del registro de emisiones y transferencias de contaminantes (RETC)

De acuerdo con el artículo 1, el RETC es una “base de datos accesible al público, destinada a capturar, recopilar, sistematizar, conservar, analizar y difundir la información sobre emisiones, residuos y transferencias de contaminantes potencialmente dañinos para la salud y el medio ambiente que son emitidos al entorno, generados en actividades industriales o no industriales o transferidos para su valorización o eliminación”.

El artículo 3 letra a) define destinatarios de residuos como “todo recinto, edificación, construcción o medio fijo o móvil, debidamente autorizado, donde se realice una valorización o eliminación de residuos, bajo condiciones de operación controladas”. En este sentido, una planta de compostaje se enmarca en esta definición.

De este modo, en virtud del artículo 18 letra g), los titulares de plantas de compostaje están obligados a reportar a través del Sistema de Ventanilla Única en cuanto constituyen destinatarios de residuos. En efecto, el artículo 28 dispone que “Los destinatarios de residuos, que reciban anualmente más de 12 toneladas de residuos, deberán declarar los residuos recepcionados el año anterior a través del Sistema de Ventanilla Única del RETC, al 30 de marzo de cada año (...)”.

6 Decreto con Fuerza de Ley No. 725 del Ministerio de Salud, Código Sanitario

Esta norma establece los permisos sectoriales aplicables a la actividad de compostaje de residuos orgánicos.

7 Decreto Supremo No. 47 de 1992, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones

De acuerdo con esta norma, el tipo de uso de suelo requerido para la instalación de una planta de compostaje es el de Infraestructura. Finalmente, la normativa local aplicable a un proyecto, correspondiente a las Ordenanzas Municipales y a los Instrumentos de Planificación Territorial, debe determinarse en el caso concreto según el lugar en que se emplace la planta de compostaje.

Conclusiones

La instalación de una planta de compostaje debe cumplir con requisitos de uso de suelo, ambientales y sanitarios. En cuanto al uso de suelo, se debe corroborar que el lugar en que se emplace el proyecto sea compatible con el uso de suelo regulado por los respectivos Instrumentos de Planificación Territorial.

En lo relativo a las exigencias ambientales, una planta de compostaje debe ingresar al SEIA si tiene la capacidad de atender a una población igual o mayor a 5.000 habitantes (Artículo 3 literal o.5 del RSEIA), que se traduce en una capacidad de generación día de entre 4 a 6 ton de residuos domiciliarios, aproximadamente.

En dicho caso, la regla general es que el proyecto ingrese vía DIA, debiendo solicitarse el Permiso Ambiental Sectorial Mixto del artículo de 140 del RSEIA. En cuanto a los requerimientos sanitarios, deben obtenerse las autorizaciones sectoriales correspondientes por parte de la SEREMI de Salud respectiva. Aunque difieren de una región a otra, en general se exige:

- Autorización de proyecto y de funcionamiento de todo lugar destinado a la acumulación, selección, industrialización, comercio o disposición final de basuras y desperdicios de cual-

quier clase.

- Autorización de destinatario de residuos no peligrosos.
- Autorización sanitaria para efectuar disposición final de residuos no peligrosos en predio industrial, local o lugar de trabajo.
- Autorización de proyectos de rellenos sanitarios, estaciones de transferencia o plantas de tratamiento de basuras y desperdicios.

En relación con la normativa general aplicable a la actividad de compostaje se detectaron las siguientes normas:

- a) Ley No. 19.300 sobre bases generales del medio ambiente y su reglamento.**
- b) Norma Chilena NCh 3382: 2016 "Gestión de residuos (Plantas de compostaje). Consideraciones para el diseño y operación", del Instituto Nacional de Normalización.**
- c) Norma Chilena NCh 2880: 2015 "Compost - Requisitos de calidad y clasificación", del Instituto Nacional de Normalización.**
- d) Ley No. 20.920 que establece marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje.**
- e) Decreto Supremo No. 1 de 2013, del Ministerio del Medio Ambiente, reglamento del RETC.**

- f) Decreto con Fuerza de Ley No. 725 del Ministerio de Salud, Código Sanitario.
- g) Decreto Supremo No. 47 de 1992, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. De acuerdo con esta norma, debe tenerse en consideración que el lugar de emplazamiento de una planta de compostaje debe ser compatible con los usos de suelo regulados en los respectivos Instrumentos de Planificación Territorial.

Por último, la normativa local aplicable, correspondiente a las Ordenanzas Municipales y a los Instrumentos de Planificación Territorial, debe determinarse según el lugar en que se emplace el proyecto.

3

Consideraciones Técnicas del Proyecto

UBICACIÓN DE LA PLANTA DE COMPOSTAJE



Foto por Shutterstock

Esta sección describe las mejores prácticas de gestión para la selección del sitio para una planta de compostaje. El proceso de compostaje a gran escala podría generar olores en las cercanías inmediatas, los cuales pueden mitigarse a través de la planificación inicial, además de realizar un adecuado proceso. Por lo tanto, la selección de un sitio que esté bien ubicado y de tamaño suficiente para acomodar los residuos orgánicos esperados, es una parte crítica del proceso de planificación.

La mala selección del sitio es una razón clave por la que, muchas veces, fallan las instalaciones de compost. Los principios presentados aquí se aplican a la gama de instalacio-

nes de compost que emplean una variedad de tecnologías y materias primas (por ejemplo, desperdicios de alimentos, residuos de hojas y jardines). Esta información se aplica particularmente para el compostaje de tecnología baja a media (por ejemplo, pilas, pilas con cubierta de membrana), pero los principios también se aplican a las tecnologías de compostaje más avanzadas (como contenedores).

Antes de comenzar el proceso de selección del sitio, se debe hacer lo siguiente:

- Identificar a los funcionarios públicos con jurisdicción sobre la instalación de compost propuesta.

- Revisar las regulaciones locales de compostaje.
- Identificar el equipo del proyecto (ingeniero, abogado, contratista, proveedores de equipos, por nombrar algunos).

Como parte de la investigación en ubicaciones potenciales para la planta, se debe recolectar la siguiente información:

- Zonificación.
- Parámetros meteorológicos (por ejemplo, dirección del viento y precipitaciones).
- Identificar recursos críticos de agua superficial y subterránea.
- Identificar "receptores sensibles" (por ejemplo, escuelas, hospitales, iglesias).
- Identificar espacios de protección entre el sitio y sus vecinos, tales como bosques, caminos, paredes, colinas, lagos, entre otros.
- Identificar posibles áreas para futuras expansiones de la instalación.
- Detalle de rutas de transporte circundantes.

Capacidad del sitio y dimensionamiento

Uno de los primeros y principales pasos en la selección del sitio, y la posterior planificación y desarrollo, es comprender la cantidad de material que se recibirá. Un espacio inadecuado combinado con cantidades excesivas de materiales entrantes puede causar olores y problemas.

Como regla general, las plantas de pilas continuas al aire libre no pueden manejar eficientemente más de 9.500 m³/ha-año. Generalmente, 15.000 m³/ha-año es el límite superior para un sitio administrado intensamente. Este rango incluye espacio para la recepción de material, el pre procesamiento, el almacenamiento del producto y un estanque de aguas pluviales/lixiviados. Demasiado material en el sitio hace difícil para los operadores mezclar y voltear correctamente el material.

El uso de varias tecnologías puede resultar en requisitos de espacios más bajos. Hay que tener en cuenta que el espacio para la recepción, el pre procesamiento y el almacenamiento de material no cambia. Por lo general, se requerirá espacio para curar el compost y un estanque de aguas pluviales/lixiviados.

Resultado: El tamaño aproximado de la instalación.

Ubicación del sitio

El proceso de compostaje a mayor escala puede generar olores en sus cercanías más inmediatas. Sin embargo, dichos olores se pueden mitigar mediante la realización de un proceso adecuado y una ubicación favorable. Para garantizar que estos olores no sean una molestia, el sitio podría estar ubicado lejos de los "receptores sensibles". Por lo general, las áreas agrícolas rurales o las zonas para operaciones industriales son más adecuadas para las tecnologías de compostaje al aire libre.

Cuando se utilizan enfoques más sofisticados, los estándares de ubicación de las instalaciones pueden modificarse. Una fase de diseño adecuada disminuye las probabilidades de ocasionar molestias a comunidades cercanas.

Resultado: Resumen de las consideraciones de ubicación del sitio.

Selección de sitios potenciales

Se puede identificar una lista de sitios potenciales que cumplan con los requisitos de tamaño.

Esta lista de sitios puede desarrollarse revisando parcelas de terrenos que ya son de propiedad municipal y/o trabajando con un agente de bienes raíces para identificar posibles ubicaciones. Deben resumirse por tamaño y ubicación.

Resultado: Resumen de ubicaciones potenciales del sitio.

Evaluación de sitio

Hay una serie de criterios de selección de sitios que se deben considerar, entre los que destacan la proximidad a los generadores, la zonificación, la calidad de las rutas de transporte, la oportunidad de expansión del sitio, el acceso a los servicios públicos y los espacios de protección para los vecinos y receptores sensibles.

Para determinar la idoneidad de cada sitio, debe evaluarse lo siguiente:

Plano del sitio y diseño preliminar

La selección del sitio incluye el desarrollo de un plan para encontrar una ubicación adecuada; adaptar el método de compostaje al sitio (o viceversa); proporcionando suficiente área

de tierra para las operaciones e implementando escorrentía superficial y medidas de control de la contaminación según sea necesario.

Un sitio de compost debe proporcionar un área adecuada y poder lidiar con todas las condiciones climáticas, a la vez que minimiza el riesgo ambiental, el olor y el ruido.

El diseño eficiente de las instalaciones es importante para minimizar la frecuencia y la cantidad de movimiento de material en el sitio.

En general, para las plantas con pilas continuas al aire libre, aproximadamente el 20% del espacio debe ser para la recepción y el pre procesamiento del material; 60-70% para procesamiento y 10-20% para el curado, almacenamiento y un estanque de aguas pluviales y/o lixiviados.

Esto variará considerablemente dependiendo de la tecnología de procesamiento utilizada.

La aplicación de tecnologías más avanzadas (es decir, que proporcionan aireación adicional a los residuos orgánicos) reduce la cantidad de espacio de procesamiento requerido.

Para ayudar a comprender los posibles impactos de los sitios potenciales, los operadores deben hacer un esquema de la instalación, mostrando todas las áreas y factores clave que afectarán las operaciones, incluyendo:

- Diseño preliminar de las operaciones del sitio (por ejemplo, recepción de material, compostaje)
- Dirección del viento predominante

- Usos del suelo circundante
- Patrones de escorrentía
- Humedales o cuerpos de agua
- Ubicaciones de posibles receptores sensibles
- Patrones de flujo de tráfico
- Capacidad de expansión del sitio

Resultado: Se debe desarrollar un diseño aproximado del sitio para cada ubicación potencial de la planta.

Sitio zonificación

¿Se puede construir una planta de compostaje en la ubicación potencial? Si la respuesta es no, ¿cuál es la probabilidad de que pueda cambiarse la zonificación?

Producto: Evaluación de la zonificación para cada una de las ubicaciones potenciales de la planta.

El acceso al sitio

Las entradas y salidas apropiadas del sitio son especialmente importantes para proporcionar a las instalaciones una buena imagen pública. Algunas recomendaciones importantes para el acceso a la planta incluyen:

- Red de rutas de buena calidad y preferiblemente pavimentadas hacia la instalación.

- Ubicar la entrada al sitio en o cerca de las principales rutas de transporte.
- Evitar ubicar la entrada del sitio adyacente a las calles residenciales.
- Se debe garantizar que los vehículos de entrada y salida puedan entrar y salir del tráfico de manera segura.

Resultado: Evaluación del acceso al sitio por ubicación potencial del sitio.

Acceso a servicios básicos

El acceso a los servicios públicos comunes es un aspecto clave para las instalaciones de compost.

La electricidad, el agua, el teléfono, Internet y el alcantarillado sanitario (o tanque séptico y campo de drenaje) son elementos básicos que la mayoría de los sitios requerirán para una operación exitosa.

El acceso al agua para el acondicionamiento de la humedad de la masa de compostaje es particularmente crítico cuando las condiciones y los materiales son secos y susceptibles a la combustión.

Resultado: acceso del sitio a la evaluación de servicios por ubicación potencial del sitio.

Restricciones de entorno

Deben observarse contratiempos de receptores sensibles y

otros factores siempre que sea posible.

Comprobar si Chile tiene contratiempos específicos requeridos:

Obligatorios:

- 200 m de un receptor sensible (por ejemplo, hospitales, iglesias, escuelas, hogares de ancianos)
- 200 m de pozos activos

Recomendados:

- 100 m de residencias
- 75 m de humedales naturales o artificiales.

Cuando no sea factible las distancias mínimas recomendadas, es posible utilizar elementos de protección para mitigar parcialmente los efectos del impacto de una planta de compostaje.

Estos elementos pueden incluir bermas construidas e hileras de árboles.

Los amortiguadores deben aprovechar los vientos predominantes, las áreas boscosas y las colinas para prevenir de manera rentable el impacto de compensación.

Éstas sirven para bloquear los efectos del ruido y los impactos visuales del sitio de los vecinos, pero lo más importante es que tengan un impacto en la mitigación de olores, permitiendo que el nivel de olores sea mínimo o nulo.

Resultado: Evaluación del retroceso del sitio por ubicación potencial del sitio.

Matriz de puntuación de evaluación del sitio

Para evaluar varios sitios, se podría utilizar la siguiente matriz de evaluación. Si un sitio potencial falla, se deja de considerar. Los criterios restantes se puntúan de 1 a 10 para cada sitio.

Las puntuaciones resultantes se pueden usar para ayudar a identificar los sitios más favorables. Esta matriz se puede expandir agregando otros criterios específicos a nivel local.

TABLA 3 Matriz de evaluación de puntuación del sitio

Criterio	Puntaje	Resultado
El tamaño del sitio cumple con los requisitos	Aprobado/No	
El sitio cumple con los requisitos obligatorios para la obtención de permisos ambientales	Aprobado/No	
Cumple con el requisito de zonificación o la posibilidad de que se pueda cambiar la zonificación	0-10	
El sitio cumple con los requisitos de distancia mínima recomendados (por ejemplo, residencias)	0-10	
Proximidad a generadores	0-10	
Acceso de calidad al sitio (es decir, transporte)	0-10	
Acceso a los servicios públicos requeridos.	0-10	
El sitio es expandible	0-10	
Puntaje Total (0-60)	60	

Fuente: Paul Van der Werf (2019).

Resumen del informe

Se puede preparar un informe resumido del proceso de selección del sitio. Las diversas secciones se pueden extraer de los "Resultados" en las secciones anteriores, junto con la matriz de evaluación anterior.

El informe debe describir adecuadamente el proceso y presentar un resumen de los resultados y recomendar el (los) sitio (s) preferido (s).

CALIDAD DE LA MATERIA PRIMA



Foto por Shutterstock

Uno de los factores más importantes para garantizar una operación exitosa de compostaje es la calidad de la materia prima, siendo la preparación de ésta el primer y más importante paso en el proceso.

Específicamente, este paso se refiere al proceso de acondi-

cionamiento de las características físicas y químicas de la materia prima, con el fin de proporcionar las condiciones óptimas para que se desarrollen los microorganismos necesarios para una operación eficiente de compostaje.

Dependiendo del tipo de materia prima y la tecnología de compostaje a utilizarse, el proceso puede incluir uno o más de los siguientes pasos:

- Desembolsado
- Clasificación
- Cribado
- Moler o triturar para reducir el tamaño de las partículas
- Adición de acondicionadores y/o inoculantes (por ejemplo, compost reciclado) para ajustar las características físicas o químicas de las materias primas a utilizarse
- Adición de agua o de lixiviados
- Mezcla de materia prima, acondicionadores, agua, lixiviados, y/o inoculantes juntos para obtener una mezcla homogénea

Generalmente, los residuos orgánicos (sobre todo los vegetales, frutas y verduras) suelen mezclarse con residuos de jardinería, astillas de madera, aserrín, etc., lo que proporciona la porosidad necesaria para el proceso, pero también ayuda a balancear la relación entre los residuos ricos en nitrógeno con aquellos ricos en carbono.

Por cada unidad en volumen de residuos orgánicos verdes (restos de frutas y verduras) que se ingresa al proceso, se

requiere adicionar entre 2-4 veces el mismo volumen de material café (astillas de madera, aserrín, etc.).

Reducción del tamaño de partícula

La velocidad de descomposición de la materia orgánica se ve afectada por el tamaño de las partículas de materia prima. Cuanto menor sea el tamaño del material, mayor será el área superficial en relación con su volumen. Mientras más grande sea el área superficial, mayor será la cantidad de material disponible para la degradación microbiana. De igual manera, la velocidad del proceso también será más rápida. Varios diseños están disponibles en el mercado para lograr la reducción de tamaño de partícula. Los tres equipos utilizados más comúnmente para reducir el tamaño de partícula de las materias primas y modificaciones en la industria de tratamiento de residuos orgánicos son: (i) Trituradoras de tolva, (ii) Trituradoras horizontales, y (iii) Trituradoras de cizallamiento.

Trituradoras de tambor



Foto por Shutterstock

Utilizan un gran receptáculo de rotación en la que se carga la materia prima (típicamente mediante un cargador frontal). La rotación del receptáculo sirve para mover y forzar a los materiales contra el molino de martillos. Una vez que el material fue molido, y alcanzó el tamaño deseado, éste se cae a través de las rejillas en la parte inferior del receptáculo, normalmente, sobre una cinta transportadora que transfiere materiales hacia una reserva al lado de la máquina.

Trituradoras horizontales

Utilizan molinos de martillo o molinos de cuchillas fijas para moler los materiales, y un conjunto de rejillas para el control de tamaño de partícula. Las trituradoras horizontales tienen un sistema transportador grande y horizontal, que mueve el material lateralmente hacia el molino. Justo delante del molino existe un tambor grande de alimentación que agarra los materiales y los posiciona frente a la almazara. La cámara de molienda está completamente encerrada dentro de la máquina.

