



Ministerio de
Salud

Gobierno de Chile

MANUAL SOBRE

INSTALACIONES DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS

2025

Manual sobre instalaciones de valorización de residuos orgánicos

Editor: Departamento de Salud Ambiental, División de Políticas Públicas Saludables y Promoción, Ministerio de Salud

Autores: Natalia Muñoz, Pierina Mirone, Rodolfo Peña, Gerhard Schleenstein (Ecotec Ingeniería Ltda.)

Por su valiosa colaboración en el logro de esta publicación:

Ministerio de Medio Ambiente

Ministerio de Vivienda y Urbanismo

Diseño y diagramación: Paola Escobar Sánchez

Impresión: Imprenta Maná

Se autoriza la reproducción parcial de los contenidos de la presente publicación para los efectos de su utilización a título de cita o con fines de enseñanza e investigación, siempre citando la fuente correspondiente, título y autor.

MINSAL, 2025. Manual sobre instalaciones de valorización de residuos orgánicos. Gobierno de Chile, Ministerio de Salud. Santiago, Chile.

Agosto 2025

Índice	3
SIGLAS	5
GLOSARIO DE TÉRMINOS	6
1. INTRODUCCIÓN Y CAMPO DE APLICACIÓN	9
2. CLASIFICACIÓN E INFRAESTRUCTURA DE PLANTAS DE COMPOSTAJE	11
2.1 Materia prima	11
2.2 Categorías de instalaciones de valorización según su capacidad	12
2.3 Método de compostaje	13
2.4 Resumen de tecnologías de compostaje	21
2.5 Requisitos constructivos y de diseño	22
3. PARÁMETROS DE CONTROL Y OPERACIÓN	39
3.1 Parámetros operacionales	39
3.2 Monitoreo y control ambiental	45
4. CRITERIOS GENERALES DE LOCALIZACIÓN	47
4.1 Relación con instrumentos de planificación territorial y ordenamiento territorial	47
4.2 Condiciones generales	47
4.3 Condiciones específicas	49
4.4 Consideración de riesgo	50
5. TRATAMIENTO MECÁNICO-BIOLÓGICO	52
6. DIGESTIÓN ANAEROBIA	53
6.1 Digestión anaerobia tradicional	55
6.2 Digestión anaerobia seca	55
6.3 Parámetros de control y operación	56
7. IDENTIFICACIÓN Y PREVENCIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES	59
7.1 Evaluación de impactos para la calificación conforme al artículo 4.14.2. de la OGUC	59
7.2 Ruido	61
7.3 Atracción y presencia de vectores de interés sanitario	62
7.4 Incendios	63
7.5 Material particulado	64
7.6 Emanación de olores molestos	64
7.7 Resumen de prevención de potenciales impactos	66

8. REQUISITOS DE CALIDAD Y SEGURIDAD DEL COMPOST Y DIRECTRICES PARA SU ADECUADO USO	69
8.1 Métodos de aplicación y dosificación de compost	69
8.2 Requisitos de calidad y seguridad del compost	71
8.3 Procedimientos de análisis	72
8.4 Comercialización como fertilizante o enmienda	72
9. BIBLIOGRAFÍA	74
ANEXOS	76
A Ejemplo de Ficha de Control tipo	76
B Tablas sustratos y relación C:N	77
C Criterios para la localización de instalaciones	80
D Utilización de aguas grises en procesos de compostaje	87
E Estudio de Impacto Olorante y Planes de Gestión de Olores	89
F Ejemplo diseño tipo planta de compostaje	99

CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS

Se agradece a las personas y a las instituciones quienes facilitaron material gráfico para este documento:

- Gerhard Schleenstein: Fotografías 1, 2, 13, 14, 18 y 19. Fotografías página completa 38 y 46.
- Ecomaule (Volta): Fotografías 3, 12, 16 y 17. Fotografía página completa 58.
- Florian Volk y A.C.T. GmbH (Alemania): Fotografías 4, 6 y 7. Fotografías páginas completas 1, 2 y 66-67.
- Robert Rynk y Washington State University: Fotografías 5, 8, 9 y 10.
- Rodolfo Peña (con Google Gemini): Fotografía 11 e Imágenes 7, 9 y 10 de la Tabla 5.
- Ron Strutt (Licencia Creative Commons CC BY-SA 2.0): Fotografía 1 de la Tabla 5.
- Rodolfo Peña (con OpenAI ChatGPT): Imágenes 2, 3, 4, 5 y 6 de la Tabla 5.
- Denisbin (Licencia Creative Commons CC BY-ND 2.0): Fotografía 8 de la Tabla 5.
- Natalia Muñoz y Ecotec Ingeniería Ltda.: Fotografía 15.