Trituradoras de cizallamiento

Utiliza pares de ejes de giro contrario con varios discos de corte que giran a menor velocidad. El material que pasa entre los discos se corta en trozos más pequeños y cae sobre una cinta transportadora debajo de la máquina. Su capacidad de molienda y su velocidad de funcionamiento más lento hacen de este tipo de trituradora la opción más apropiada para el manejo de mezclas que contienen grandes cantidades de residuos de alimentos.

Mezcla

Establecer una mezcla homogénea es un paso importante para proporcionar condiciones óptimas de compostaje y reducir la posibilidad de que se generen problemas. Existen varios tipos de mezcladores disponibles en el mercado y generalmente consisten en una tolva con un mecanismo de mezcla montado sobre un eje vertical u horizontal.

Mezcladores verticales

Por lo general, en su base tienen uno o dos augers de más de 1 metro de diámetro y tienen descubierta su parte superior (para recibir el material desde la parte de arriba). Los materiales se cargan en la tolva usando transportadores o un cargador frontal, y se mezcla durante un período de aproximadamente 5 a 10 minutos. Una vez mezclados, los materiales son descargados a través de una puerta en el costado de la tolva de mezcla.

Mezcladores horizontales

Incluye a los molinos de amasado, molinos de arado y los mezcladores de barrena. Los dos primeros tienen un único eje horizontal y brazos de mezcla con paletas o cuchillas en forma de arado fijadas en sus extremos. El sistema incluye de tres a cuatro taladros dispuestos horizontalmente y a diferentes alturas. Los materiales también se cargan en la parte superior, y la mezcla se logra a través del efecto combinado de la acción de giro de los tornillos sin fin y el efecto de la gravedad.

Otro factor por considerar al momento de definir la mezcla es la eliminación de metales ferrosos. Los contaminantes de metales ferrosos tales como clavos, tapas de botellas, etc. pueden obstruir o dañar los equipos de mezcla, o sus bordes afilados pueden provocar lesiones a las personas que utilizan el compost terminado. Para su remoción, a menudo se utilizan sistemas de imanes instalados en las cintas transportadoras o de cribado.

Cuando el contenido de humedad de los materiales que están siendo compostados es menor al 50%, el proceso de descomposición se ve afectado. Por ese motivo, considerando que el contenido de humedad de algunos residuos sólidos municipales (tales como hojas y la hierba seca) suele ser menor al 50%, es difícil lograr un proceso de compostaje activo sostenido. Para lograrlo, se debe añadir humedad adicional.

Como si fuera poco, también se pierde humedad por el mismo calor generado durante el proceso de compostaje activo, por lo que es necesario aumentar la humedad durante la etapa de preparación del material con el fin de compensar estas pérdidas, incluso si eso implica añadir materiales de alimentación más húmedos como los residuos verdes.

Eliminación de metales ferrosos

La humedad también se puede añadir durante la etapa de preparación. Los sistemas estacionarios se pueden configurar para permitir el riego a presión del agua o lixiviado sobre los materiales que salen de la molienda y la trituración. Sin embargo, el agua o lixiviado también pueden ser bombeados directamente en el equipo de mezcla.

Es importante tener en cuenta que las superficies de las pilas

de hileras deben ser regadas con precaución, ya que el riego excesivo puede sellar los espacios libres (llenos de aire) existentes en la capa húmeda de la pila, o, en su defecto, el agua puede migrar rápidamente a la parte basal de la pila, lo cual podría ocasionar el sobre humedecimiento de la pila e, incluso, generar lixiviados.

El agua o la adición de lixiviados

Una buena práctica para evitar estos problemas es la de cubrir las hileras, tan pronto como sea posible, para cubrirlas de los eventos de lluvia o riego significativos.

En resumen

El compostaje debe considerarse como un proceso de fabricación organizada que requiere la utilización de material orgánico limpio. Por lo tanto, para asegurar el éxito del proceso de compostaje, es crítico contar con un sistema de pretratamiento de las materias primas, mismo que además debe estar muy bien diseñado e implementado de modo que podamos asegurarnos de que materia prima de buena calidad es utilizada desde el inicio del proceso.

TECNOLOGÍA Y SELECCIÓN DE EQUIPOS



Foto por Shutterstock

Esta sección describe de forma general la selección de una tecnología de compost apropiada y los requisitos del equipo. Este proceso es un paso esencial y crítico en el desarrollo de instalaciones de compost.

La selección de la tecnología se hará, en gran medida, en función del tipo y tonelaje de los materiales a compostar, los que deben definirse claramente antes de continuar.

Esto incluye calcular las toneladas de material esperado por tipo de material (por ejemplo, residuos de alimentos o de jardines) y su naturaleza (rico en nitrógeno o rico en carbono).

Los materiales ricos en carbono (como residuos de jardín) a menudo se pueden compostar solos por su cuenta, utilizando una tecnología simple. Sin embargo, los materiales ricos en nitrógeno deben mezclarse con materiales ricos en carbono para facilitar un proceso de compostaje eficiente y ordenado.

Una regla general es que por cada tonelada de material rico en nitrógeno (verde) se requiere una de material rico en carbono (café). Habitualmente, el material orgánico verde requiere una tecnología de compostaje más sofisticada, que ofrezca suficiente aireación y pueda administrar los gases de compostaje.

El aspecto que hace que el compostaje a escala industrial sea único es que puede ser bastante simple y relativamente barato en su nivel inicial.

Los materiales orgánicos pueden ser compostados al aire libre y esto es a menudo un punto de partida para el desarrollo de las plantas.

Esto es especialmente adecuado para materiales orgánicos ricos en carbono, pero en general menos adecuado para materiales ricos en nitrógeno.

En general, las tecnologías de compost varían según el tipo de sistema de aireación que se utilizará para ventilar las pilas de compostaje, y también, según cómo se gestionan las emisiones de olor durante el proceso.

Las tecnologías de compostaje con sistemas de ventilación mecánica pueden compostar más materiales en el mismo espacio, comparado a las tecnologías que se basan en el volteo de la pila de compost como proceso de aireación.

Por lo tanto, la selección de una tecnología de compostaje debe asegurar que los materiales puedan ser adecuadamente aireados y que tengan un control óptimo de olores que se pueden generar en el proceso. Esto debe ser equilibrado con los costos de capital y operativos.

Las siguientes secciones proveen una introducción a las principales tecnologías de compostaje incluyendo: tecnologías de equipos aireados como pila estática, y tecnologías aireadas mecánicamente incluyendo pila estática aireada, pila estática aireada con cubierta semipermeable, trincheras y túneles.

Pila estática

En su forma más simple, los materiales de compost se pueden colocar en una pila y voltear con poca frecuencia. Las pilas estáticas se basan en la aireación natural y típicamente convectiva. Esto solo es adecuado para pequeñas cantidades ricas en carbono (<500 toneladas/año).

Sin embargo, no es una tecnología adecuada para grandes cantidades de residuos sólidos ricos en nitrógeno ya que las demandas de aireación y el olor no se pueden manejar adecuadamente. El proceso de compostaje será muy lento, demorando entre 18 y 24 meses.

Compostaje de pilas continuas

El compostaje de pilas es el proceso de colocar materiales de compost en pilas continuas. Las pilas suelen tener una altura de 1 a 4 metros (**Figura 1**), y la altura depende de si es volteada por un cargador frontal (parte superior del rango) (**Figura 2**) o por un volteador de pilas (**Figura 3**).

La longitud de la pila depende del área disponible para el proceso de compostaje.

En una pila, el control de la temperatura y los niveles de oxígeno se manejan mediante agitación mecánica. El volteo de

pilas introduce oxígeno, acelera la degradación física de las materias primas y brinda la oportunidad de ajustar el contenido de humedad al nivel óptimo.

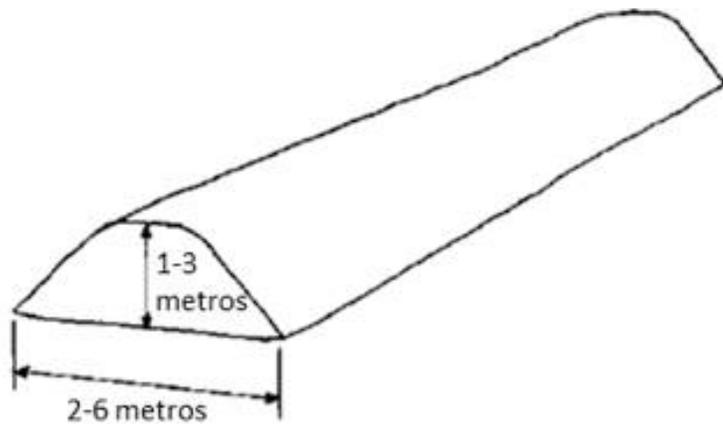
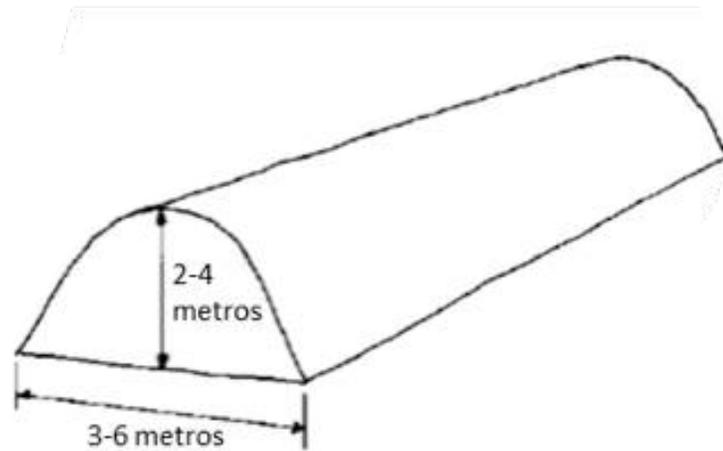
A menudo se utiliza solo un cargador frontal. Para proporcionar un volteo adicional y más completo, se puede utilizar un volteador de pilas. Algunos volteadores de pilas también tienen la capacidad de introducir humedad en la pila durante el giro.

En términos generales, el tiempo total de compostaje puede ser manejado de acuerdo con la frecuencia del volteo de la masa.

El volteo más frecuente rompe las partículas más rápidamente y brinda la oportunidad de optimizar las condiciones de compostaje, acelerando así el proceso de compostaje.

Esto permite que una instalación de compostaje en pilas aumente su capacidad de rendimiento anual. La temperatura de la pila y el nivel de oxígeno deben ser medidos por un operador de sitio con equipo de monitoreo manual.

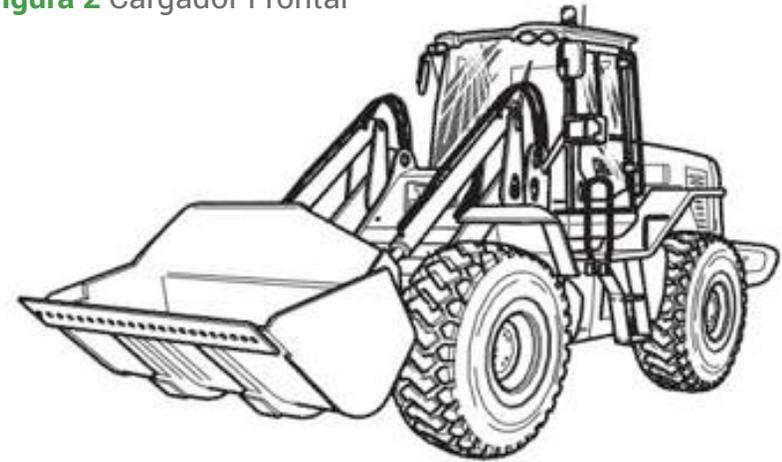
Figura 1 Sistema de Compostaje de Pilas



Fuente: *On-Farm Composting Handbook* (1992).⁴

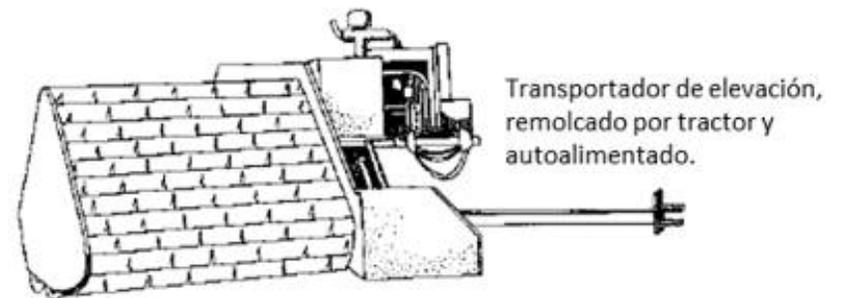
4 Northeast Regional Agricultural Engineering Service. (1992). *On-Farm Composting Handbook*. Disponible en: <https://campus.extension.org/pluginfile.php/48384/course/section/7167/NRAES%20FarmCompost%20manual%201992.pdf>

Figura 2 Cargador Frontal



Fuente: *Sellfy*.⁵

Figura 3 Volteadores de Compost



Fuente: : *On-Farm Composting Handbook* (1992).

5 Disponible en: <https://sellfy.com/p/HUuU/>

El compostaje de pilas es muy adecuado para materiales ricos en carbono y es el método predeterminado para este tipo de materiales.

El tamaño de las plantas puede ir más allá de 50.000 toneladas/año. Los materiales ricos en nitrógeno se pueden compostar en una pila, pero deben hacerse con precaución para garantizar que la generación de olores no se convierta en un problema.

Generalmente, se sugiere que las plantas que utilicen pilas de aireación natural, y que acepten residuos de alimentos, no deberían aceptar más de 5.000 toneladas/año de materiales totales de compost.

Un producto terminado se puede producir típicamente en 6-12 meses.

Pila estática aireada

El compostaje estático aireado está basado en una aireación mecanizada -forzar (positivo) o extraer (negativo) aire- a través de una pila de compost trapezoidal (**Figura 4**).

La agitación solo ocurre cuando las pilas se combinan o se mueven a un área diferente para el curado.

Para manejar mejor los olores, las pilas a menudo se cubren con una capa de compost terminado o astillas de madera, que luego se incorporan cuando se mueven las pilas.

Una ventaja potencial del compostaje estático aireado es la capacidad de capturar el aire del proceso para el tratamiento de olores (generalmente a través de un biofiltro).

Las pilas estáticas aireadas mecánicamente que se operen en el exterior (aire libre) deben usar una aireación negativa (succión de aire a través de la base de la pila) para dirigir el flujo de aire hacia un sistema de control de olores. Las pilas estáticas aireadas en interiores pueden usar una aireación positiva.

El aire es recolectado, con el objetivo de eliminar y tratar olores a través de un sistema de control de olores.

Es raro que las pilas estáticas aireadas mecánicamente se utilicen para compostar materiales que necesitan descomponerse física y biológicamente.

Esto se debe a que, a diferencia de las pilas continuas, las pilas estáticas no se giran con frecuencia.

Por lo tanto, las pilas estáticas aireadas se utilizan principalmente para compostar biosólidos o materias primas de consistencia y homogeneidad similares.

Un producto terminado suele producirse en 12-18 meses.

Figura 4 Pila estática aireada



Fuente: *On-Farm Composting Handbook* (1992).

Pila estática aireada con cubierta semipermeable

El proceso de compostaje con cubierta semipermeable presenta pilas de una altura similar a la del compostaje en pilas dinámicas, pero incluye una cubierta de membrana transpirable y un sistema de aireación (**Figura 5**).

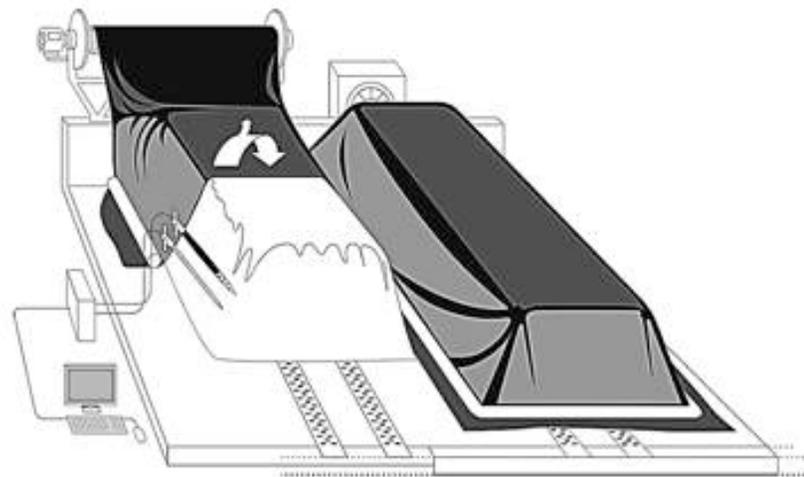
Es una progresión natural del compostaje de pilas dinámicas y es especialmente adecuado para compostar materiales ricos en nitrógeno.

Este tipo de sistema generalmente incluye sondas que monitorean continuamente la temperatura y el contenido de oxígeno de la masa de compostaje y proporcionan aireación en puntos claves, diseñados para optimizar el proceso de compostaje. Normalmente incluyen tres fases.

La fase 1 dura entre 2 y 4 semanas, luego se retira la cubierta, y los materiales de compostaje se trasladan a la fase 2 mediante un cargador con ruedas y se vuelven a cubrir durante otras 2 semanas. Los materiales de compostaje se mueven luego a la Fase 3, que es la fase de curado, durante otras dos semanas.

Las pilas de la Fase 3 pueden cubrirse, y el material de compostaje se sigue aireando por otras 2 a 4 semanas. En algunos casos, se puede requerir un tiempo adicional para el proceso de curado.

Figura 5 Pilas Con Cubierta semipermeable



Fuente: Gore.com

Este tipo de compostaje es adecuado para una amplia gama de materiales orgánicos, especialmente materiales orgánicos ricos en nitrógeno, como residuos de alimentos y biosólidos. Este sistema proporciona mayor control en el manejo de olores y vectores. Esta tecnología es bastante flexible con iteraciones de 2.000 a 100.000 toneladas anuales. Es un enfoque de compostaje común. Un producto terminado puede estar disponible en 2-6 meses.

Pilas o mesetas en nave cerrada

Las Trincheras compostan los materiales orgánicos en “camas” contenidas por canales largos con paredes de concreto (**Figura 6**). Una máquina volteadora, que se desplaza sobre las camas, agita y mueve los materiales hacia adelante. La ai-

reacción forzada se proporciona a través del piso del canal; La parte superior del canal está abierta. La mayoría de los sistemas funcionan en el modo de aireación positiva (aire soplado a través de la pila) para evitar la acumulación de lixiviados en los colectores de aireación, lo que reduce el flujo de aire.

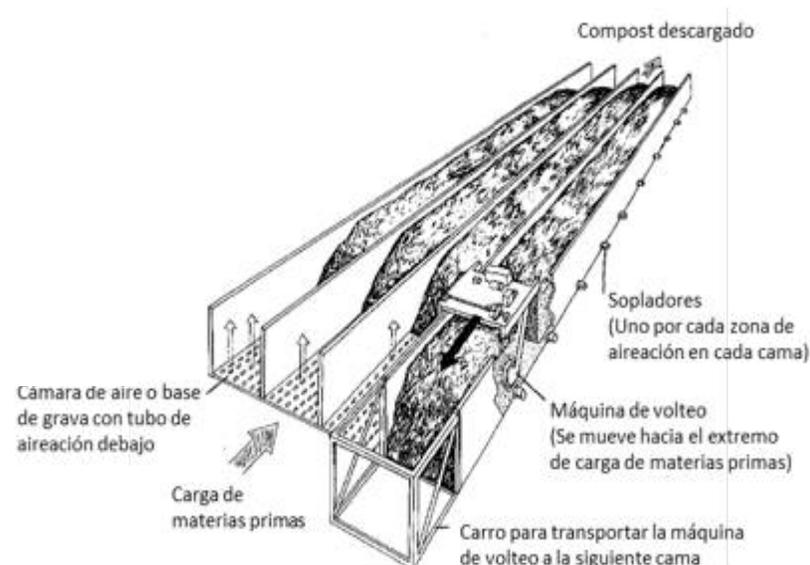
Todas las trincheras agitadas operan de manera similar. Las materias primas se mezclan y se cargan en la parte frontal del canal. Comenzando en el extremo de descarga, el tornero se mueve por el canal hacia el frente o el extremo de carga. Con cada paso del volteador, el material se desplaza una distancia establecida hacia la parte posterior del canal hasta que finalmente se descargan como compost que cumple con los requisitos de tiempo y temperatura para el control óptimo de microorganismos patológicos.

De acuerdo con el equipo de volteo, la masa de compost se desplaza de 2-4 m con cada giro. La longitud del canal y la frecuencia de giro determinan el período de compostaje en el canal (generalmente de 10 a 28 días).

Las dimensiones de los canales individuales varían entre los sistemas comerciales con profundidades que van desde 1 m hasta 2,4 m y anchos de 1,9 m hasta 3,8 m. Las longitudes de los canales suelen oscilar entre unos 60 y 90 m. La mayoría de las aplicaciones utilizan múltiples canales y una sola máquina de torneado. El compost se cura típicamente por un período de tiempo adicional.

Estos sistemas están equipados con equipos de medición de temperatura automatizados y sistemas mecánicos de eliminación de gases y sistemas de eliminación de olores (por ejemplo, biofiltro).

Figura 6 Pilas o Mesetas en Nave Cerrada



Fuente: *On-Farm Composting Handbook* (1992).

Este tipo de compostaje es adecuado para una amplia gama de materiales orgánicos, especialmente materiales con alto contenido de nitrógeno, como residuos de alimentos y biosólidos. El sistema permite un control óptimo de olores. Esta tecnología es bastante flexible con iteraciones de 10.000-100.000 toneladas / año. El producto de compost terminado se puede hacer en 3-6 meses.

Compostaje en contenedores o túneles

El compostaje en túneles se realiza en un espacio cerrado (por ejemplo, túneles de concreto, contenedores de acero móviles, tambor rotativo), lo que permite un control óptimo de los factores del compost (temperatura, humedad, flujo de aire).

La aireación se suministra a través de un sistema de aireación mecánica. A continuación, algunos detalles adicionales sobre los tres ejemplos de sistemas de compostaje cerrados.

Los sistemas de compostaje de túneles son esencialmente contenedores aireados que tienen una aireación forzada a través de tuberías con circulación de aire interna y generalmente cuentan con un biofiltro. Se cargan desde un extremo y funcionan en modo por lotes una vez que el túnel está completamente cargado. Se pueden utilizar múltiples túneles para lograr una operación casi continua.

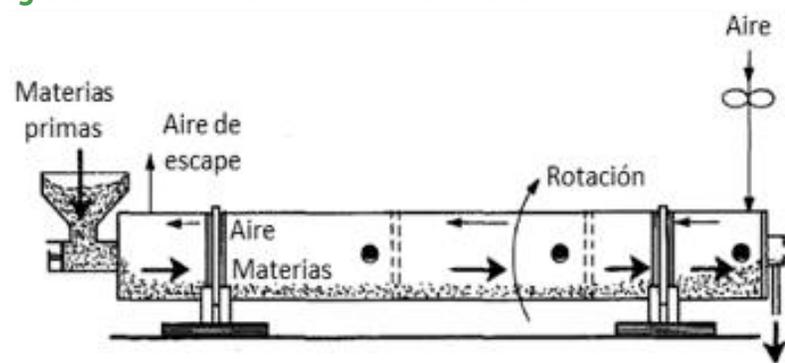
Las dimensiones del túnel varían considerablemente. Los túneles se cargan y descargan utilizando cargadores frontales. Los sistemas de contenedores consisten en varios contenedores (típicamente 15 - 30 m³). Estos sistemas son modulares y se agregan contenedores adicionales a medida que aumenta el volumen.

El número de unidades o módulos determina la escala de operación. Los ventiladores de aireación suministran oxígeno y eliminan la humedad y el calor. En la mayoría de los casos, el aire se introduce en la base del material y fluye a través de la masa de compostaje hasta la parte superior.

En otros ejemplos, el aire es arrastrado a través del material. La mayoría de las plantas de compostaje con sistema de contenedores solo lo utilizan para la primera etapa, donde es fundamental maximizar los controles del proceso. El sistema de túneles para todo el proceso de compostaje sería costoso. Los tambores rotativos (**Figura 7**) pueden ayudar con la mezcla, reducción de tamaño sin trituración y cribado. Durante un tiempo típico de retención de tres días, se inicia el proceso de compostaje y se observa gradualmente la descomposición de los materiales.

Los materiales de compostaje se airean en el tambor, y el aire de proceso suele dirigirse a un biofiltro. Una distinción importante entre los tambores rotativos y el sistema de túneles es que los tambores rotativos solo se usan para una parte corta de la fase activa. La fase activa debe completarse utilizando otra tecnología.

Figura 7 Sistema de Túneles con Tambor Rotatorio



Fuente: *On-Farm Composting Handbook* (1992).

Todos los sistemas en compostaje cerrados emplean equipos automatizados de medición de temperatura (por ejemplo, termopares, controlador lógico programable, entre otros) e incluyen sistemas de eliminación de gases de escape e infraestructura de eliminación de olores (por ejemplo, biofiltro). En sistemas cerrados el material se composte entre 7 a 20 días, en una o dos fases.

Una vez que se descarga el compost de un recipiente, deberá curarse durante 3 a 6 meses.

Este tipo de sistema es adecuado para una amplia gama de materias primas y, en particular, materias primas nitrogena-

das y verdes, como residuos de alimentos, pero también son adecuados los biosólidos.

El compost se suele curar durante un período adicional de tiempo después de salir del túnel. El sistema permite un control óptimo de olores y plagas.

Esta tecnología es bastante flexible con iteraciones de 25.000-150.000 ton / año.

Esta tecnología es el proceso de compostaje más común para grandes tonelajes (es decir, más de 50.000 toneladas / año). El producto de compost terminado se puede hacer en 4-6 meses.

Resumen

Para material rico en carbono, como residuos de jardín, las pilas continuas son generalmente adecuadas, agregando un volteador de pilas para las instalaciones más grandes.

Para las instalaciones que aceptan materiales ricos en nitrógeno, como los residuos de alimentos, se requiere una tecnología más sofisticada que proporcione contención, aireación mecánica y control de olores.

La **Tabla 4** presenta un resumen de las ventajas y desventajas de las diferentes tecnologías de compost. Esencialmente, las tecnologías que controlan mejor la cantidad de aireación en los materiales de compostaje hacen que el compost sea más rápido y requiera menos espacio.

A menudo, estos sistemas tienen costos de capital y operativos considerablemente más altos y pueden ser poco prácticos para tonelajes pequeños.

Tabla 4 Ventajas y Desventajas de Varios Métodos de Compostaje

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Sistema de Pilas Estáticas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eficiente para uso agrícola y municipal. ▪ Bajo requerimiento de mano de obra. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Está limitado para tonelajes bajos (<500 toneladas / año). ▪ No hay control sobre posibles problemas en el proceso. ▪ Proceso lento (18-24 meses).
Sistema de Pilas Estáticas Aireadas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eficiente para uso agrícola y municipal. ▪ Requiere menos tierra que la pila estática (más rápido). ▪ Tecnología media. ▪ Bajo requerimiento de mano de obra. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Requiere un espacio más amplio. ▪ Menos control sobre posibles molestias. ▪ Tendencia a producir un producto desigual debido a un flujo de aire desigual. ▪ Proceso lento (12-18 meses).
Sistema de Pilas Continuas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bajo a medio costo. ▪ Uso flexible del espacio. ▪ Produce compost uniforme. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Requiere un espacio más amplio. ▪ Menos control sobre posibles molestias (olores, plagas). ▪ Proceso lento (6-12 meses).
Pila Estática Aireada Con Cubierta Semipermeable	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diseño simple. ▪ Modular. ▪ No requiere un edificio. ▪ Produce compost uniforme. ▪ Excelente control sobre olores, plagas, etc. ▪ Proceso relativamente rápido (2-6 meses) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costo medio-alto.
Sistema de Trincheras-Mesetas en Naves Cerradas volteadas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Equipo automatizado. ▪ Proceso relativamente rápido (4-6 meses). ▪ Mayor control sobre posibles molestias ▪ Uso eficiente del espacio. ▪ Proceso relativamente rápido (3-6 meses). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alto costo de capital y operación. ▪ Tecnología avanzada y con mayor complejidad.
Sistema en Contenedores o Túneles Aireados	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Equipo automatizado ▪ Buen control sobre posibles molestias. ▪ Uso eficiente del espacio ▪ Proceso relativamente rápido (4-6 meses) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mayor costo-capital y de operación ▪ Tecnología avanzada y con mayor complejidad

Fuente: Paul Van der Werf (2019).

La **Tabla 5** presenta algunos detalles sobre las tecnologías de compostaje adecuadas para varios umbrales anuales de tonelaje de residuos / biosólidos de alimentos. La **Tabla 6** destaca los requisitos típicos de los equipos para las diversas tecnologías de compostaje.

Tabla 5 Tipos de Compostaje para Distintos Rangos de capacidad de tratamiento

Tonelaje Anual	Tipos de Compostaje para Varios Rangos de Tonelaje
0-500	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistema de Pilas Estáticas. ▪ Sistema de Pilas Continuas.
0-2.000	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistema de Pilas Estáticas ▪ Sistema de Pilas Continuas ▪ Sistema de Pilas Estáticas Aireadas ▪ Pila Estática Aireada con Cubierta Semipermeable
2.000-10.000	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistema de Pilas Estáticas Aireadas ▪ Pila Estática Aireada con Cubierta Semipermeable ▪ Sistema en Contenedores o Túneles Aireados
10.000 +	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistema de Pilas Estáticas Aireadas ▪ Pila Estática Aireada con Cubierta Semipermeable ▪ Sistema en Contenedores o Túneles Aireados ▪ Sistema de Trincheras-Mesetas en Naves Cerradas volteadas

Fuente: Paul Van der Werf (2019).

Fuente: Paul Van der Werf (2019).

Tabla 6 Tipos de Compostaje para Varios Rangos de Tonelaje

Tecnología	Equipos
Sistema de Pilas Estáticas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cargador
Sistema de Pilas Estáticas Aireadas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cargador ▪ Sistema de Aireación Forzada y Biofiltros ▪ Cribador
Sistema de Pilas Continuas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cargador ▪ Triturador y Mezclador ▪ Sistema de Volteo especializado (opcional) ▪ Cribador
Pila Estática Aireada Con Cubierta Semipermeable	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cargador ▪ Triturador y Mezclador ▪ Membrana Semipermeable ▪ Cribador ▪ Sistema de Aireación Forzada
Sistema de Trincheras-Mesetas en Naves Cerradas volteadas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cargador ▪ Triturador y Mezclador ▪ Sistema de Volteo especializado ▪ Biofiltro ▪ Cribador ▪ Sistema de Aireación Forzada
Sistema en Contenedores o Túneles Aireados	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cargador ▪ Triturador y Mezclador ▪ Sistema de Volteo Especializado ▪ Biofiltro ▪ Cribador ▪ Sistema de Aireación Forzada

4

Implementación del Proyecto

GESTIÓN DEL PROYECTO

Personal requerido

A partir de la exitosa experiencia adquirida en la operación de la planta de compostaje en la comuna de Santa Juana, nace la siguiente propuesta de administración de una planta de compostaje:



Alcalde: Como encargado de dirigir la actividad administrativa del Gobierno Municipal, el alcalde es la autoridad máxima en la gestión de la planta de compostaje.

Administrador municipal: Como funcionario a cargo de coordinar, supervisar y gestionar estratégicamente la organización del Municipio, de acuerdo con los planes y programas vigentes y a sus atribuciones establecidas, tiene un rol relevante en la gestión de la planta.

Encargado comercial: La operación de una planta de compostaje requiere de una gestión comercial y económica con el objetivo de hacer un uso eficiente de los recursos y maximizar los ahorros y beneficios para la comuna. Además, este encargado comercial puede apoyar la generación de una ca-

dena de valor asociada al reciclaje de orgánicos y fomentar el desarrollo de negocios locales para la Municipalidad.

Supervisor Técnico: Tiene la responsabilidad de monitorear el proceso de elaboración de compost con la finalidad de garantizar que la calidad del producto sea la esperada. Además, debe asegurar que los operarios de la planta cuenten con las capacitaciones adecuadas para desempeñar correctamente su rol, siempre priorizando el respeto por las normas de medio ambiente y seguridad.

Recolectores de residuos casa a casa: Encargados de la recolección de residuos orgánicos generados en los hogares. En el caso de Santa Juana (8.250 habitantes en el área urbana) la comuna cuenta con la colaboración de 6 recolectores y 2 conductores, quienes realizan la recolección de los residuos orgánicos martes y jueves. Cada uno de los dos camiones recolecta los residuos desde lados opuestos de la ciudad.

Operarios plantas de compostaje: Encargados de operar la maquinaria utilizada en los procesos de compostaje de la materia orgánica, como por ejemplo la trituración, mezcla y aireación de las pilas de compostaje.

Además, este personal debe hacerse cargo de todas las tareas operativas de la planta tales como recepción, cribado, almacenamiento y despacho del compost. En el caso de Santa Juana son 2 operarios.

Muchas veces, la implementación de este tipo de proyectos

depende del financiamiento o cofinanciamiento que reciben los municipios, pues la mayoría de las municipalidades participantes tienen un presupuesto restringido destinado a cubrir sus gastos anuales, impidiéndoles invertir en el desarrollo de nuevos proyectos.

Un cambio de paradigma en la gestión y manejo de residuos sólidos domiciliarios (RSD) requiere una inversión inicial que en la mayoría de los casos es la principal barrera para las municipalidades.

Sin embargo, existen casos de éxito con municipios que han logrado migrar hacia un nuevo sistema de gestión de RSD así como también, existen algunos programas que permiten apoyar este tipo de iniciativas.

Casos de éxito en municipalidades en Chile

En Chile, existen Municipios que han puesto su interés y foco en desarrollar proyectos de manejo de residuos orgánicos a nivel Municipal, a pesar de tener baja capacidad de inversión y presupuesto, situación que comparten con casi la totalidad de comunas del país. Algunas iniciativas se destacan a continuación.



Foto por Shutterstock

FINANCIAMIENTO

Santa Juana

Santa Juana es una comuna de la Región del Bio Bío que tiene 13.749 habitantes (CENSO 2017) y una tasa de pobreza por ingresos del 25,2 %, tasa que supera el promedio regional (22,3%) y nacional (14,4%) de acuerdo con la Encuesta CA-SEN desarrollada durante el año 2013.

La comuna de Santa Juana tiene la particularidad de encontrarse relativamente cerca a la conurbación del Gran Concepción, lo que le permite contar con ciertas alternativas de disposición final de RSD, tales como rellenos sanitarios privados.

Sin embargo, el Relleno Sanitario CEMARC, actual sitio de disposición final de los RSD generados en la comuna, se encuentra a una distancia aproximada de 80 km del centro de la ciudad (4 horas promedio de traslado).

Además, la baja tasa de generación de residuos hace que resulte injustificable el desarrollo de una estación de transferencia.

A causa de estas circunstancias, el municipio decidió administrar directamente la recolección y transporte de RSD hacia CEMARC y la planta de compostaje, mediante un camión financiado a partir de un Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR), el cual es conducido por un chofer de planta del municipio.

A modo de contexto, el 2009 se elabora el "Plan de Gestión de Residuos Domiciliarios" de la Asociación de Municipalidades para el Desarrollo Económico Local (AMDEL) de la Región del

Bio Bío. Posteriormente, el 2013 la Municipalidad hace una continuación del Plan mediante un Estudio, llamado “Centro Integral de Transferencia de Residuos Sólidos, Acopio y Compostaje de Residuos Domiciliarios, Comuna de Santa Juana.” El cual tuvo los siguientes objetivos:

- Diseñar un centro de descarga, acopio y carga de materiales reciclables y una planta de compostaje.
- Diseñar un plan de recolección diferenciada y un plan de educación ciudadana.
- Desarrollar una Evaluación de Impacto Ambiental y obtener la Resolución de Calificación Ambiental favorable por parte del SEA para el Centro Integral.