Siglas

Sigla	Descripción
CBR	California Bearing Ratio (Prueba de penetración para comprobar las características mecánicas de un suelo)
C:N	Relación Carbono-Nitrógeno
COV	Compuesto Orgánico Volátil
D.S.	Decreto Supremo
DFL	Decreto con Fuerza de Ley
IPT	Instrumento de Planificación Territorial
LGUC	Ley General de Urbanismo y Construcciones
Mg	Megagramo (tonelada)
MINSAL	Ministerio de Salud
MINVU	Ministerio de Vivienda y Urbanismo
MMA	Ministerio del Medio Ambiente
NMP	Número Más Probable
OGUC	Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones
PGO	Plan de Gestión de Olores
PROT	Plan Regional de Ordenamiento Territorial
RSD	Residuos Sólidos Domiciliarios
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
SAG	Servicio Agrícola y Ganadero
SEA	Servicio de Evaluación Ambiental
SEREMI	Secretaría Regional Ministerial
SERNAGEOMIN	Servicio Nacional de Geología y Minería
SEIA	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
TEO	Tasa de Emisión de Olor
TMB	Tratamiento Mecánico-Biológico
UO	Unidad de Olor

Glosario de términos

Término	Descripción
Aireación	Inyección de aire al material en proceso de compostaje por medio de métodos mecánicos o manuales. Los métodos de aireación son: volteo mecánico o manual, inyección de aire positiva o negativa y colocación o formación de ductos de ventilación por convección (aireación pasiva).
Biodegradable	Material o compuesto químico que puede ser transformado en sustancias más sencillas por acción biológica.
Biogás	Gas obtenido por procesos de digestión anaeróbica de materia orgánica, cuyos componentes principales son metano (CH_4), y dióxido de carbono (CO_2), con presencia de otros componentes tales como nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2), ácido sulfhídrico (H_2S), vapor de agua y otros en menor proporción.
Biodigestor	Contenedor en el cual se produce la degradación anaeróbica de la materia orgánica, conocido también como digestor, reactor o fermentador.
Compost	Producto orgánico higienizado obtenido a partir del tratamiento biológico aerobio y termófilo de residuos biodegradables recolectados separadamente.
Compostaje	Proceso de descomposición aeróbica de una mezcla de residuos orgánicos, gracias a la acción de microorganismos. Este proceso ocurre en presencia de humedad y genera elevadas temperaturas que permiten higienizar la mezcla, produciendo dióxido de carbono, agua, y materia orgánica estabilizada.
Compostaje barrial	Uso de la técnica del compostaje para que los residuos orgánicos generados por varias personas o familias sean tratados conjuntamente en una unidad de compostaje dentro de una zona común dispuesta para tal efecto.
Compostaje domiciliario	Aplicación de las técnicas de compostaje a residuos que generan las personas o familias individualmente, aplicando el proceso de compostaje en su propia vivienda, terraza, jardín, huerto, etc.
Condiciones aerobias	Situación en la cual el sustrato en descomposición se encuentra en un entorno con alta disponibilidad de oxígeno para los microorganismos encargados de la degradación.
Digestión anaeróbica	Proceso de degradación controlada de materiales biodegradables en ausencia de oxígeno a una temperatura adecuada, donde naturalmente existen especies de bacterias facultativas (crecen en presencia o ausencia de oxígeno) y anaerobias, que convierten la biomasa en biogás y digestato.
Enmienda	Todo producto o mezcla de sustancias de carácter inorgánico, orgánico o biológico que, incorporadas al suelo, modifican o mejoran sus características físicas, químicas o biológicas, sin perjuicio de su valor como fertilizantes.
Estiércol	Todo excremento u orina de animales de granja distintos de los peces de piscicultura, con o sin camas.

Término	Descripción
Etapas termófila	Es la fase del compostaje donde la temperatura alcanza de 40°C a 70°C, debido al calor producido por el metabolismo de microorganismos mesófilos que son remplazados por bacterias termófilas capaces de vivir a esas temperaturas. Durante esta etapa ocurre la destrucción de patógenos.
Fertilizante	Material orgánico o inorgánico, de origen natural o sintético, que, en razón de su contenido en nutrientes, facilita el crecimiento de las plantas, aumenta su rendimiento y mejora la calidad de las cosechas o que, por su acción específica, modifica la fertilidad del suelo o sus características físicas, químicas o biológicas, o la nutrición de las plantas al aplicarlos al follaje. Este concepto incluye las enmiendas y los abonos.
Instalación de valorización o de compostaje	Lugar e infraestructura donde se realiza todo el proceso de compostaje y comprende, entre otras áreas: la recepción y acondicionamiento de materias primas (residuos orgánicos), proceso, maduración y almacenaje. Incluye tanto las instalaciones interiores como exteriores, así como el recinto, su perímetro, superficies y vías exteriores.
Lixiviado	Líquido que ha percolado o drenado a través de un residuo y que contiene componentes solubles de este.
Madurez	Estado de degradación de la materia orgánica alcanzado durante el compostaje una vez terminado el proceso de reducción de patógenos, en el que el compost está libre de efectos fitotóxicos y la mayor parte del material compostable se ha descompuesto y estabilizado.
Microorganismos aerobios	Bacterias que pueden crecer y vivir cuando existe presencia de oxígeno.
Residuos orgánicos	Residuos de origen vegetal o animal, compuestos fundamentalmente de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno.
Valorización	Conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar un residuo, uno o varios de los materiales que lo componen y/o el poder calorífico de los mismos. La valorización comprende la preparación para la reutilización, el reciclaje y la valorización energética.
Volteo	Procedimiento periódico mediante el cual se homogeniza y oxigena el material que compone una pila de compost.