Con los resultados de dicho estudio se ingresó el proyecto “Planta Integrada del Manejo de Residuos Sólidos Domiciliarios” para obtener la Resolución Sanitaria.

El 2015 se presentó el proyecto al Ministerio de Desarrollo Social. Dentro de la propuesta, se enfatiza la importancia de una educación ambiental que permita una separación de origen para lograr una adecuada recolección diferenciada. Durante el año, también se obtuvo la Resolución Sanitaria.

El 2016 se inició el proceso de construcción de la Planta Integrada, a través de una licitación pública.

Durante el 2017 la Municipalidad de Santa Juana recaudó un total percibido de \$ 19.360.000 en derechos de aseo, mientras que los gastos en Servicio de aseo, Recolección, Transporte y Disposición de Residuos Sólidos Domiciliarios resultó \$ 350.888.000, siendo el gasto principal la recolección y transporte de los RSD (50% de los gastos respectivamente).

Durante marzo del 2019, comienza el proceso de recolección de residuos separados en origen, incluyendo orgánicos.

Esta iniciativa, destaca por de los primeros proyectos municipales de escala industrial a nivel nacional que contó con financiamiento de las vías tradicionales existentes para los gobiernos locales.

Santa Juana es un claro ejemplo de que la voluntad de sus gobernantes es esencial para impulsar este tipo de ideas.

Otra acción destacable de esta iniciativa es que el municipio comenzó un programa en el cual redujeron sus gastos del Subtítulo 22 “Bienes y Servicios” durante 3 años, resultando una reducción de estos gastos de un 3% anual, transformándose así en un ahorro que fue destinado directamente a un fondo cuyo objetivo era el desarrollo de la Planta Integrada. Esto cobra más importancia al considerar los bajos ingresos de la Municipalidad y las inmensas y diversas necesidades inmediatas, que coexisten con la gestión de RSM, y que, por ende, reducir dichos gastos no es una decisión fácil de implementar.

Talcahuano

Talcahuano es una comuna de la Región del Bio Bío que tiene 151.749 habitantes (CENSO 2017) y una tasa de pobreza por ingresos del 12,9 %, tasa menor al promedio regional (22,3%) y nacional (14,4%) de acuerdo con la Encuesta CASEN desarrollada durante el año 2013.

La experiencia de esta comuna varía con respecto a la anterior, ya que el foco de este Municipio fue lograr avances en sus obras y procesos públicos mediante el apoyo de privados.

Es de común quehacer que las comunas reciban requerimientos por parte de las empresas que habitan en sus áreas, ya sea en términos de permisos municipales excepcionales, modificaciones, entre otros aspectos.

La Municipalidad, en su entendimiento que para las empresas es importante seguir desarrollándose para aportar a la comuna, apoya a los privados que así lo soliciten, dentro de un marco posible, y a la vez solicitan a los privados que les apoyen a ellos con alguna tarea específica que el Municipio no puede costear y que la empresa tiene capacidad para realizarlo, generando un estado de win-win tanto para el privado como para el Municipio.

Gracias a este apoyo público-privado, Talcahuano logró operar una planta de compostaje de administración municipal, donde se recibe el material orgánico proveniente de podas municipales y material orgánico proveniente de la única feria libre rotativa administrada por la Municipalidad a través de la Dirección de Medio Ambiente. Actualmente, se reciben 3 toneladas semanales entre ambos materiales, demostrando que las alianzas público-privada pueden ser de beneficio mutuo a favor de la comunidad.

Programas públicos de participación

A continuación, se presentan los fondos nacionales a los cuales los municipios pueden postular con el objetivo de financiar proyectos enmarcados en la gestión de los Residuos Orgánicos.

SUBDERE (Fondo Nacional de Desarrollo Regional - FNDR)

El 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".

Al mismo tiempo, debe procurar mantener un desarrollo compatible con la preservación y mejoramiento del medio ambiente, lo que obliga a los proyectos financiados a través del FNDR atenerse a la normativa ambiental. Su distribución opera considerando dos conjuntos de variables: las de orden socioeconómico y las territoriales.

El FNDR 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 en la normativa del Sistema Nacional de Inversiones (S.N.I.).

El FNDR, incluye un conjunto de provisiones, las cuales se generan con el objeto de dar orientación de políticas nacionales sectoriales desde una perspectiva de focalización y localización regional.

La distribución de éstas la ejecuta la SUBDERE, durante el año presupuestario vigente. Desde el 2003, la Ley de Presupuestos contempla las siguientes provisiones:

- Eficiencia y Emergencia
- Patentes Mineras
- Infraestructura Educacional
- Electrificación Rural

- Ley de Drogas
- Compensación Inversión Sanitaria
- Fortalecimiento Institucional
- Desarrollo Urbano
- Caminos Secundarios
- Salud
- Mejoramiento de Barrios
- Turismo Chiloé-Palena
- Agua Potable Rural
- Desarrollo Rural

Una vez confeccionado un proyecto que postule al FNDR, éste debe ser incorporado al Sistema Nacional de Inversiones y ajustarse a los plazos y requisitos establecidos.

Programa de Mejoramiento de Barrio (PMB)

El Programa Mejoramiento de Barrios (PMB) fue creado bajo el alero de la Ley N°18.138 de 1982 “Programa de Construcción de Viviendas y de Infraestructuras Sanitarias” y que se reglamenta a través del Decreto 829 de 1998 y sus modificaciones.

Año a año, el Programa otorga soluciones sanitarias a decenas de familias que habitan en condiciones de marginalidad sanitaria, constituyéndose como una herramienta para reducir el déficit en cobertura del suministro de agua potable y disposición segura de aguas servidas en las áreas rurales a lo largo y ancho del territorio, de forma eficiente y sostenible. En particular, el programa de gobierno 2018-2022 busca dotar de agua potable, seguridad sanitaria y condiciones básicas de desarrollo a todas las personas que viven en localidades rurales.

De este modo, el PMB tiene los siguientes objetivos:

- Mejorar la calidad de vida de la población de escasos recursos que habita en condiciones de marginalidad sanitaria.
- Brindar atención preferencial para el progreso de barrios y campamentos irregulares con déficit de servicios básicos (agua potable, alcantarillado sanitario, electricidad y pavimentación).

Actualmente, a través del Programa se financian diversas tipologías de proyectos que son postulados por los municipios del país, principalmente en el ámbito del saneamiento sanitario, reparaciones/ampliaciones de sistemas de agua potable y alcantarillado, plantas de agua potable y aguas servidas. Así, proyectos relacionados a la gestión de residuos sólidos han sido financiado mediante esta vía.

El Programa Mejoramiento de Barrios es administrado por la SUBDERE en la división de municipalidades y los Gobiernos Regionales, éste opera bajo la modalidad de transferencias de capital (a otras identidades públicas) a través del Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR).

Ministerio de Hacienda (Circular 33)

Basado en lo descrito en el Oficio Circular N°33 de 2009 del Ministerio de Hacienda, a través del desarrollo de esta metodología, se gestiona de manera más expedita el proceso de asignación de recursos a instituciones públicas desde el Gobierno Regional en lo relativo a:

1. Estudios propios del giro de la Institución

Las instituciones públicas pueden postular a estudios básicos para ser financiados con cargo al subtítulo 31 ítem 01 del Oficio Circular.

2. Adquisición de activos no financieros (siempre y cuando no formen parte de un proyecto de inversión)

Se entiende por activos no financieros a aquellos bienes muebles e inmuebles necesarios para el funcionamiento y operación de las instituciones públicas, así como para la prestación de servicios a la comunidad. Estos son:

- Terrenos
- Edificios
- Vehículos
- Mobiliario
- Máquinas y equipos
- Equipos informáticos
- Programas informáticos
- Otros Activos No Financieros

3. Gastos de emergencia

Son situaciones de desastre, fuerza mayor o caso fortuito cuyo impacto afecta directamente el funcionamiento normal de la infraestructura disponible. Se identifican 3 posibles estados:

- Emergencia
- Rehabilitación
- Reconstrucción

4. Conservación de infraestructura pública

Son iniciativas que tienen por finalidad la recuperación de la infraestructura pública que se ha visto deteriorada por uso y/o por el cumplimiento de la vida útil. Se excluyen las iniciativas que incluyan aumento de cobertura o cuyo costo excede al 30% del valor de su reposición total.

INVOLUCRAMIENTO CON LA COMUNIDAD



Foto por Reciclo Orgánicos

El involucramiento de la comunidad es un tema clave al momento de hablar de cambios culturales, de hábitos y prácticas respecto al cuidado del medio ambiente y de cómo nuestras acciones diarias pueden aportar a combatir el Cambio Climático.

Dentro del Programa Reciclo Orgánicos, el pilar Involucramiento con la Comunidad, busca promover la vinculación de la comunidad con la gestión de los residuos orgánicos y el Cambio Climático, a través de tres líneas de acción: Comunicar, Educar e Involucrar. A través de éstas se busca trabajar con la comunidad, dejando capacidades instaladas y socializando la necesidad, importancia e impacto de separar y reciclar los residuos orgánicos.

De las líneas de acción se estructuran acciones e iniciativas, replicables en diferentes Municipios de Chile, para lo cual se dispondrá del material y contenidos descargables en las plataformas online del Programa.

ESTRUCTURA PILAR

Involucramiento con la comunidad:

El Pilar Involucramiento con la Comunidad busca promover la vinculación de la comunidad con el Programa a través de la gestión sostenible de residuos orgánicos, informando, educando e involucrando a los vecinos, actores relevantes, organizaciones sociales y ciudadanía en general con la relevancia del Cambio Climático y la emisión de Gases Efecto Invernadero (GEI) provenientes de la fracción orgánica de residuos. Entre los objetivos que se plantean para el desarrollo del Programa destacan:

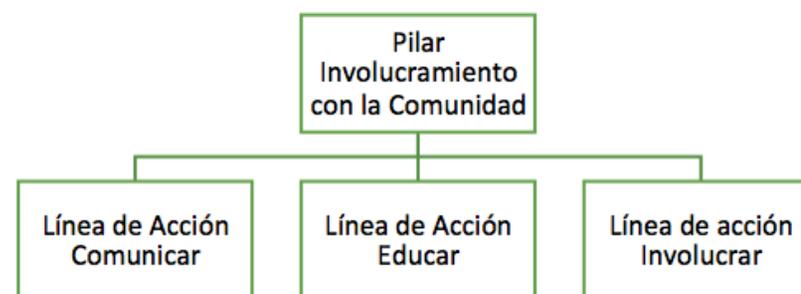
- Generar capacidad instalada a través de instancias de interacción social que aseguren la participación de la ciudadanía e involucramiento con el Programa y, a su vez, la formación de redes de trabajo colaborativo en torno al mismo.
- Contribuir a la generación de vínculos de confianza en las comunidades beneficiadas, a partir de instancias recreativas,

bajo una lógica colaborativa.

- Entregar al Municipio y a la comunidad información sobre los fondos a los cuales pueden postular para lograr el financiamiento de proyectos relacionados a combatir el cambio climático y reducir la generación de residuos.
- Promover la generación de líderes y empoderamiento de la ciudadanía, favoreciendo el fortalecimiento de redes de apoyo para los beneficiarios.

A continuación, se presentan líneas de acción del Pilar Involucramiento con la Comunidad del Programa Reciclo Orgánicos.

Estas líneas de acción contienen diversas iniciativas que los Municipios pueden evaluar si corresponde implementarlas en sus territorios, dependiendo de la dimensión del proyecto a ejecutar, recursos disponibles, prioridades e intereses de la comunidad.



LÍNEAS DE ACCIÓN

1. **Comunicar:** Difundir e informar en diferentes medios de comunicación para entregar información relevante del Programa, daze la gestión de los residuos orgánicos y su relación con el Cambio Climático. Además, se busca posicionar y marcar tendencia, tanto a nivel local como global.

Objetivo general: Difundir y sensibilizar a los ciudadanos acerca de los beneficios de la gestión sostenible de residuos orgánicos y su importancia para combatir el Cambio Climático, a partir de contenidos elaborados por el Programa.

Objetivos específicos:

- Viralizar y posicionar el Programa
- Aumentar la confianza en la información entregada
- Potenciar canales de comunicación - Posicionar el Programa.

En este ámbito, el Programa Reciclo Orgánicos cuenta con los siguientes medios y materiales de comunicación:

- **Página web:** www.reciclorganicos.com



- **Redes Sociales:** presentes en TW, FB e IG, bajo la cuenta [@reciclorganicos](https://www.instagram.com/reciclorganicos) y el hashtag oficial del Programa [#YoReciclOrganicos](https://www.instagram.com/hashtag/YoReciclOrganicos)



- **Canal de Youtube:** Bajo la búsqueda 'Reciclo Orgánicos' y/o link directo: <https://www.youtube.com/channel/UCzkauhUtYhjWT-sA3NspI8pQ>



- **Prensa:** comunicados de prensa, reportajes e infografías
- **Boletín:** medio digital dirigido a una BBDD interna del Programa.



Guía de Compostaje Domiciliario



Se espera promover un cambio de pensamiento y conductual respecto del reciclaje de residuos orgánicos. Así mismo, desde la visión del Programa, la educación es un medio para empoderar a los ciudadanos en el desarrollo de un pensamiento, prácticas y hábitos sostenibles.

Objetivo general: Sensibilizar e instalar capacidades en la comunidad para asegurar la sostenibilidad del Programa en el largo plazo a través de actividades teórico-prácticas.

Objetivos específicos:

- Alfabetización socio ambiental: entregar información sobre el alcance e impactos del Cambio Climático, el reciclaje de residuos orgánicos y derribar mitos.
- Propiciar el aprendizaje práctico.
- Asegurar la continuidad del Programa en el tiempo.

Entre las acciones que se han realizado dentro de la línea de acción Educar y que están disponibles en la página web del Programa, destacan:

Infografía Comunicado de Prensa

Comunicar adquiere un rol fundamental a la hora de instalar discursos relativos a las buenas prácticas del reciclaje. Comunicar, entregando contenidos, también es una manera de educar y crear hábitos en la población, sensibilizando e introduciendo conceptos y acciones en la vida diaria de los ciudadanos.

2. Educar: Se basa en la importancia de la generación y difusión de material educativo, así como en la realización de actividades teórico – prácticas con los vecinos de los Municipios que son parte del Programa.



Mini libro de bolsillo

- Glosario interactivo
- Cápsulas y videos
- Guía de compostaje domiciliario
- Infografías
- Gráficas interactivas
- Juegos educativos

3. Involucrar: Busca promover y fomentar la participación de la ciudadanía a través de la generación de instancias que faciliten la interacción, articulación y colaboración social.

Objetivo general: Generar instancias de interacción social que aseguren la participación de la ciudadanía e involucramiento con el Programa y, a su vez, la formación de redes de trabajo colaborativo en torno al mismo.

Objetivos específicos:

- Contribuir a la generación de vínculos de confianza en las comunidades beneficiadas, a partir de instancias recreativas.
- Entregar al Municipio y a la comunidad información sobre los fondos a los cuales pueden postular, para lograr el financiamiento de proyectos relacionados con el Programa.
- Promover la generación de líderes y empoderamiento de la ciudadanía, favoreciendo el fortalecimiento de redes de apoyo para los beneficiarios.

Dentro de las acciones que se han realizado en la línea de acción Involucrar, se destaca la constitución del Comité Reciclo Orgánicos en la comuna de Santa Juana, cuyo objetivo es promover el empoderamiento de la ciudadanía,

favoreciendo el fortalecimiento de redes de apoyo para los beneficiarios. El Comité es integrado por diferentes actores de la comunidad, profesionales del Municipio y organismos del sector público, que actúan como promotores de buenas prácticas de gestión de residuos orgánicos en la comuna.

Es así como, por medio del desarrollo de estas 3 líneas de acción, el Programa Reciclo Orgánicos promueve y busca generar un cambio cultural en la ciudadanía que apunte a mejorar nuestras prácticas en relación con los residuos orgánicos que generamos y con ello aportar a combatir el Cambio Climático, lucha social-ambiental que ha sido emprendida tanto a nivel local como global.



Foto por Reciclo Orgánicos

¡SÚMATE Y SÉ PARTE!

CONTENEDORES



Fuente: Ministerio Medio Ambiente de Chile

Los contenedores plásticos cerrados para residuos son adecuados para almacenar residuos orgánicos, y se pueden ubicar fácilmente en las áreas en donde se generan. De este modo, la utilización de contenedores será parte fundamental del sistema de recolección diferenciada.

El tamaño del contenedor a utilizar dependerá de la cantidad y el tipo del residuo orgánico a compostar, además del espacio disponible, según cada realidad. Además, se debe considerar que los residuos orgánicos pueden ser pesados debido al alto contenido de humedad, por lo que es recomendable ubicar los contenedores en lugares de baja altura y de fácil maniobra.

En Chile, existe una norma técnica nacional, realizada por el Instituto Nacional de Normalización (INN), denominada

NCh3322:2013 “Colores de contenedores para identificar distintas fracciones de residuos”. En ella, se estableció un sistema de identificación visual para contenedores utilizados en el manejo de residuos. Por ejemplo, se utilizan contenedores de color marrón para residuos orgánicos, gris oscuro para residuos sólidos descartables que se envían a disposición final, azul para papeles y cartones, entre otros, según se puede ver en la figura al inicio de la sección.

Se recomienda realizar una frecuente limpieza a los contenedores para eliminar los olores. Por ejemplo, los contenedores domiciliarios pueden ser lavados cada vez que sean vaciados.

En algunos casos, se ha optado por utilizar bolsas en los contenedores de recolección, aun cuando los contenedores son cerrados e impermeables, y entonces, pueden eliminar la necesidad de utilizar bolsas.

De todos modos, el uso de bolsas para el manejo de residuos nunca es recomendable, debido a la huella ecológica inherente.

En el caso de las bolsas compostables, si bien, suelen ser más caras que las de plástico desechables, pueden ser compostadas junto con sus contenidos. En este sentido, es importante corroborar la certificación de compostabilidad de las bolsas, para asegurar que no afectarán la calidad del compost si llegan a ser incorporadas al proceso junto a su contenido.

Las bolsas no compostables, aunque menos costosas, requieren un paso adicional al necesitar vaciar o “desembolsar” su contenido en el sitio de compost o en el vehículo recolector. Debido a que el “desembolsado” puede ser muy laborioso, las compostables certificadas suelen ser la mejor opción en el caso de que se requiera utilizar bolsas.



Figura 8 Contenedor de 120 litros para residuos orgánicos recolectados en Feria Libre de Independencia

Foto por Reciclo Orgánicos



Foto por Reciclo Orgánicos

Contenedores para viviendas y edificios residenciales

Cada municipalidad deberá definir número y tipo de contenedor a entregar a las viviendas, basándose preferiblemente en la NCh 3322:2013.

Por ejemplo, un modelo exitoso en funcionamiento que se ha implementado en Santa Juana consiste en la entrega, por parte de la Municipalidad, de cuatro contenedores de 40 litros, para separar las fracciones de: (1) orgánicos; (2) papeles y cartones; (3) otros reciclables (plásticos y pet, latas y metales, y vidrios); y (4) otros residuos descartables para disposición final.

Además, la Municipalidad entrega un contenedor de 10 litros, que es utilizado como receptáculo temporal de los residuos orgánicos que se generan durante la cocina, con el fin de que sea vaciado posteriormente en el contenedor para residuos orgánicos de 40 litros.

Para ubicar contenedores de manera adecuada para el sistema de recolección, se recomienda considerar un espacio mínimo de 2 metros de ancho por 1 metro de profundidad, y 1 metro adicional de espacio libre de obstáculos.

En Canadá, los propietarios de departamentos en edificios pagan una tarifa basada en la cantidad de residuos descartables que genera el edificio durante el período de facturación y el número de departamentos.

De este modo, no hay un costo asociado por la generación de residuos reciclables ni tampoco de orgánicos (que estén correctamente separados).

Por lo tanto, los edificios que reducen sus residuos sólidos descartables generados, mediante el desvío de residuos hacia reciclaje o valorización de orgánicos, reducen sus tarifas de gestión de residuos sólidos.

Contenedores para grandes Instituciones y Comercio

Aquellas municipalidades que incorporen recolección diferenciada en grandes productores de residuos orgánicos, tales como, edificios públicos, empresas, cines y escuelas, comercio en general, hoteles, restaurantes y casinos (subsector denominado "HORECA"), se recomienda que realicen un estudio de caracterización de estas fuentes para definir adecuadamente la mejor configuración de contenedores a emplear, en cuanto a tamaño y sistema de vaciado.

En Guelph, Canadá, los camiones de recolección automatizados están equipados con una cámara para ver el tipo de residuo que se vacía en los compartimentos correspondientes.

Esta cámara le permite al personal identificar los elementos clasificados incorrectamente, brindar educación pública específica y hacer un seguimiento con los propietarios o inquilinos, según sea necesario, para abordar cualquier pregunta sobre el sistema de clasificación de Guelph.

VEHÍCULOS PARA RECOLECCIÓN



Fuente: Ciudad de Toronto, Canadá

Una vez que los residuos han sido recolectados en sus respectivos contenedores (domésticos o industriales), la siguiente tarea consiste en movilizarlos hacia los centros de acopio y/o plantas de reciclaje de residuos orgánicos, o en su defecto, hacia los rellenos sanitarios. La manera más común de hacerlo es a través del uso de camiones recolectores de residuos, los que cuentan con su propio sistema de compactación para reducir el volumen de los residuos recolectados.

Vehículos de recolección

Se utilizan para recolectar los residuos depositados en los contenedores descritos en la sección anterior. Además, generalmente, se requiere que los contenedores sean colocados junto a las vías y calles por las cuales circulan los vehículos

recolectores. Los más conocidos son compactadores, pero también existen de tipo tolva o incluso multipropósitos que pueden ser adaptados.

Las bolsas colocadas en los contenedores de residuos son depositadas manualmente dentro del camión o, en su defecto, los contenedores son vaciados en el camión mediante un sistema automático, sin esfuerzo para los operarios.

Los vehículos tienen distintos tipos de sistemas que varían según la ubicación de la apertura por donde se introducen los residuos.

Estos sistemas o variantes se denominan:

- Compactador de Carga Trasera: El contenedor es elevado por la parte trasera del compactador.
- Compactador de Carga Frontal: El contenedor es elevado por la parte frontal del compactador.
- Compactador de Carga Lateral: El contenedor es elevado por la parte derecha del compactador (y en algunas ocasiones por la izquierda).
- Tolva de Carga Trasera: Los residuos se ingresan al vehículo por la parte trasera, de manera manual.
- Multipropósito: El contenedor es vaciado a los contenedores que están instalados en el vehículo, de manera manual.

Vehículos de recolección con carga trasera



Foto por Shutterstock

Es el tipo más popular de vehículo de recolección a nivel mundial. La dotación del vehículo suele ser de un conductor y dos operarios, siendo estos últimos los que acercan y retiran los contenedores para su vaciado. Por lo general, este sistema posee una pala que es accionada mediante cilindros hidráulicos, la cual, al moverse, comprime los residuos contra una pared, llamada placa eyectora.

También existe la opción de contar con un elevador mecánico en el vehículo, lo cual facilita la recolección. La capacidad para elevar los contenedores suele ser de máximo 800 a 1.100 litros.

Vehículos de recolección con carga frontal



Fuente: Grendelkhan

Este sistema es muy popular en Norteamérica. Como dotación, requiere únicamente de un conductor, ya que el vehículo cuenta con un brazo mecánico que eleva el contenedor por encima de la cabina, por lo que se puede ver perfectamente la operación. El sistema también admite una variante del elevador, que recoge el contenedor por el costado y vacía frontalmente. Suelen tener una gran capacidad de carga de contenedores (de 3.000 a 5.000 litros).

Los detractores de este sistema destacan que su desventaja es el espacio necesario para la maniobrabilidad, frente al vehículo, al momento de recoger los contenedores.

Vehículos de recolección con carga lateral



Fuente: Geo Innova

Este sistema es el más avanzado en la actualidad. A nivel mundial, se está volviendo más popular debido a que facilita que la recolección se haga de manera mucho más rápida. El sistema se basa en que los contenedores son recogidos lateralmente, mediante un elevador accionado por el conductor con la ayuda de 4-5 cámaras de video y una o dos pantallas para visualizar.

El sistema es altamente eficiente y permite completar la recolección más rápidamente que los otros descritos.

Vehículos tolva



Fuente: Ilustre Municipalidad de La Pintana

Este sistema puede facilitar la recolección de grandes cantidades de residuos orgánicos previamente separados, los cuales pueden ingresarse al vehículo mediante el apoyo de, por ejemplo, un cargador frontal.

Este tipo de vehículos tiene un nivel de inversión menor a los compactadores tradicionales. Además, permite que vehículos puedan reacondicionarse al agregar el sistema de tolva.

Vehículos multipropósito adaptados



Fuente: Ilustre Municipalidad de Santa Juana

Este sistema de recolección y transporte ha sido implementado por la Ilustre Municipalidad de Santa Juana. Si bien el vehículo no está diseñado específicamente para el transporte de residuos, la Municipalidad lo adaptó instalando contenedores abiertos en su parte superior, cada uno con capacidad de 1 m³.

Este sistema es una alternativa que tiene menores costos de inversión que puede ser considerada.

5

Operación de Plantas de Compostaje

OPERACIÓN PASO A PASO

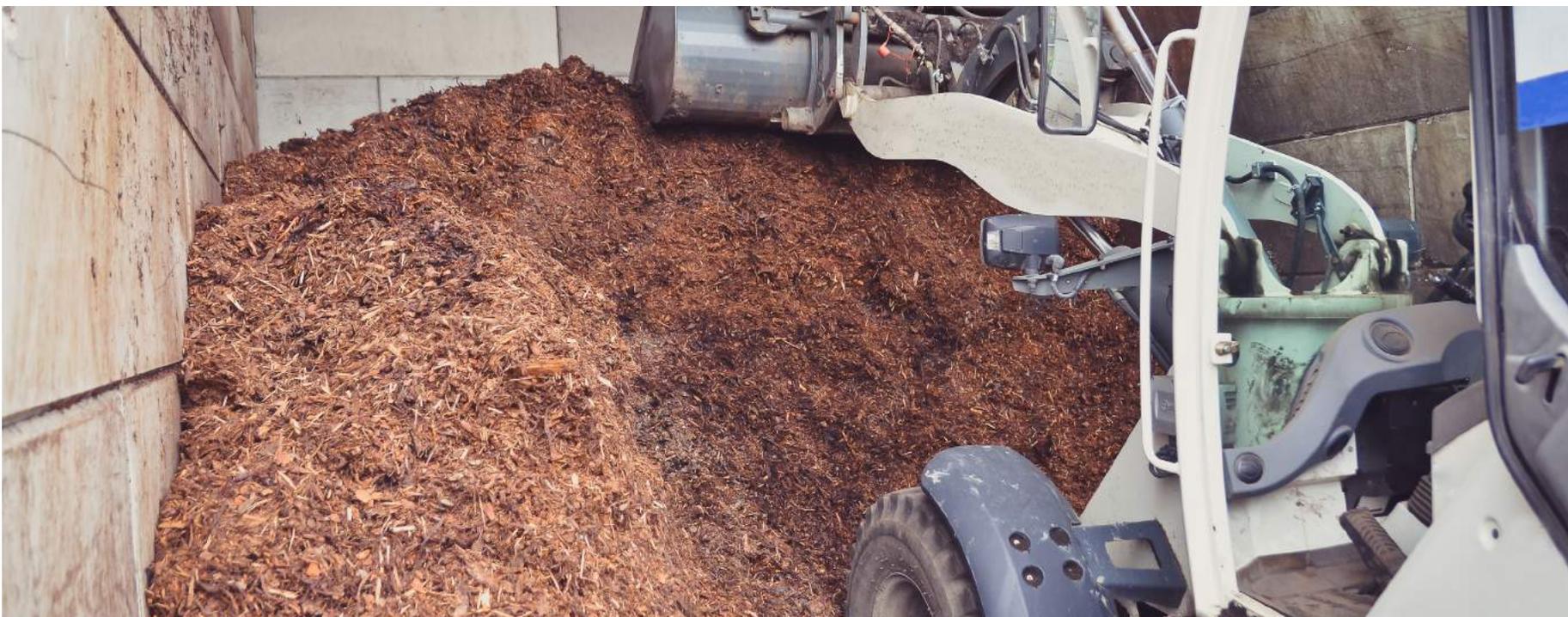


Foto por Shutterstock

Los operadores de las instalaciones de compost necesitan administrar cuidadosamente cada parte del proceso para garantizar la producción de compost comercializable y de alta calidad, así como también para minimizar posibles problemas. La operación de una planta de compostaje considera, al menos, seis actividades principales: (i) Recepción del material, (ii) Preprocesamiento, (iii) Formación de la Pila, (iv) Compostaje, (v) Curado, y (vi) Cribado y mercadeo o entrega.

Recepción del material

Los tipos de materiales que pueden aceptarse en una instalación de compost incluyen residuos de jardín ricos en carbono (café) (ej. hojas, ramas y arbustos, etc.) y residuos de alimentos ricos en nitrógeno (ej. residuos de alimentos domésticos, residuos de alimentos generados comercialmente, etc.).

La recepción de materiales orgánicos requiere de una planificación anticipada, para que los generadores sepan claramente cuáles tipos de residuos serán aceptados en la instalación. Adicionalmente, la condición del material que llega a una ins-

talación se ve afectada por variables como:

- Tipo de camión de reparto (debido al grado de compactación).
- La cantidad de tiempo transcurrido desde que se generaron los residuos (cuanto mayor es el tiempo, mayor es el potencial de generar olor).
- Uso o no de bolsas de plástico (el material puede generar rápidamente olor, el plástico puede contaminar el compost si no se elimina por completo).
- Cantidad de contaminantes físicos presentes (esto afecta la calidad del compost).

Además, es importante inspeccionar visualmente las cargas entrantes a la planta, ya que solo deben incorporar materiales orgánicos y, de ser el caso, rechazar aquellos residuos no compostables en la entrada de la instalación. Adicionalmente, los operadores de las instalaciones de compost deberán proporcionar comentarios a los generadores para garantizar que solo lleguen a la instalación materiales orgánicos, separados adecuadamente.

Se debe procurar que los materiales recibidos sean incorporados lo más pronto posible al proceso de compostaje o, en el peor de los casos, almacenados durante un corto plazo.

PRE PROCESAMIENTO

Desarrollo de la receta

La clave para producir compost de alta calidad es desarrollar una mezcla adecuada de materiales. Los pasos que condu-

cen a esta mezcla se conocen como “recetas de compost”.

El desarrollo de recetas consiste simplemente en crear un ambiente con las condiciones fisicoquímicas necesarias para poder albergar los microorganismos requeridos en el proceso; esto incluye: (i) nutrientes (suministrados a través de la mezcla de los materiales orgánicos), (ii) contenido de oxígeno, (iii) contenido de humedad, (iv) pH, (v) porosidad y (vi) volumen. En la **Tabla 7** se proporciona información adicional sobre los nutrientes necesarios para el compostaje.

Tabla 7 Nutrientes necesarios para el proceso de compostaje

Parámetros	Beneficios
Carbono (C)	Aporta carbohidratos (energía) y construye biomasa microbiana.
Nitrógeno (N)	Utilizado en el desarrollo de proteínas microbianas. A menudo es el factor limitante. Demasiado nitrógeno puede provocar una descomposición que es difícil de controlar.
Oxígeno (O ₂)	Requerido para mantener un ambiente aeróbico.
Humedad	Crítico para promover y mantener la actividad microbiana.
pH	Medida de acidez/alcalinidad. Es óptimo cerca de neutralidad (pH 7) pero puede tolerar un rango bastante amplio (6-9).

Fuente: Paul Van der Werf (2019).

Por lo tanto, en el desarrollo de recetas de compost nos enfocamos en asegurarnos de que hayan adecuados nutrientes (a menudo expresado como la relación Carbono:Nitrógeno o C:N), suficiente humedad en la pila, suficiente porosidad para permitir la circulación de oxígeno en la pila, y en sacar los líquidos fuera de la misma, los que pueden ser reincorporados para humectarla por encima.

Relación C:N (Carbono-Nitrógeno)

La parte más importante del desarrollo de la receta es establecer una relación C:N óptima, la cual es de aproximadamente 30:1 (30 partes de carbono por cada parte de nitrógeno). La **Tabla 8** muestra la relación C:N de algunos materiales utilizables para hacer compost.

Tabla 8 Relación C:N de algunos materiales utilizables para hacer compost

Materiales	Relación C:N
Residuos de alimentos	15:1
Recorte de césped	20:1
Hojas	30-80:1
Virutas de madera, aserrín	100-500:1
Papeles	150-200:1
Paja seca	100:1

Fuente: Paul Van der Werf (2019).

Independientemente de la relación C:N de los materiales a utilizar, se debe procurar que la mezcla alcance una relación 30:1 para garantizar una receta óptima. En términos de volumen, esta proporción fluctúa entre 2 y 4 a 1 entre material café y verde.

La relación C:N es particularmente importante, ya que, una mezcla demasiado alta en carbono se descompondrá a una velocidad lenta y no será eficiente, mientras una mezcla demasiado alta en nitrógeno se descompondrá muy rápido y correrá el riesgo de generar malos olores.

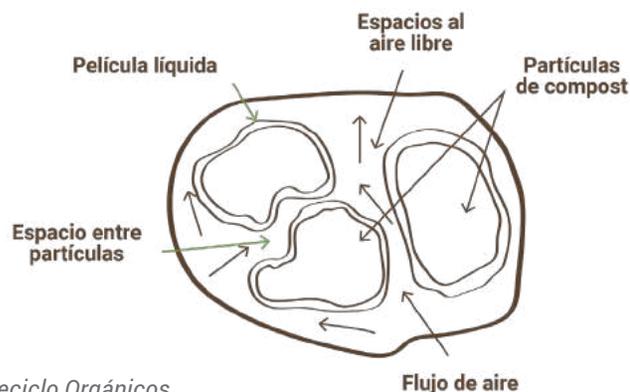
Contenido de humedad

El contenido óptimo de humedad para el compostaje de alta velocidad es del 50-60%. Los residuos ricos en nitrógeno son típicamente altos en humedad mientras que los residuos ricos en carbono son típicamente bajos en humedad.

Nuevamente, la mezcla de materiales ricos en carbono y ricos en nitrógeno en una proporción (molecular) 30:1, a menudo resultará en un contenido de humedad apropiado para maximizar la eficiencia del proceso.

En algunos casos, puede ser necesario agregar humedad adicional al mezclar algunos materiales o durante el mismo proceso de compostaje.

Figura 9 La humedad y su relación con el proceso de compostaje.



Fuente: Reciclo Orgánicos

Agentes estructurantes

Los agentes estructurantes se utilizan para aumentar la porosidad de una pila de compost e incluyen principalmente materiales ricos en carbono, como madera o recortes de árboles. Éstos se agregarán a la mezcla como parte de los materiales ricos en carbono. En algunos casos, estos agentes estructurantes se crean en el sitio por medio de materiales reductores de tamaño.

Figura 10 Ejemplo de agente estructurante



Foto por Shutterstock

Otras consideraciones

En una instalación de compost el pH no es tan importante como los otros parámetros clave, ya que el proceso de compost en sí es bastante robusto. Sin embargo, se debe procurar que la operación mantenga un pH entre 6-9 ya que un pH bajo (ácido) puede ser consecuencia de una descomposición anaeróbica, la cual también originará olores indeseados mientras un pH alto (básico) puede provocar la emisión de amoníaco.

Formación de la pila

Una vez que los materiales orgánicos recibidos en la instalación han sido mezclados (es decir, se ha generado la receta de compost), deben acomodarse y organizarse en forma de una pila, dando inicio al proceso de transformar dichos materiales en compost. La formación de pilas no es necesariamente una tarea rápida, dependiendo de la cantidad de materiales recibidos y del personal y equipamiento disponible. La tarea podría tomar desde horas hasta varios días.