1. INTRODUCCIÓN Y CAMPO DE APLICACIÓN

El presente manual es un documento de apoyo para facilitar la implementación de la propuesta de Reglamento sobre Manejo Sanitario de las Instalaciones de Valorización de Residuos Orgánicos, en adelante el “Reglamento”. Su propósito principal es unificar criterios para garantizar que estas instalaciones cumplan con los estándares sanitarios y ambientales para reducir los impactos negativos asociados al manejo de residuos orgánicos.

Asimismo, busca orientar a los operadores en el cumplimiento normativo y promover prácticas sostenibles en el manejo de residuos orgánicos. Al hacerlo, se fomenta la economía circular y se contribuye al desarrollo de estrategias de gestión ambientalmente responsables.

El manual está dirigido principalmente a tres grupos de usuarios:

- **Fiscalizadores:** Personal de las Secretarías Regionales Ministeriales de Salud (SEREMI) responsable de supervisar las instalaciones de valorización de residuos orgánicos, verificando su conformidad con las normativas vigentes. En concreto, servirá para facilitar la labor de las SEREMI en la formalización y fiscalización de las instalaciones y así, fortalecer el rol que deberán desempeñar en la implementación del Reglamento.
- **Titulares de proyectos:** Personas naturales o jurídicas responsables de la gestión y operación de instalaciones de valorización de residuos orgánicos, quienes deben garantizar el cumplimiento de las normativas aplicables.
- **Público en general:** Ciudadanos interesados en conocer los estándares y regulaciones asociadas al manejo sanitario de estas instalaciones, así como los beneficios derivados de una adecuada valorización de residuos.

El marco normativo que sustenta este manual se basa en el Reglamento, el cual establece las condiciones sanitarias de diseño y operación de las instalaciones de valorización de residuos orgánicos. También se han tenido en cuenta otros marcos legales complementarios, tales como la Ley General de Urbanismo y Construcciones (LGUC), que define las relaciones y compatibilidades con los instrumentos de planificación territorial (IPT), y asegura que las instalaciones estén correctamente ubicadas. También se incluyen procedimientos para evaluar proyectos de instalaciones de valorización por su posible impacto ambiental. Todo lo anterior tiene como finalidad proporcionar una base sólida para que las instalaciones cumplan con los requisitos necesarios y se integren en el entorno de manera sostenible.

Los conceptos que se presentarán en este documento también son aplicables a las actividades que quedan excluidas de la aplicación del Reglamento, tales como:

- Compostaje domiciliario.
- Compostaje realizado en establecimientos educacionales, instituciones educativas u otras como parte de un programa de educación, reciclaje y/o de investigación.
- Compostaje que se realiza en predios agrícolas, que compostan sus propios residuos orgánicos y utilizan el compost en el mismo predio o lo eliminan de acuerdo con la normativa vigente en materia de tratamiento de residuos, siempre y cuando esta actividad no genere impactos adversos al entorno y tenga una capacidad máxima de tratamiento de hasta 30 m³.

- Las faenas in situ, que correspondan a una actividad temporal de compostaje de residuos de origen vegetal realizada por un período inferior a un año y por única vez, con al menos un 50% de residuos orgánicos producidos en el mismo lugar del compostaje, siempre y cuando no se exceda de 30 m³ de capacidad máxima de tratamiento.

Este manual aborda principalmente las instalaciones de compostaje, sin embargo, también ofrece orientaciones básicas para otros procesos, como la digestión anaerobia. Se proporcionan directrices generales para el diseño de instalaciones tipo, en las que se define la infraestructura mínima requerida para su adecuado funcionamiento.

El manual está enfocado a identificar los potenciales impactos que podría ocasionar un mal manejo de estas instalaciones y, por lo tanto, aborda los parámetros y condiciones óptimas de operación en las que deben funcionar los distintos tipos de instalaciones de valorización de residuos orgánicos para reducir al máximo su efecto negativo en el entorno, específicamente en lo que respecta a su impacto odorífico, ruido y atracción de vectores, entre otros.