Para generar pilas continuas, normalmente se utiliza un cargador frontal o minicargador, con lo cual se logran formar pilas de 1-4 m de altura sobre la superficie donde se realiza el compostaje. Si se desean generar pilas más altas se deberá usar una volteadora de pilas en lugar del cargador frontal.

Operativamente, las pilas deben comenzarse a construir desde la parte posterior (extremo terminal) y deben voltearse continuamente desde la parte posterior hasta alcanzar la parte frontal (extremo inicial).

Figura 11 Cargador frontal generando una pila



Fuente: Pxfuel

COMPOSTAJE

Compostaje activo (de alta velocidad)

El proceso de compostaje comienza en la zona de temperatura mesofílica (es decir, 20-45 °C). Sin embargo, el objetivo es lograr que rápidamente alcance la fase termofílica (>45 °C). Para esto es indispensable que se haya logrado una mezcla adecuada de materiales orgánicos y que la mezcla haya sido apilada correctamente.

Una vez alcanzada la fase termofílica, es importante tratar de mantener esas altas temperaturas el mayor tiempo posible, para maximizar el proceso de descomposición. Además, esta parte del proceso de compostaje también es crítica para

la inactivación de patógenos.

En general, la masa de compostaje debe tener temperaturas promedio de, al menos, 55 °C durante cierto período de tiempo: 15 días para las pilas o 3 días para instalaciones que utilicen naves cerradas, contenedores o túneles. Esto debe documentarse debidamente para demostrar que la reducción de patógenos ha tenido lugar.

Aireación

Como se señaló, el compostaje es un proceso aeróbico, es decir, requiere oxígeno. La aireación puede ser proporcionada por volteo o mediante aireación mecánica forzada. El volteo puede realizarse un cargador frontal o un volteador de pilas, y se realiza entre 1 a 7 veces por semana.

La aireación mecánica forzada utiliza ventiladores para soplar aire a través de un sistema de tubería que lo dispersa hacia toda la pila. Esto generalmente se realiza a través de un circuito de retroalimentación con sensores, que airea según la necesidad, mediante los parámetros de temperatura y/o contenido de oxígeno. Cuanto mejor se controle la aireación, más rápido y completo será el proceso de compostaje.

Control de humedad

Es importante controlar la humedad durante el proceso de compostaje. Los microorganismos responsables de la descomposición requieren humedad ya que, en su ausencia, la descomposición se detendrá.

La humedad debe ser del 50-60% durante el compostaje a

alta velocidad. Esto se puede monitorear recolectando muestras y enviándolas a un laboratorio (o configurando un laboratorio en el sitio).

Una forma más sencilla es monitorearlo a mano. Para ello, se puede tomar y exprimir un puñado de compost con la mano (**Figura 13**). Si está seco y desmenuzado, el compost está demasiado seco y es necesario agregar agua. Si se forma una bola y no hay humedad libre, entonces la humedad es la correcta. Si se forma una bola y hay humedad libre, entonces la humedad es demasiado alta. En este caso se debe voltear la pila para tratar de evaporar algo de esta humedad. De manera alternativa, también se puede agregar algunos materiales de secado al material de compostaje. Generalmente, este es un último recurso, ya que es fundamental desarrollar previamente una receta adecuada para el compostaje, mediante la correcta mezcla de materiales al inicio del proceso.

Por el contrario, se puede agregar humedad a una pila de compostaje usando mangueras y rociadores. En algunos casos, el equipo de volteo de pilas puede incluir un tanque para agregar agua.

Curado

El curado abarca el proceso de estabilización y maduración para producir un producto de compost finalizado. La estabilización del material de compostaje se logra cuando la mayoría de los materiales degradables se han descompuesto.

No hay un tiempo exacto que pueda decirnos cuándo ha terminado el compostaje y cuándo ha iniciado el proceso de curado. Sin embargo, el curado generalmente comienza después de que se han cumplido los requisitos de tiempo y

temperatura para eliminar los patógenos y cuando las temperaturas de compostaje comienzan a enfriarse y recuperarse más lentamente hasta alcanzar la estabilidad.

Figura 12 Detalle de compost en la fase de curado



Foto por Shutterstock

La estabilidad se alcanza cuando el compost ya no logra calentarse a >20 °C por encima de la temperatura ambiente, a pesar de que las condiciones de humedad y nutrientes son adecuadas.

El proceso de curado puede llevar hasta 6 meses y, a menudo, se completa también en pilas o hileras (independientemente de la tecnología que se utilizó durante el compostaje activo).

Los parámetros de control durante el proceso de curado deben ser monitoreados para lograr un producto de compost perfectamente terminado. La frecuencia de giro es de 1 a 3 veces por semana y esto puede reducirse con el tiempo. La

humedad debe ser del 40-50%, e incluso puede disminuir por debajo del 40% a medida que se completa el proceso.

El compost curado debe analizarse para (i) confirmar el cumplimiento de los requisitos reglamentarios (por ejemplo, metales), (ii) determinar la calidad del uso final (por ejemplo, materia orgánica, nutrientes, parámetros agronómicos) y (iii) confirmar la madurez (por ejemplo, la absorción de oxígeno) antes de su comercialización.

Cribado y mercadeo

Se debe llevar a cabo la selección (cribado o tamizado) del compost terminado, de modo que se retiren los posibles materiales orgánicos sin estabilizar y otros contaminantes o residuos no compostables que aún estén presentes.

Esto se puede realizar utilizando diferentes tipos de equipos de detección; uno de ellos, y el más común, es el trommel o criba con abertura de 10-20 mm.

Los mercados de compost se pueden dividir en tres segmentos principales: Volumen alto (valor económico bajo), volumen medio (valor económico medio) y volumen bajo (valor económico alto).

El primero abarca aquellos mercados que pueden utilizar grandes volúmenes de compost (con requisitos de calidad menos estrictos), pero con bajo o ningún valor económico. Ejemplos de uso incluyen la remediación del sitio y la agricultura.

Los mercados de volumen medio son aquellos que pueden utilizar volúmenes medianos de compost con un valor económico moderado y con requisitos de calidad más estrictos

que los anteriores. Los ejemplos de uso incluyen cultivos de viveros y paisajismo.

Finalmente, los mercados de bajo volumen son aquellos que utilizan bajos volúmenes de compost, pero con un alto valor económico y, generalmente, con requisitos de calidad muy estrictos. Los ejemplos de uso incluyen operaciones de invernadero (por ejemplo, tierra para macetas).

Registro de datos del proceso de compostaje

Las pruebas de laboratorio son necesarias para cuantificar la naturaleza de las materias primas y la calidad del compost terminado.

Las temperaturas de la pila de compost se pueden medir utilizando una sonda digital analógica. El monitoreo continuo se puede establecer utilizando termocuplas o termistores y un sistema de registro de datos. El seguimiento de la temperatura debe ser registrado para procurar cumplir con el tiempo y temperatura necesaria para que ocurra la eliminación de patógenos.

El oxígeno o el dióxido de carbono generalmente se miden manualmente utilizando una sonda de oxígeno o dióxido de carbono. Los niveles de oxígeno deben ser > 5%.

La humedad se puede medir utilizando un método de "horno de secado". También se puede emplear una prueba simple de "compresión a mano" para determinar la humedad (Figura 14).

Esta compresión se realiza al exprimir un pequeño puñado de muestra. Con un contenido de humedad adecuado, no se escapa agua cuando se aprieta la muestra, la muestra no se

deshace cuando se abre la mano y se rompe con una ligera presión.

Figura 13 Método de Compresión



Fuente: *Composting manure: Getting it right*

El pH se mide utilizando un medidor de pH y debe estar en un rango de 6 a 9.

La porosidad se mide simplemente llenando un recipiente de volumen conocido con material de compostaje y pesándolo. Luego se debe dividir el peso por el volumen (conocido) del recipiente. El resultado es una medida de densidad aparente, que debería estar en rangos de 400-650 kg/m³ (o 0,40-0,65 kg/l).

Los indicadores de madurez de campo (por ejemplo, el kit

"Solvita") se pueden usar para medir el contenido de amoníaco y dióxido de carbono. Los niveles de estos parámetros pueden ser una indicación de madurez.

Los formularios se utilizan para documentar el proceso de compostaje. Esto permite a los operadores proporcionar pruebas documentadas del proceso para requisitos reglamentarios y/o evaluación de mercado.

Solución de problemas

Todas las instalaciones de compost enfrentan potenciales problemas que requieren temprana resolución para garantizar un funcionamiento sin problemas. Los problemas comunes suelen ser: el olor, el polvo, la generación de residuos y los vectores.

El olor es causado por plantas con una incorrecta operación, que propician el desarrollo del proceso bajo un entorno de descomposición anaeróbica. Así, con el fin de minimizar los olores, se deben promover las condiciones aeróbicas a través del volteo y aireación, la mezcla de receta, la humedad adecuada, etc.

Para las plantas de compostaje de trincheras o túneles, también se puede usar biofiltros para controlar el olor del aire de salida y así minimizar el impacto hacia los vecinos colindantes.

La Tabla 9 resume los problemas potenciales de olor y sus posibles soluciones.

Tabla 9 Problemas de olor y sus posibles soluciones

Problema	Razones posibles	Indicadores	Solución
Olor a amoníaco	Niveles altos de Nitrógeno.	Proporción de C:N menor a 30:a1	Añadir materiales ricos en carbono
	Exceso de material seco.	Alto contenido de partículas grandes de madera. La relación C:N es menor a 30:1	Agregar partículas más pequeñas de madera tales como hojas, aserrín
	pH alto	pH > 8	Disminuir el pH con ingredientes ácidos (hojas) o evitar agregar material alcalino
Olor a podrido (sulfuro de hidrógeno) Indica condiciones anaeróbicas.	El material puede estar muy húmedo	Temperaturas muy bajas	Agregar materiales estructurantes Voltear las pilas para eliminar la humedad (también libera olores)
	Estructura pobre	N/A	Agregar material estructurante
	Pila compactada	N/A	Remezclar pila y si es necesario agregar material estructurante
	Insuficiente aireación	N/A	Disminuir el tamaño de la pila
	Pila demasiado grande	Temperaturas muy altas	Remezclar pila para que sea más pequeña o cambiar receta
	Flujo de aire desigual	Descenso de la temperatura	Disminuir el tiempo entre cada volteo

Fuente: Paul Van der Werf (2019).

En algunos casos, las temperaturas de la pila de compost pueden ser demasiado bajas o altas. La **Tabla 10** resume los problemas potenciales de temperatura y sus soluciones.

Tabla 10 Problemas de olor y sus posibles soluciones

Problema	Razones posibles	Indicadores	Solución
La temperatura de la pila no sube lo suficiente	La pila está muy seca	No se puede exprimir el agua de un puñado de compost	Agregar agua
	La pila está muy húmeda	El material se ve empapado.	Agregar material seco
	No hay suficiente nitrógeno	Alto contenido de partículas grandes de madera	Agregar material con alto contenido en nitrógeno
	Estructura pobre	La pila se asienta rápidamente	Agregar materiales estructurantes
	pH muy bajo	pH <5.5, olor a basura	Añadir lima o ceniza de madera, volver a mezclar
Temperaturas muy altas	El tamaño de la pila es muy pequeño	Pilas de compost de 1 m de altura o menos	Remezclar y armar pilas de mayor altura
	Insuficiente aireación	La pila está húmeda (según lo determinado por el método de compresión)	Voltear la pila con más frecuencia o aumente el flujo de aire
	Niveles de humedad entre moderados a bajos	La pila está seca (según lo determinado por el método de compresión)	Agregar agua, y continuar el volteo
	La pila es muy grande	Altura >4 m	Disminuir el tamaño de la pila

Fuente: Paul Van der Werf (2019).

Otro potencial problema del proceso es el polvo causado por el compost seco, o las superficies de trabajo secas. Para minimizarlo, deben mantenerse niveles adecuados de humedad en el compost y las superficies de las vías de la planta.

Por otra parte, los problemas asociados a la generación de residuos provienen del material suelto (como plásticos) que vienen incorporados en las cargas de material orgánico que se recibe en la instalación. Para reducir al mínimo la acumulación de residuos, se requiere una recolección regular de residuos en el sitio, así como en sus alrededores. Además, puede ser necesario comunicarse con quienes entregan las cargas de material orgánico, con el objetivo de buscar una manera de mejorar la separación.

Los vectores y plagas como los roedores y las moscas son atraídas naturalmente por los olores del proceso. Con el fin de minimizar estos vectores, se debe cumplir una gestión estricta con respecto al mantenimiento de las condiciones aeróbicas, que impacta en la prevención de olores, y también del mantenimiento del sitio. Esto considera cubrir siempre cualquier material rico en nitrógeno (verde, como restos de frutas y verduras) que esté almacenado, con material rico en carbono (café, como restos de podas).

Salud y seguridad

El proceso de compostaje es un proceso natural, y si es manejado adecuadamente no debería presentar riesgos para la salud. De todos modos, siempre se debe considerar:

- Seguir los procedimientos de salud y seguridad indicados para operar los equipos en la planta.

- Cuando se trabaja cerca de las pilas de compostaje, asegúrese de usar guantes.

- Durante el proceso de transporte y manejo de compost, se pueden generar partículas de polvo. Es recomendable usar máscaras respiratorias de protección, para evitar la inhalación prolongada de polvo.

- Evitar ingesta de cualquier alimento y/o fumar mientras trabaja en las instalaciones. Se debe contar con espacios determinados para estas actividades.

- Lavarse las manos antes de comer y beber.

- Además de los pasos anteriores, es fundamental garantizar que el personal utilice el equipo de protección personal (EPP) adecuado, en todo momento.

- El EPP común de la instalación de compost incluye cascos, gafas de seguridad, tapones para los oídos, mascarilla o equipo respiratorio, overoles, chalecos de alta visibilidad, guantes y botas de trabajo. Se recomienda que cada instalación cuente con un plan de salud y seguridad, que sea revisado anualmente.

- El compostaje es un proceso de fabricación que se puede usar para desviar del relleno sanitario los materiales orgánicos, reducir el impacto de los gases de efecto invernadero y, además, producir compost y aprovechar sus beneficios.

La siguiente sección presenta algunos detalles sobre el proceso y una guía sobre cómo operar una instalación de compostaje.

DISEÑO DE UNA PLANTA DE COMPOSTAJE PEQUEÑA



Fuente: Municipalidad de Santa Juana

Planta de compostaje pequeña. Pilas en hileras y descubiertas (2.600 toneladas al año).

Las cantidades pequeñas de residuos orgánicos que se combinan con restos de hojas y jardín y/o astillas o chips de madera se pueden compostar en una planta de compostaje pequeña, sobre una superficie y en hileras descubiertas al aire libre (por ejemplo, en un sitio pavimentado y sin techo). A continuación, se presenta información de ayuda relacionada a cómo desarrollar plantas de compostaje pequeñas.

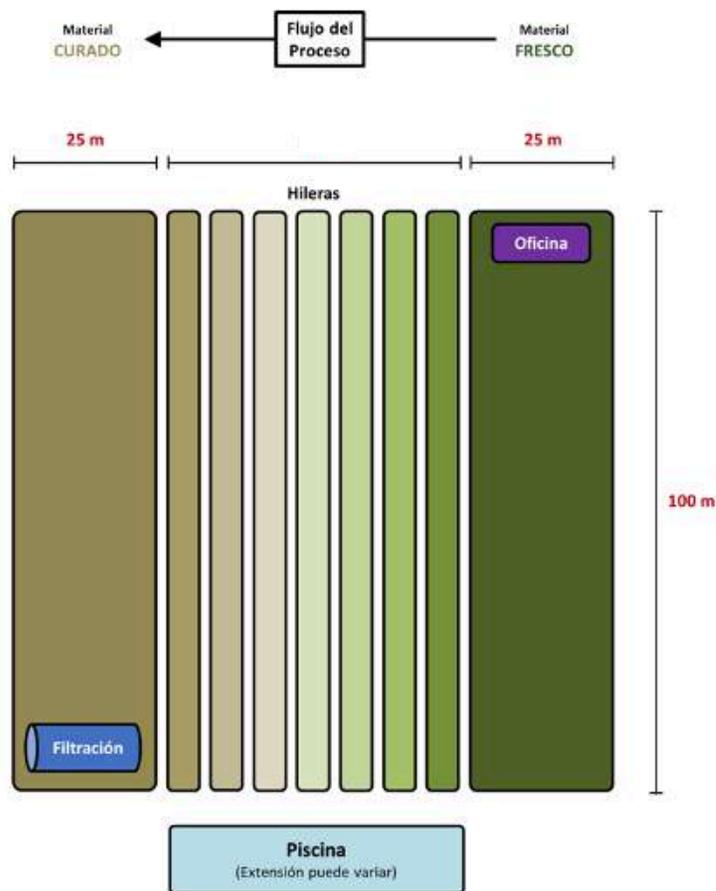
Consideraciones:

- 10 toneladas por día como materia prima (denominada Mezcla), que considera:

- 50% del peso corresponde a residuos orgánicos;
- 50% del peso (3-4 veces en volumen) corresponde a hojas y residuos de jardín y/o astillas o chips de madera.
- La planta opera 260 días al año y procesa 2.600 toneladas al año.
- La Mezcla tiene una densidad de 0,5 ton/m³
- La rotación del sitio es anual. Es decir, el tiempo de residencia del material a ser compostado en la planta es de 12 meses, lo cual considera 6 meses de compostaje activo y 6 meses de curado y almacenamiento).
- El área de compostaje está pavimentada y no posee techo (si el compostaje está bien manejado, no se requiere un techo).
- El área de compostaje tiene un perímetro adicional de 3 m en sus cuatro lados.
- Las hileras tienen 4 metros de ancho, 3 m de alto y 94 m de largo. Existe una separación de 3 m entre hileras y un espacio de 3 m en los extremos de las hileras.
- La planta requiere personal que trabaja en jornadas reducidas: un supervisor de sitio (1 hora por día), un operador de maquinaria (4 horas por día) y un obrero (4 horas por día).

Bajo este escenario, se requeriría un área de compostaje de, aproximadamente, 0,75 a 1 ha. La **Figura 14** muestra el esquema y dimensiones aproximadas de una instalación pequeña típica.

Figura 14 Diseño de una planta de compost pequeña (2.600 toneladas al año)



Fuente: Reciclo Orgánicos

El diseño no incluye una piscina de lixiviados para la recolección de aguas lluvia y líquidos de las pilas, cuyo diseño y dimensiones deben determinarse para cada proyecto específico, ya que variará en función de la ubicación geográfica y las condiciones meteorológicas. Se debe considerar que

no siempre se requiere de una piscina de lixiviados. De todos modos, la superficie pavimentada debería tener una pendiente de 2-4% en dirección hacia la piscina de lixiviados.

50-60% del área pavimentada deberá usarse para compostaje activo y curado, mientras el 50-40% restante se destinará a usos auxiliares como:

- Área de recepción, almacenamiento y pre procesamiento de la materia prima; y
- Área para tamizado y almacenamiento del compost terminado.

El área total requerida para la planta puede reducirse si se incrementa la frecuencia de rotación del sitio o si se reduce el área de usos auxiliares.

Las hileras no necesitan ser del largo total del área de compostaje como se muestra en la **Figura 14**. Las áreas auxiliares pueden ser organizadas según el operador prefiera. Por ejemplo, el área de recepción de material puede organizarse de manera separada:

- Área de recepción de materias primas
- Área de almacenamiento de hojas, restos de jardín y astillas de madera
- Área de mezcla

Adicionalmente, el compost terminado puede organizarse en hileras para su almacenamiento.

Recepción de material y pre procesamiento

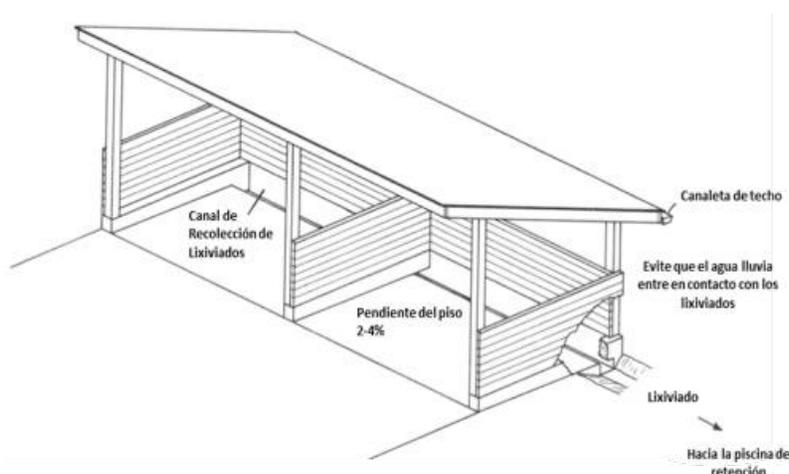
Los residuos de hojas y jardín y de astillas de madera pueden

almacenarse en el sitio y mezclarse con los residuos de alimentos una vez que arriban al sitio. Opcionalmente, la planta puede incluir una balanza de camiones para pesar tanto los residuos que ingresan, como el compost finalizado que abandona el sitio.

Para maximizar el uso del espacio en la planta, se debe tratar de chipear o triturar la materia prima tan pronto arribe al sitio, o bien, recibirla ya disminuida.

En el caso de los residuos alimentarios, estos deben verse en el sitio y ser trasladados y colocados en el área de mezclado (la **Figura 15** muestra un ejemplo). Esta área debería estar, al menos, pavimentada. En el caso de construir un área de mezcla tipo búnker (como la **Figura 15**), se recomienda su construcción utilizando concreto. Los residuos de hojas y las astillas de madera deben añadirse posteriormente para crear la mezcla.

Figura 15 Galpón de almacenamiento y mezcla con canaleta (opcional) de recolección de lixiviados



Fuente: adaptación propia a partir de *On-Farm Composting Handbook*.

Tal como se mencionó en el **capítulo 3**, la maquinaria clave para recibir y pre procesar el material (además de otras varias actividades) es un cargador frontal pequeño (**Figura 2**).

Opcionalmente, se puede contar con equipo para mezclar la materia prima. De igual modo, la maquinaria para chipear o triturar es opcional ya que se puede reemplazar contratando cada cierto tiempo el servicio, en lugar de invertir en ellos.

Procesamiento

Un equipo esencial requerido en el proceso de compostaje es un termómetro analógico. Se utiliza para medir la temperatura interna de las hileras con la finalidad de documentar y monitorear el progreso del proceso (**Figura 16**). En ese sentido, la temperatura también se puede complementar con datos obtenidos mediante el uso de medidores de oxígeno y de pH. Adicionalmente, el cargador frontal puede utilizarse para la formación y volteo de hileras. Sin embargo, también se puede utilizar equipamiento opcional (volteador de hileras rodante) para mejorar la mezcla y volteo (**Figura 17**).

Figura 16 Termómetro de compost



Fuente: Root Simple

Figura 17 Volteador de hileras rodante



Fuente: *Compostando Ciencia*

Procesamiento

Un equipo esencial requerido en el proceso de compostaje es un termómetro analógico. Se utiliza para medir la temperatura interna de las hileras con la finalidad de documentar y monitorear el progreso del proceso (**Figura 16**). En ese sentido, la temperatura también se puede complementar con datos obtenidos mediante el uso de medidores de oxígeno y de pH. Adicionalmente, el cargador frontal puede utilizarse para la formación y volteo de hileras. Sin embargo, también se puede utilizar equipamiento opcional (volteador de hileras rodante) para mejorar la mezcla y volteo (**Figura 17**).

Figura 18 Esquema de una criba de tambor usado para tamizar el compost



Fuente: *BGreenaway*

Tamizado, harneado o cribado

Cuando el proceso de compostaje ha terminado, una práctica común es tamizar, harnear o cribar el material para remover cualquier contaminante no degradado (por ejemplo, plásticos, metales, etc.) o remanentes de ramas y/o chips de madera de mayor dimensión. Por lo general, para este propósito se utiliza una criba de tambor (**Figura 18**).

DISEÑO DE UNA PLANTA DE COMPOSTAJE MEDIANA



Planta de compostaje mediana. Pilas cubiertas con ventilación forzada (26.000 toneladas al año).

Fuente: Wikipedia

Al tratar mayores cantidades de residuos es necesario utilizar tecnología capaz de proporcionar aireación mecánica suplementaria, para conseguir un proceso de compostaje eficiente. El umbral para decidirse por un proceso de compostaje tecnificado en lugar de uno con hileras ventiladas naturalmente es inexacto, pero una buena regla general es considerar el compostaje tecnificado cuando el material total a tratar en el sitio (incluyendo tanto residuos orgánicos, como restos de poda y jardín, astillas y/o chips de madera) sea mayor a 5.000

toneladas por año.

A continuación, se presenta información de ayuda relacionada a cómo desarrollar este tipo de instalaciones medianas.

Consideraciones:

- 100 toneladas por día como materia prima

- 50% del peso corresponde a comida;
- 50% del peso (3-4 veces en volumen) corresponde a hojas y residuos de jardín y/o astillas de madera.
- La planta opera 260 días al año y procesa 26.000 toneladas al año.
- La mezcla tiene una densidad de 0,5 ton/m³
- Esta planta contempla el uso de membranas (por ejemplo, aquella fabricada por Gore®) para cubrir las hileras de compostaje y así funcionar como recipiente. Las hileras reciben aireación mecánica asistida mediante el control de la temperatura y oxígeno. Esto permite lograr un compostaje activo o de alta velocidad;
- Las pilas recibirán suministros de temperatura y/u oxígeno, regulada por sondas, mediante aireación o ventilación mecánica;
- El área de compost está pavimentada y no posee techo (las hileras quedan cubiertas con las membranas); El área de compost tiene un perímetro adicional de 3 m en sus cuatro lados;
- Las hileras tienen 8 metros de ancho, 3,5 m de alto y 50 m de largo. Suman en total 8 hileras cubiertas por membranas y están divididas en tres fases de compostaje;
- La planta requiere personal que trabaja en jornadas de tiempo completo (8 horas por día): un supervisor de sitio, un operador de maquinaria y un obrero.

Bajo este escenario, se requeriría de un área de compostaje

de aproximadamente 1,5 ha. La **Figura 20** muestra el esquema y dimensiones aproximadas de una instalación mediana típica (no está a escala real).

El diseño no incluye una piscina para la recolección de aguas lluvia, cuyo diseño y dimensiones deben determinarse para cada proyecto específico, ya que variará en función de la ubicación geográfica y las condiciones meteorológicas. De todos modos, la superficie pavimentada debería tener una pendiente de 2-4% hacia la piscina. El lixiviado generado será recolectado mediante canaletas ubicadas bajo las hileras y será conducido hacia uno o dos estanques de recolección de líquidos (de cerca de 23.000 litros).

33% del área pavimentada deberá usarse para compostaje activo (0,5 ha), mientras el 67% restante (1,0 ha) para usos auxiliares como:

- Área de recepción y almacenamiento (0,4 ha aprox.) y pre procesamiento de la materia prima (en un galpón de 225 m² aprox.); y
- Área para curado, tamizado y **almacenamiento del compost terminado (0,6 ha aprox.)**.

El área total requerida para la planta puede reducirse si se incrementa la frecuencia de rotación del sitio o si se reduce el área de usos auxiliares.

- Las áreas auxiliares pueden ser organizadas según el operador prefiera. Por ejemplo, el área de recepción de material podría incluir contenedores de almacenamiento de los restos de hojas y jardín, y las astillas o chips de madera, y un área específica para pre procesamiento. El área de curado podría organizarse en grandes hileras de compost, un área de tami-

zaje y un área para almacenamiento del compost terminado.

Recepción de material y pre procesamiento

Los residuos de hojas, jardín y las astillas de madera pueden almacenarse en el sitio y mezclarse con los residuos orgánicos una vez que arriban al sitio. Es recomendable que la planta incluya una balanza de camiones para pesar tanto los residuos que ingresan, como el compost terminado que abandona el sitio.

Para maximizar el uso del espacio en la planta, se debe chipear o triturar la materia prima tan pronto arribe al sitio, o bien, recibirla ya disminuida.

Opcionalmente, se puede contar con equipo para mezclar la materia prima. De igual manera, la maquinaria para chipear o triturar es opcional ya que se puede reemplazar contratando cada cierto tiempo el servicio, en lugar de invertir en ellos. Para esta dimensión de plantas hay una mayor utilización del equipamiento en comparación a las pequeñas, justificando mayormente su adquisición.

Los residuos de alimentos serán recibidos en un edificio tipo galpón (**Figura 19**), para ser mezclados posteriormente con los residuos de hojas y jardín y astillas o chips de madera. Este edificio también podría albergar el almacenamiento a corto plazo de los residuos de alimentos (1-3 días).

Tal como se mencionó en el capítulo 2, la maquinaria clave para recibir y pre procesar el material (además de otras varias actividades) es un cargador frontal mediano (**Figura 2**).

Figura 19 Edificación para recepción de residuos de alimentos y preprocesamiento



Fuente: Ilustre Municipalidad de Santa Juana

Figura 20 Diseño de una planta de compost (100 toneladas por día)

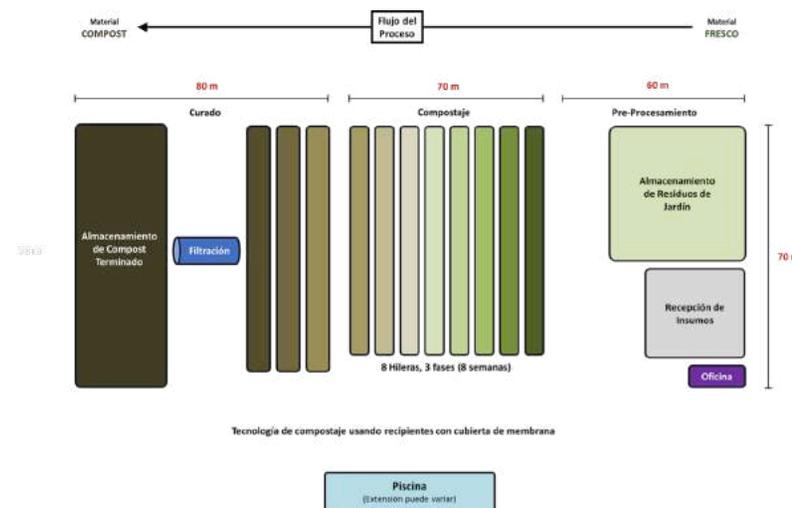


Foto por Reciclo Orgánicos

Opcionalmente, para mezclar los residuos orgánicos, hojas y restos de jardín, de astillas o chips de madera, se puede utilizar una trituradora de baja velocidad (**Figura 21**) o una trituradora de alta velocidad, la cual podría facilitar tanto la reducción del tamaño de los insumos, así como la mezcla de las materias primas.

Posteriormente, la mezcla será transportada desde el área de recepción de insumos hacia las hileras cubiertas con membrana en el área de compostaje, a través de una banda transportadora o mediante el uso de un cargador frontal.

Figura 21 Trituradora de baja velocidad



Foto por Shutterstock

Formación de hileras

Para una producción de 100 toneladas por día (26.000 toneladas al año) de materia prima se requerirían formar 8 hileras cubiertas por membranas que se organizan en tres fases.

La Fase 1 requiere cuatro hileras y los residuos permanecen en ella durante cuatro semanas. Posteriormente, el cargador

frontal remueve la membrana y transporta el material a la Fase 2. La Fase 2 tiene dos hileras, y dura dos semanas.

La Fase 3 tiene dos hileras y continúan recibiendo aireación mecánica durante otras dos semanas, pero no siempre están cubiertas. Así, el proceso completo tarda 8 semanas. **La Figura 21** muestra las 8 hileras, de las cuales las hileras descubiertas corresponden a la Fase 3.

Figura 22 Diseño de una planta de compostaje con hileras cubiertas por membrana



Fuente: Sustainable Generation

La mezcla recién procesada deberá ser siempre destinada a la Fase 1. Una vez que la hilera ha sido formada en su totalidad, se deberá cubrir con la membrana y accionar el sistema de aireación mecánica. Sin embargo, es importante tener en cuenta que formar una hilera completamente puede tomar varios días. Durante ese tiempo la hilera debe permanecer cubierta. Por ese motivo, al final de cada día y dependiendo del grado de avance en la conformación de la hilera, se deberá considerar accionar temporalmente el sistema de aireación

mecánica. Las membranas pueden ser colocadas y removidas mediante el uso de un sistema específico para su manejo (**Figura 23**).

Adicionalmente, la aireación en cada hilera estará regulada según los parámetros obtenidos mediante una sonda de temperatura y una de contenido de oxígeno, que son específicamente diseñadas, instaladas y configurada para optimizar el proceso de compostaje.

Una vez finalizada la Fase 3 (es decir, luego de aproximadamente 8 semanas), el material compostado se traslada al área de curado final, tamizado o cribado y almacenamiento de compost terminado.

Figura 23 Maquinaria utilizada para instalar y remover las cubiertas de membrana.



Fuente: Compost Systems

Un equipo esencial requerido en el proceso de compostaje es un termómetro analógico (**Figura 16**), utilizado para medir la temperatura interna de las hileras de compostaje una vez que salen del sistema automatizado, ya que bajo las membranas existen sondas que permiten el monitoreo. La temperatura también se puede complementar con datos obtenidos mediante el uso de medidores de oxígeno y de pH.

Tamizado, harneado o cribado

Cuando el proceso de compostaje ha terminado, una práctica común es tamizar, harnear o cribar el material para remover cualquier contaminante no-degradado (por ejemplo, plásticos, metales, etc.) o remanentes de ramas y/o chips de madera de mayor dimensión. Por lo general, para este propósito se utiliza una criba de tambor (**Figura 18**).

SUGERENCIAS DE EQUIPAMIENTO Y MAQUINARIA

Al momento de equipar una planta de compostaje, debe dimensionarse adecuadamente la maquinaria que permita operar la cantidad de material orgánico que se recibirá. Las sugerencias sobre dimensiones y capacidades que se entregan en esta sección tienen como objetivo no subdimensionar el equipamiento.

Cargador frontal

Considerando que el cargador frontal es la maquinaria más crítica en una planta de compostaje, es importante no sub-

dimensionar su capacidad de operación, que debe estar en función de la escala de cada planta.

Para plantas pequeñas, se sugiere considerar un cargador frontal con una capacidad de balde de, al menos, entre 0,8 y 1,1 m³. De igual modo, para una planta mediana, se debe considerar una capacidad de balde de, al menos, entre 2,9 y 3,2 m³.

Chipeadora

La alternativa más conveniente para cubrir esta necesidad podría ser intentar que el material orgánico “café” arribe previamente chipeado a la planta.

En caso contrario, se puede considerar tanto la adquisición de una chipeadora, como también contratar los servicios o el arriendo de la maquinaria a un proveedor externo, durante algunos meses al año, a modo de no incurrir en la inversión.

Preferentemente, se debe contar con una maquinaria que se alimente mediante una cinta (en vez de alimentación manual), ya que puede ser desafiante utilizar una chipeadora manual para procesar el material café, lo que requeriría varias horas durante la jornada laboral para su operación. Sin embargo, la inversión en una chipeadora con cinta de alimentación automática puede ser impensado.

A modo de recomendación mínima, se sugiere que para una planta pequeña se utilice, como mínimo, una chipeadora manual de 173 hp (129 kW) de potencia, con una capacidad de garganta de 0,5m x 0,6m.

Para una planta mediana, la recomendación mínima consiste en un triturador de baja velocidad, con una tolva de alimen-

tación de 4,0m x 2,9m. En este caso, el triturador puede también reducir el tamaño y mezclar el material verde con el material café.

Criba

Para plantas pequeñas se sugiere contar con, al menos, una maquinaria con capacidad de motor cercana a 9,5 HP (7,1 kW), con una plataforma de cribado de, al menos, 1,5 m x 1,5 m. En el caso de plantas medianas, la capacidad mínima sugerida alcanza una capacidad de motor cercana a 174 HP (130 kW), con una plataforma de cribado de, al menos 1,8m x 6,4m.