Uso y estructura del presente manual

- En el capítulo 2, se presenta una clasificación de instalaciones de compostaje en función de los residuos orgánicos y materias primas utilizados, el tamaño de la planta y la tecnología empleada. Además, se profundiza en las tecnologías de compostaje más comunes y los requisitos de infraestructura y algunos aspectos constructivos.
- En el capítulo 3, se detallan los parámetros de operación y control.
- En el capítulo 4, se abordan los aspectos generales asociados a la localización.
- En el capítulo 5, se desarrolla de manera general los aspectos del tratamiento mecánico-biológico.
- En el capítulo 6, se presentan las condiciones generales de funcionamiento de las plantas de digestión anaerobia.
- En el capítulo 7, se sintetiza la identificación y prevención de eventuales impactos ambientales de las plantas de compostaje.
- En el capítulo 8, se detallan los requisitos de calidad y seguridad del compost. Además, se indican directrices para su adecuado uso, tanto para uso domiciliario como para uso más generalizado en agricultura o paisajismo.
- En una serie de anexos se profundizan requisitos específicos para el análisis de impactos ambientales y la localización de instalaciones de mayor envergadura para la valorización de residuos orgánicos.

2. CLASIFICACIÓN E INFRAESTRUCTURA DE PLANTAS DE COMPOSTAJE

En Chile, las plantas de compostaje se clasifican de acuerdo con tres criterios:

- la categoría de residuos orgánicos (materia prima) procesados
- la capacidad de recepción de la instalación
- el método utilizado para la transformación de los residuos

2.1 MATERIA PRIMA

Los residuos orgánicos utilizados en instalaciones de valorización son residuos de origen vegetal o animal. En términos generales, para la producción de compost, los residuos se pueden clasificar y considerar como materia prima principalmente según su procedencia: residuos procedentes de hogares y establecimientos comerciales, residuos de origen vegetal, residuos de procesos agroindustriales, residuos de la silvicultura, agropecuarios y acuícolas, y lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas.

Otra clasificación posible es según sus características químicas, ya que los residuos orgánicos se componen principalmente de carbono, nitrógeno, hidrógeno y oxígeno. Para el proceso de compostaje es especialmente relevante la adecuada relación entre carbono y nitrógeno (C:N). En el Anexo B se presentan ejemplos de relación C:N para diferentes sustratos.

Por otro lado, según el Reglamento, los residuos orgánicos destinados al compostaje se clasifican de la siguiente manera:

TABLA 1: Clasificación de residuos orgánicos

Clase	Residuos orgánicos
Clase 1	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos de jardín y paisajismo, tales como pasto, hojas, plantas, podas, ramas, troncos y tocones de árboles chipiados. • Madera sin tratar, tales como aserrín, virutas, recortes de madera, cajones, pallets, madera y embalaje. • Fibras orgánicas naturales, tales como turba, cascarilla de semillas, paja y otras similares.
Clase 2	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos vegetales de ferias y mercados, tales como hortalizas, frutas y semillas. • Cartón y papel de desecho de actividades de ferias y mercados. • Residuos de procesos agroindustriales, tales como residuos de viñas, cervecerías y destilería, residuos del procesamiento de alimentos.
Clase 3	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos orgánicos sólidos domiciliarios separados en origen, tales como restos de hortalizas o frutas, papel, cartón, entre otros. • Fibras orgánicas procesadas, tales como papel, cartón, cartulina, lodos de procesamiento de papel y textiles no sintéticos.
Clase 4	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos del procesamiento de grasas o alimentos. • Lodos grasos y aceitosos, lodos de trampas de grasa deshidratada, lodos grasos y aceitosos de origen animales y vegetal. • Residuo mixto que contienen orgánicos putrescible, residuos que contienen sustancias orgánicas putrescibles, incluidos los residuos domésticos que se recolectan en las calles o son entregados directamente a una instalación de procesamiento; y residuos del comercio y la industria. • Lodos, estiércol animal y mezclas de estiércol y orgánicos biodegradables de camas de animales.

Cabe señalar que las características específicas de las materias primas que se van a procesar en el tratamiento se definen principalmente por el diseño operativo de cada planta, por lo que no existen definiciones estándar para ello.

Por otra parte, no podrán tratarse en las instalaciones de valorización de residuos orgánicos, residuos hospitalarios infecciosos, antibióticos, animales o partes de ellos muertos por zoonosis o alguna enfermedad de alto riesgo o con sospecha de muerte por enfermedad de alto riesgo, residuos peligrosos, de acuerdo con lo establecido en el D.S. N°148, de 2003, del Ministerio de Salud, Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos, productos corrosivos o cualquier otro residuo que establezca la Autoridad Sanitaria.

Los animales o partes de ellos eliminados por motivos distintos a una enfermedad de alto riesgo, definida así por la Autoridad Sanitaria o Agrícola, podrán ser procesados en instalaciones de compostaje, siempre y cuando quede expresamente establecido en la resolución sanitaria que autorice la instalación, el tipo de residuo a procesar, su procedencia y los controles específicos que se deban realizar en cada caso. Para cualquier efecto, los animales muertos o partes de ellos serán asimilados a la clase 4, indicada en el Reglamento.

La eliminación de animales muertos, o partes de ellos, con sospecha de muerte por alguna enfermedad de alto riesgo, deberán ser eliminados de acuerdo con las directrices que establezca el Ministerio de Salud (MINSAL) o el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), según corresponda.

En relación con la recepción de la materia prima se debe enfatizar que toda instalación de valorización deberá tener la capacidad de recepción y producción necesaria para que los procesos se mantengan dinámicos y cumplan con los ciclos de producción, a fin de que aquellas no se conviertan en depósitos de materia orgánica sin el adecuado procesamiento.

Durante el proceso de inspección de los residuos que ingresan a la instalación, los residuos que sean descartados (por no ser aptos para el compostaje autorizado) deberán ser removidos y almacenados en recipientes adecuados y reciclarse o disponerse en una instalación autorizada, en cumplimiento con la normativa vigente.

2.2 CATEGORÍAS DE INSTALACIONES DE VALORIZACIÓN SEGÚN SU CAPACIDAD

De manera de facilitar el análisis de estas instalaciones, se consideran cuatro tipos de instalaciones de valorización, las que se diferencian por la cantidad de materiales a recibir, como se describe a continuación:

TABLA 2: Categorías de instalaciones según la recepción de residuos orgánicos

Categoría	Categoría A	Categoría B	Categoría C	Instalación barrial
Recepción de residuos orgánicos	Mayor de 100 ton/d	Entre 30 y 100 ton/d	Menor a 30 ton/d	Capacidad máxima 5 m ³ total
Tecnología utilizada	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Compostaje en pilas con volteo o estáticas ▸ Compostaje en túneles ▸ Tratamiento mecánico-biológico ▸ Plantas de digestión anaerobia 			<ul style="list-style-type: none"> ▸ Compostaje en pila estática ▸ Compostaje en pilas con volteo ▸ Vermicompostaje ▸ Composteras giratorias ▸ Takakura¹ o Bokashi²

1. Es un método de compostaje japonés que consiste en inocular residuos orgánicos con microorganismos fermentativos en un recipiente poroso. Se obtiene compost en aproximadamente cinco semanas (este proceso no se encuentra descrito en el presente manual).

2. Es un método japonés de degradación anaerobia de residuos orgánicos en el que se inoculan microorganismos que crecen en ausencia de oxígeno. Se obtiene precompost en aproximadamente dos semanas (este proceso no se encuentra descrito en este manual).

En el caso de las instalaciones de categorías A, B o C, la capacidad de recepción se refiere al promedio mensual, considerando el mes de mayor recepción en un año calendario. En el caso de las instalaciones barriales o las faenas in situ, la capacidad máxima se refiere al volumen máximo de residuos que pueden acumularse en un momento determinado al interior de la instalación.

Una instalación barrial usa la técnica del compostaje para que los residuos orgánicos generados por varias personas o familias sean tratados conjuntamente en una unidad de compostaje dentro de una zona común dispuesta para tal efecto. Además, sólo podrán recibir residuos orgánicos generados en domicilios, jardines, plazas y otras fuentes comunitarias similares.

Las instalaciones de valorización categoría A y B por lo general deben ser evaluadas dentro del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), por cuanto consisten en instalaciones de tratamiento de residuos orgánicos de origen industrial con una capacidad mayor a treinta toneladas día, reuniendo por tanto los requisitos de la tipología del literal o.8) del artículo 3° del D.S. N° 40, de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente, Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Asimismo, para instalaciones de categoría C y tratándose de residuos orgánicos de origen domiciliario, incluso deben someterse al SEIA instalaciones con menor capacidad, ya que el requisito de la tipología del literal o.5) es que se traten residuos de una población igual o mayor a cinco mil habitantes.

Instalaciones que no deben someterse al SEIA, como son las plantas comunitarias o barriales, requieren de la respectiva autorización sanitaria, por tratarse de lugares de almacenamiento temporal y/o procesos de tratamiento de residuos sólidos domiciliarios y/o asimilables.

2.3 MÉTODO DE COMPOSTAJE

Según el tipo de método o tecnología empleada en la instalación, las plantas de compostaje se clasifican en:

- Planta de compostaje con volteo (mecánico o manual)
- Planta de compostaje estática con aireación forzada
- Planta de compostaje con sistema mixto (que utiliza los dos sistemas anteriores)

A su vez, estas plantas o instalaciones pueden realizar sus actividades de manera parcial o totalmente abiertas o en plantas cerradas.

El compostaje es un proceso mediante el cual se logra degradar la materia orgánica, por la acción de microorganismos. Con este método se pueden compostar volúmenes de residuos pequeños o grandes y una amplia variedad de residuos orgánicos, lo que lo hace adaptable a muchas escalas y sitios para su producción.

En términos microbiológicos y bioquímicos, en este proceso de degradación aeróbica se suelen distinguir cuatro fases cronológicas:

- **Fase I (Mesófila 1):** Esta primera fase corresponde a la degradación de carbohidratos, aminoácidos y azúcares de bajo peso molecular y que son consumidos rápidamente. La actividad microbiana eleva la temperatura desde temperatura ambiente hasta los 35 a 40°C, mientras que el pH presenta valores entre 4,5 y 5,5 debido a la producción de ácidos orgánicos. Esta fase es relativamente corta, ya que el aumento del calor da origen a la siguiente fase.
- **Fase II (Termófila):** En la fase termófila las temperaturas se elevan de manera rápida por sobre los 40°C, pudiendo alcanzar hasta 70 u 80°C, suprimiendo la acción de los microorganismos mesófilos. En esta fase tiene lugar la degradación de proteínas y carbohidratos superiores, mediante la acción de microorganismos termófilos. Esta fase de calentamiento máximo es

importante para la calidad del compost, ya que el calor mata los patógenos y semillas indeseadas, por lo cual esta fase también se denomina "higienización". A consecuencia de la descomposición de los ácidos orgánicos, proteínas y otros compuestos nitrogenados aumenta el pH en un rango alcalino con valores de entre 8 y 9. Ahora bien, temperaturas por sobre los 70°C usualmente no son deseadas, debido a que ejercen una mala influencia sobre el proceso y la calidad del producto final.

- Fase III (Mesófila 2):** Luego de la fase termófila, comienza la fase de enfriamiento en donde el carbono y el nitrógeno fácilmente degradable han sido consumidos y la temperatura baja de nuevo hasta los 40 a 45°C. Esta fase comienza usualmente después de un mes y dura el mismo tiempo. Empiezan a crecer los hongos provocando una fase importante en la descomposición de los materiales de la pared celular de las plantas, como la celulosa y la hemicelulosa.
- Fase IV (Maduración):** Finalmente, la temperatura desciende hasta alcanzar la temperatura ambiente, la pila se vuelve más uniforme y menos activa biológicamente, aunque los organismos mesófilos recolonizan el compost. El material adquiere un color marrón oscuro o negro. Las partículas se reducen de tamaño y adquieren una textura consistente y similar a la del suelo. En el compost maduro y estabilizado, el pH presenta valores neutros entre 7 y 8.



FIGURA 1: Fases térmicas del compostaje

Los procedimientos de compostaje a seleccionar dependerán principalmente de la composición de los residuos, requiriendo de diferentes operaciones unitarias para asegurar un correcto funcionamiento de la planta de valorización. De acuerdo con la clase de residuo y su composición, existen principalmente dos tipos de valorización: valorización energética y valorización material. En este manual se describe con detalle la valorización material de residuos, específicamente los orgánicos, que pueden tratarse mediante procesos de compostaje, tratamiento mecánico-biológico o digestión anaerobia.

A continuación, se describen las características generales de cada uno de los métodos de compostaje.

2.3.1 PILA ESTÁTICA

El compostaje en pilas estáticas es la forma más simple de valorización de residuos orgánicos e implica su descomposición en montones o pilas que no se voltean con regularidad. Por lo tanto, este método se basa en la aireación natural por convección, por lo que solo es adecuado para instalaciones de compostaje de pequeña escala. Se recomienda esta tecnología para instalaciones con una capacidad de procesamiento de hasta 500 toneladas al año (Reciclo Orgánicos, 2021).

La falta o poca frecuencia de volteos puede limitar la aireación, lo que puede provocar la aparición de malos olores. Por este motivo, se sugiere privilegiar los materiales ricos en carbono y pobres en nitrógeno, ya que no es posible gestionar adecuadamente la aireación y los olores. Además, los materiales carbonosos ayudan a mantener la estructura de la pila y su porosidad.

Usualmente se trata de pilas bajas (menos de un metro), donde la pérdida de calor puede ocurrir demasiado rápido provocando deficiencias en el proceso de descomposición. Esta última condición es importante evaluarla en procesos de compostaje comunitario, ya que muchas veces estos pueden realizarse en pilas de estas dimensiones (alrededor de 0,5 a 1 m).

Este proceso de compostaje es más lento que otras tecnologías más mecanizadas y puede durar entre 12 y 18 meses.



FOTOGRAFÍA 1: Compostaje comunitario a pequeña escala en el sur de Chile, año 2001

2.3.2 PILAS CONTINUAS CON VOLTEO

El sistema de compostaje en pilas con volteo, ya sea manual o mecánico, es tal vez el método más conocido para hacer compost, ya que es el que se ha llevado a cabo desde hace décadas. Con este método se pueden compostar volúmenes pequeños o grandes de residuos (plantas barriales o industriales) y una amplia variedad de tipos de estos (residuos provenientes de industrias, ferias libres y residuos orgánicos de los hogares), lo que lo hace adaptable a muchas escalas y sitios para su producción.

Este método es sencillo y consiste principalmente en apilar los residuos orgánicos en pilas, dispuestas comúnmente en paralelo para optimizar la gestión operativa (incluso se pueden separar según la etapa del proceso). Las dimensiones de estas suelen variar entre uno y cuatro metros de alto y entre tres y ocho de ancho. El ancho de las pilas debe ser aproximadamente el doble de su altura, sin importar su longitud, ya que depende del área disponible. La altura depende de si la pila es volteada por un cargador frontal o un volteador de pilas.

Cabe señalar que, en este sistema, el parámetro de diseño más crítico es la altura de la pila, y no su longitud, dado que, si esta es muy alta (superior a tres metros), el material puede comprimirse por su propio peso y formarse zonas anaerobias.

El mantenimiento de la pila consiste en voltear el material con cargadores frontales o máquinas volteadoras especialmente diseñadas para el proceso de compostaje, según el tipo de planta.



FOTOGRAFÍA 2 y 3: Volteadora pequeña (izquierda) y Volteadora autopropulsada (derecha)

La frecuencia de los volteos depende principalmente del tipo de material y, por ende, de la humedad, lo que afecta al período de tiempo necesario para obtener un compost de buena calidad. Si el intervalo entre volteos es muy grande (se sugiere que los volteos se realicen un mínimo de cinco veces cada 15 días, es decir, entre tres y cuatro días), el intercambio gaseoso (oxígeno disponible para llevar a cabo la degradación) puede hacer que el proceso de compostaje sea más lento. En los primeros sistemas de compostaje, las pilas se volteaban cuatro o cinco veces en procesos que podían durar seis meses; en la actualidad, el volteo se realiza con mayor frecuencia,

según el tipo de residuo utilizado y la zona geográfica donde se encuentre ubicada la instalación. La temperatura es un factor decisivo a la hora de realizar el volteo.

Este sistema de pilas dinámicas o con volteo es uno de los primeros en los que se reconoce la necesidad de mantener un grado de humedad adecuado (entre 30 a 60%, medida por higrómetro) para mejorar la velocidad de reacción en el caso de materiales secos, como los residuos provenientes de podas.

2.3.3 PILA ESTÁTICA CON AIREACIÓN FORZADA

En este sistema de compostaje no se voltean las pilas, de ahí el nombre de 'pilas estáticas'. El aire necesario para el proceso se puede suministrar mediante aireación forzada o método de Beltsville, que consiste en introducir aire a presión, o bien mediante aireación inducida o método de Rutgers, que consiste en succionar o aspirar aire.

La principal ventaja de estos sistemas radica en su capacidad para controlar y mantener la concentración de oxígeno dentro de un intervalo óptimo, lo que favorece la actividad metabólica de los microorganismos aerobios responsables del proceso. Además, la oxigenación puede realizarse de tres formas: de manera continua, mediante intervalos programados o asociada a un termostato. Este último mecanismo se activa automáticamente al detectar un aumento de temperatura, inyectando aire hasta que se alcanza el rango térmico deseado.

Por ello, la temperatura no solo actúa como un parámetro crítico de control, sino también como un indicador indirecto de la actividad microbiana, lo que la convierte en una variable clave para optimizar la eficiencia del compostaje.

Una de las ventajas del proceso de pilas estáticas con succión es que el aire que sale de la pila puede ser recogido y desodorizado antes de su descarga a la atmósfera. Generalmente, este proceso se lleva a cabo pasando el gas a través de una pila de compost tamizado (utilizada como biofiltro) o mediante técnicas de desodorización más avanzadas.

Por otra parte, en el compostaje con aireación inducida, también se puede colocar una trampa de agua en la tubería por la que se extraen los gases para recoger el condensado que se forma cuando se enfría el gas de salida, que está caliente y húmedo.



FOTOGRAFÍA 4 y 5: Pilas estáticas con aireación forzada

2.3.4 PILA ESTÁTICA AIREADA CON CUBIERTA SEMIPERMEABLE

En algunos casos, las pilas de compostaje estáticas se tapan con una cubierta semipermeable y transpirable. Aunque implica un mayor costo de inversión y de operación, la membrana ayuda a controlar los niveles de humedad en el interior de la pila y la protege durante los periodos de lluvia. También supone una barrera adicional para vectores. Los proveedores también indican que se controla mejor la emisión de olores y consideran que es especialmente adecuado para compostar materiales ricos en nitrógeno.

Este tipo de sistema suele incluir sondas que monitorizan continuamente la temperatura y el contenido de oxígeno de la masa de compostaje, y además proporcionan aireación en puntos clave para optimizar el proceso.

La aireación suele realizarse mediante falsos fondos³, lo que permite mover y trasladar materiales de compostaje durante el proceso con cargadores frontales.

Esta tecnología es bastante flexible y puede emplearse en plantas con capacidades de entre 2.000 y 100.000 toneladas anuales. Por lo general, el producto terminado se obtiene en un plazo máximo de seis meses (Reciclo Orgánicos, 2021).



FOTOGRAFÍA 6 y 7: Pilas estáticas con aireación forzada y cubierta semipermeable

2.3.5 PLANTA DE COMPOSTAJE CON SISTEMA MIXTO

Algunos diseños recientes de pilas estáticas aireadas han tenido que introducir métodos de volteo o mezcla de residuos dentro de la pila para romper posibles agregados y volver a formarlas, con el fin de optimizar y mejorar el proceso. Si se utiliza este método de compostaje, el sistema se clasifica como semiagitado o sistema mixto, ya que la agitación o aireación es considerablemente menor que la habitual en un sistema de pilas dinámicas.

³. Estructura que se coloca sobre el suelo creando un espacio vacío entre el original y el nuevo piso.

2.3.6 COMPOSTAJE DE TRINCHERAS EN NAVE CERRADA

Las trincheras compostan los materiales orgánicos en camas situadas entre canales largos con paredes de hormigón. Una máquina volteadora se desplaza sobre las camas, agitando y moviendo los materiales hacia adelante. La parte superior del canal está abierta para que la máquina pueda desplazarse. La mayoría de los sistemas funcionan con aireación forzada positiva a través de fondos falsos.

Todas las trincheras agitadas funcionan de manera similar. En la parte frontal del canal se mezclan y cargan las materias primas. Con cada paso de la máquina volteadora, el material se desplaza una distancia establecida hacia la parte posterior del canal hasta que finalmente se descarga en forma de compost que cumple los requisitos de calidad previamente establecidos.

Las dimensiones de las trincheras individuales varían entre los sistemas comerciales, con profundidades que van desde 1 hasta 2,5 m y anchos de entre 2 y 4 m. Las longitudes de los canales suelen oscilar entre 60 y 90 m. La mayoría de las aplicaciones utilizan múltiples canales y una sola máquina volteadora.

Estos sistemas de compostaje mecánicos son automatizados y emplean sensores para controlar el proceso. Por lo general, también incluyen sistemas de tratamiento de los gases captados en las naves para eliminar los olores. El material se composte de manera intensiva en un periodo de entre diez y 30 días. Posteriormente, el compost también requiere otra etapa de maduración de entre tres y seis meses. Este tipo de compostaje es adecuado para una amplia gama de materiales orgánicos, especialmente para aquellos con alto potencial odorífico, es decir, con alto contenido de nitrógeno, como residuos de alimentos y lodos. Esta tecnología es bastante flexible, con capacidades de entre 10.000 y 100.000 toneladas anuales. (Reciclo Orgánicos, 2021)



FOTOGRAFÍA 8: Compostaje de trincheras en nave cerrada

2.3.7 COMPOSTAJE EN CONTENEDORES O TÚNELES

El desarrollo de esta tecnología de compostaje pertenece al grupo conocido como sistemas cerrados o en reactores. Los sistemas cerrados incluyen tecnologías que están completamente aisladas como son los túneles, tambores rotatorios, torres, entre otros. Las técnicas utilizadas para controlar el suministro de oxígeno requerido por el proceso son la agitación mecánica (volteo) y/o aireación ya sea forzada o de succión, lo cual ofrece niveles de control y automatización elevados.

El uso de este proceso es especialmente ventajoso en la primera fase de descomposición del proceso de fermentación, en la que se generan muchos olores, dado que el aire de salida puede purificarse mediante lavadores, biofiltros u otras tecnologías.

Los túneles pueden utilizarse como una solución que ahorra espacio y es flexible tanto en términos de construcción como en el tamaño de la instalación. Gracias a su diseño modular, también puede utilizarse para plantas que reciben grandes cantidades de residuos orgánicos. Aunque requieren una mayor inversión inicial, el compostaje en túnel puede ser rentable incluso con pequeñas cantidades de materia prima. El mayor control sobre los parámetros del proceso permite obtener un producto de alta calidad en menos tiempo y garantizar una higienización completa de los residuos.

Las unidades de compostaje en túnel son contenedores rectangulares de gran tamaño que emplean sistemas de aireación forzada y pueden construirse como estructuras permanentes de hormigón y/o acero, así como también estructuras más temporales utilizando paredes móviles (material de hormigón o similar), container, telas especiales estiradas sobre marcos de acero, entre otros. Los túneles pueden tener uno o dos extremos para la carga y descarga, además de tener techos retráctiles o que se abren para facilitar la carga y/o descarga.

El sistema de compostaje en túnel puede ser en lotes o continuo. Este último utiliza sistemas mecánicos especialmente diseñados para estos fines como son: pisos móviles, ejes giratorios y cintas transportadoras facilitando el movimiento del material a través del túnel.