SUGERENCIAS PARA CONSIDERAR CONSIDERAR GALPÓN O TECHUMBRE

Según lo expuesto en el capítulo de Introducción al Compostaje, el proceso de compostaje requiere una concentración de humedad entre 50 y 60%. Una alternativa que permite mantener la humedad adecuada en las pilas es a través de las precipitaciones, en el caso de que las pilas no estén bajo un galpón o techumbre, y recolectar el exceso de lluvia mediante canaletas dirigidas hacia un estanque de almacenamiento. Este líquido incluirá nutrientes solubilizados, tales como amonio y nitrato, que ya no serán parte del compost.

En caso de que la humedad de la pila aumente excesivamente por la precipitación, el proceso de compostaje se verá afectado, ralentizándolo y creando condiciones que permitirán una generación excesiva de malos olores.

Por ello, debe considerarse que no existe un umbral de pre-

precipitación claro que permita decidir si se debe cubrir o dejar descubiertas las pilas de compostaje, ya que depende específicamente de la ubicación de la planta. A pesar de esto, el potencial impacto de la precipitación sobre las pilas varía según el tipo de materia prima tratada. Los residuos orgánicos cafés (podas de jardinería, hojas, arbustos) son generalmente más fáciles de compostar y típicamente se compostan sin cubrir, mientras que los residuos orgánicos verdes (alimentos) son más difíciles de compostar, debido a la cantidad de nutrientes y su humedad, si están en pilas descubiertas, ya que la aireación proporcionada mediante el volteo de ellas puede ser insuficiente si se han incorporado precipitaciones excesivas.

Debido a esto, en las siguientes tablas se establecen valores de referencia que permiten determinar cuándo es adecuado cubrir o dejar descubiertas las pilas de compostaje, según tipo de materia prima a compostar, la capacidad de tratamiento anual de las plantas y la cantidad de precipitación anual en el sitio de ubicación de la planta. Se resalta que estas son "reglas generales", ya que esto depende muy específicamente del sitio de emplazamiento de la planta.

Residuos de podas y jardinería (café)

Este tipo de materia prima puede tolerar una cantidad considerable de precipitación y aun así ser compostado adecuadamente. En zonas de alta precipitación, la clave es construir pilas un poco más grandes de lo normal, con lo que se permite no cubirlas. Los valores de referencia se muestran a continuación.

Tabla 11 Relación entre precipitación anual en la zona de emplazamiento de la planta y la necesidad de cubrir (o no) las pilas de compostaje, que tratan solo residuos cafés

Toneladas por año	Precipitación anual			
	Hasta 500 mm	500 - 1.000 mm	1.000 - 2.000 mm	2.000 mm o más
Hata 1.000	Descubierta	Descubierta	Cubierta	Descubierta
Hata 5.000	Descubierta	Descubierta	Cubierta	Cubierta
Hata 10.000	Descubierta	Descubierta	Cubierta	Cubierta
Hata 25.000	Descubierta	Descubierta	Cubierta	Cubierta

Fuente: Paul Van der Werf (2019).

Residuos orgánicos (verde)

La materia orgánica verde es más difícil de compostar que la café, independientemente de la precipitación. Es aconsejable cubrir y proporcionar aireación suplementaria (mecánica) para las instalaciones que traten más de 5.000 toneladas al año, para garantizar un proceso de compostaje adecuado y reducir la probabilidad de generación de malos olores. Los valores de referencia se muestran a continuación.

Tabla 12 Relación entre precipitación anual en la zona de emplazamiento de la planta y la necesidad de cubrir (o no) las pilas de compostaje, que tratan residuos verdes y cafés

Toneladas por año	Precipitación anual			
	Hasta 500 mm	500 - 1.000 mm	1.000 - 2.000 mm	2.000 mm o más
Hata 1.000	Descubierta	Descubierta	Descubierta	Cubierta
Hata 5.000	Descubierta	Descubierta	Cubierta	Cubierta
Hata 10.000	Cubierta	Cubierta	Cubierta	Cubierta
Hata 25.000	Cubierta	Cubierta	Cubierta	Cubierta

Fuente: Paul Van der Werf (2019).

6

Producto final

CALIDAD DEL COMPOST Y USOS



Foto por Shutterstock

Las normas de calidad del compost toman en consideración tanto la protección del medio ambiente como de la salud de todos los usuarios. Como tal, es importante que el compost sea empleado de acuerdo con las indicaciones estipuladas en la etiqueta del producto.

En esta sección se presenta un resumen general de los principales parámetros estipulados dentro de la normativa chilena NCh2880 Compost Clasificación y Requisitos.

La calidad del compost se determina en base a parámetros de calidad de la materia prima, cantidad de microorganismos patógenos, contenido de metales pesados, contenido de materia extraña, madurez del compost y el etiquetado.

En Chile, de acuerdo con estos parámetros el compost puede clasificarse como compost de Clase A, Clase B e Inmaduro.

Reducción de patógenos

Todos los tipos de compost, es decir Clase A, Clase B e Inmaduro, deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- Tener una densidad de coliformes fecales menor a 1.000 Número Más Probable (NMP) por gramo de compost, base seca.
- Tener una densidad de salmonella sp. menor a 3 NMP en 4 gramos de compost, base seca.
- Tener un contenido de huevos de helmintos menor a 1 en 4 gramos de compost, base seca.

Concentración de metales pesados

Todo el compost producido en Chile (Clase A, Clase B e Inmaduro) debe cumplir con los siguientes requisitos respecto a la concentración de metales pesados, tanto aquellos producidos a partir de lodos provenientes del tratamiento de aguas como aquellos que no.

Tabla 13 Requisitos respecto a la concentración de metales pesados en el compost Clase A, según NCh 2880. (no producido en base a lodos)

Metal pesado	Concentración Máxima en (mg/kg)
Arsénico	15
Cadmio	2
Cobre	100
Cromo	120
Mercurio	1
Molibdeno	2
Níquel	20
Plomo	100
Selenio	12
Zinc	200

Fuente: Paul Van der Werf (2019).

Adicionalmente, para la aplicación de compost producido en base a lodos, se debe cumplir también los requisitos de aplicación establecidos en el Reglamento para el Manejo de Lodos no Peligrosos Generados en Plantas de Tratamiento de Aguas, evitando así la acumulación de metales pesados en los suelos.

Por otra parte, todo compost producido para la agricultura orgánica debe cumplir con los requisitos para productos orgánicos establecidos en la NCh 2439.

Impurezas

El término “Impurezas” se refiere a la presencia de plásticos, metales y/o vidrio en tamaños variados. El compost debería estar libre de materias extrañas de tamaño o forma que pueda razonablemente causar lesiones en humanos o animales.

Atendiendo a la clase de compost, el máximo contenido de materia extraña no debe exceder las concentraciones establecidas en la normativa NCh 2880.

Requisitos específicos para compost orgánico

El compost orgánico debe cumplir con todas las especificaciones que le son atingentes y que están establecidas en la NCh 2439.

- El origen de la materia prima vegetal y animal utilizada para elaborar el compost orgánico debe provenir de cultivos y planteles orgánicos extensivos, respectivamente.
- Se pueden ocupar residuos domiciliarios siempre y cuando se establezca un sistema de separación de elementos potencialmente contaminantes.
- En los lugares de acumulación del residuo animal, se debe evitar la contaminación de las napas freáticas.
- Se permiten como aditivos, los insumos autorizados en la NCh 2439.
- La relación C:N inicial debe ser entre 25:1 y 40:1.

COMERCIALIZACIÓN



Foto por Shutterstock

La producción con fines comerciales de compost está sujeta a fiscalización y control por parte de la Autoridad Competente (normativa chilena NCh 2880). Previo a iniciar la comercialización del compost se requiere que:

- Los productores de compost deben someter sus antecedentes en la forma que establezca la Autoridad Competente, la que decide acerca de la aceptación de inscripción de postulantes en los registros de productores autorizados de compost y de su permanencia en ellos.
- Los productores de compost deben utilizar un sistema de registros que asegure la trazabilidad del producto.
- Los productores deben llevar registro de ingresos de materia prima que especifique tipo de materia prima, origen y cantidades.
- El productor autorizado de compost debe llevar un registro de cada partida de compost producida, el que debe estar

disponible en la forma y conteniendo los antecedentes que establezca la Autoridad Competente.

Además, los registros de producción deben incluir, a lo menos, la siguiente información:

- Identificación de cada pila, utilizando un código en que conste el método de compostaje y el número correlativo de la pila. Tipo de material que conforma cada pila (especie de origen, órgano vegetal o material animal).
- Origen del material por pila.
- Fecha de inicio y de término de formación de la pila.
- Masa de producto en proceso para cada pila.
- Registros trazables de temperatura por pila.
- Fecha de término del proceso de compostaje por pila.
- Otros que establezca la Autoridad Competente.

Rotulación del producto

El compost (todas las clases) a ser comercializado en Chile debe contar con la siguiente información relativa al producto: Nombre del productor autorizado, dirección y teléfono.

- Número de resolución de la Autoridad Competente, que autoriza el funcionamiento de la planta de compostaje productora de compost.
- Número de identificación de la partida del producto.

- Clasificación del producto en compost Clase A o Clase B o Inmaduro (subestándar).
- Peso total.
- Porcentaje de materia orgánica total.
- Porcentaje de humedad.
- Relación C:N.
- Indicación de la existencia de la ficha técnica a disposición del usuario.
- Recomendaciones y restricciones de uso.
- Porcentaje de impurezas.
- Advertencias sobre toxicidad.



Foto por Shutterstock

Mercado del compost

El negocio del compostaje se asemeja al de la gestión de un relleno sanitario en el sentido de que se cobra dinero por la recepción de residuos, pero se diferencia en el sentido de que se produce un producto final que puede ser comercializado.

En la práctica, el negocio del compost puede llegar a generar dos entradas de dinero. La primera derivada de la recepción de residuos y la segunda de la venta del producto. A su vez, el negocio también tiene competidores "dobles", aquellos que reciben y/o compran residuos y aquellos que venden sustratos vegetales para plantas.



Foto por Shutterstock

A continuación, se describen los principales usuarios del mercado del compost en Chile.

Viveros, jardines, paisajistas y contratistas

Los viveros, jardines, paisajistas y contratistas son grandes consumidores de sustratos vegetales, utilizándolos para la construcción de jardines, ventas directas a clientes, así como para la producción comercial de plantas y árboles.

Existe un gran número de viveros, jardines y paisajistas en la Región Metropolitana de Santiago de Chile y sus alrededores (aproximadamente 200).

Sin embargo, es muy difícil distinguir el número exacto de viveros, jardines y paisajistas, ya que muchos de ellos están integrados y realizan las tres funciones a la vez. Un tema importante para considerar en el mercado es que no todo el público está consciente de las bondades del compost.



Foto por Pixabay

Agricultores orgánicos

Otro potencial importante cliente son los agricultores orgánicos, quienes buscan producir alimentos prescindiendo del uso de sustancias químicas sintéticas como fertilizantes, herbicidas, fungicidas, insecticidas o cualquier otro pesticida, hormona o reguladores de crecimiento obtenidos químicamente.

En la actualidad, existe una tendencia mundial por el consumo de productos de origen orgánico. En Europa la producción crece en más de 15% al año.

Desde esta perspectiva, el compost constituye una alternativa viable para este tipo de productos, al ser 100% natural. De acuerdo con los datos del Ministerio de Agricultura, en Chile existen más de 2.500 hectáreas utilizadas para agricultura orgánica. Pero, además, se espera que este mercado experimente un fuerte crecimiento debido a la mayor consciencia a nivel mundial del beneficio de los productos orgánicos.



Foto por Shutterstock

Particulares

Finalmente, otro segmento está constituido por los dueños de casa y jardineros que compran compost en pequeñas cantidades para construir y/o arreglar sus jardines.

Este segmento suele ser muy selectivo al momento de adquirir el compost y, por lo general, no tiene reparos en pagar mayor cantidad de dinero, siempre y cuando la calidad del compost lo amerite.



Foto por Pixabay

CONSIDERACIONES FINALES

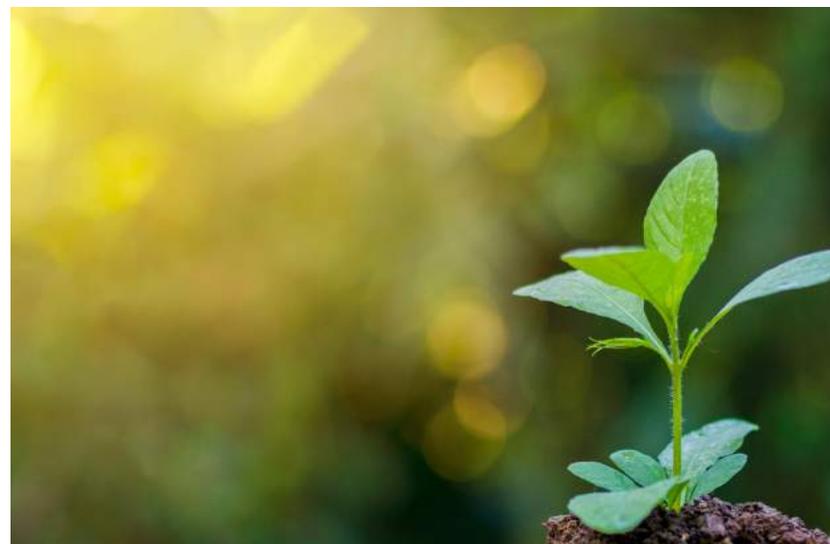


Foto por Shutterstock

El compostaje es una actividad que no sólo contribuye a mitigar el Cambio Climático, sino que le devuelve la vida al suelo, formando parte del ciclo natural del medio ambiente.

¿Cómo es posible que cuando llega la primavera se restablezca el crecimiento natural de las plantas y sus flores? Ese ciclo es conocido como la “economía circular” de la naturaleza. Mediante la degradación natural de residuos, la naturaleza, plantas y animales, devuelven al ciclo natural aquellos elementos que han producido a lo largo de su desarrollo.

Con la ayuda de la radiación solar y la combinación de dióxido de carbono, agua y elementos nutrientes, las plantas producen las sustancias necesarias para su crecimiento y desarrollo hasta la formación de frutos y semillas. Más tarde,

a fines del verano, se cierra el ciclo anual de producción de materia vegetal y, con ello, el proceso de crecimiento.

Posteriormente, en el otoño, los colores del bosque anuncian la caída de las hojas. La vida se retira de la copa de los árboles hacia el suelo para invernar. La hojarasca, que cubre el suelo del bosque formando una espesa capa, crea junto a restos de corteza, ramas, excrementos animales y hierbas marchitas, la base alimentaria para millones de seres vivos que habitan en el suelo.

Mediante este ciclo, los nutrientes y constituyentes del suelo se mantienen en constante movimiento y facilitan la generación de las condiciones necesarias para sostener la vida.

Siguiendo esa misma lógica, la invitación para cada una de las personas que lea este manual, es tener presente que cuando compostamos, cada uno de nosotros estamos contribuyendo a generar y mantener el ciclo de la vida.

#YORECICLORGANICOS, ¿Y TÚ?



Bibliografía asociada

Canada, Environment Canada, Waste Reduction and Management Division. (2013). Technical document on municipal solid waste organics processing - summary. Ottawa, ON: Environment Canada.

Disponible en [en línea]:

https://www.ec.gc.ca/gdd-mw/3E8CF6C7-F214-4BA2-A1A3-163978EE9D6E/13-047-ID-458-PDF_accessible_ANG_R2-reduced%20size.pdf

Chardoul, N., O'Brien, K., Clawson, B. y Fletcher, M. (2015). Compost Operator Guidebook. Lansing, MI: Michigan Recycling Coalition.

Disponible en [en línea]:

https://www.michigan.gov/documents/deq/deq-oea-compostoperatorguidebook_488399_7.pdf

Chiumenti, A., Chiumenti, R., Diaz, L. F., Savage, G. M., Eggerth, L. L. y Goldstein, N. (2005). Modern Composting Technologies. Emmaus, Pennsylvania: Journal of Composting & Organics Recycling.

CH2M Hill y Compost Council of Canada. (2010, December 10 Compost Facility Operator Study Guide (Canada, Government of Alberta, Environment and Parks). **Disponible**

en [en línea]:

<https://open.alberta.ca/publications/9781460141304#detailed>

Government of New Brunswick. (2017, April 11). Guidelines for the Site Selection, Operation and Approval of Composting Facilities in New Brunswick.

Disponible en [en línea]:

https://www2.gnb.ca/content/gnb/en/departments/elg/environment/content/land_waste/content/composting/guidelines_for_compostingfacilities.html

Odor Management Practices for Composting Facilities. (2019). Ohio Environmental Protection.

Disponible en [en línea]:

https://epa.ohio.gov/portals/34/document/guidance/gd_497.pdf

Ontario, Ministry of the Environment, Waste Management Policy Branch. (2012). Guideline for the production of compost in Ontario companion to the Ontario compost quality standards. Toronto: Ministry of the Environment, Waste Management Policy Branch.

Disponible en [en línea]:

<https://www.ontario.ca/page/guideline-production-compost-ontario>

Rynk, R., van de Kamp, M., Willson, G., Singley, M., Richard, T., Kolega, J., Gouin, F., Laliberty, L., Kay, D., Murphy, D. y Hoitink, H. (1992). On-Farm Composting Handbook. Ithaca, New York: Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service (NRAES).

United Nations ESCAP y Waste Concern. (2012, March). Operational Manual on Composting for an Integrated Resource Recovery Center (IRRC) (United Nations, Economic and Social Commission for Asia and Pacific).

Disponible en [en línea]:

https://www.unescap.org/sites/default/files/Operational%20Manual%20Composting%20and%20IRRC_FINAL.pdf

World Bank Group. (2016). Sustainable Financing and Policy Models for Municipal Composting (Urban Development, Rep. No. 24). Washington, DC: The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank.

Disponible en [en línea]:

<https://elibrary.worldbank.org/doi/abs/10.1596/26286>



#YoReciclOrganicos

www.reciclorganicos.com



Programa impulsado por:



Environment and
Climate Change Canada

Environnement et
Changement climatique Canada

Programa ejecutado por:

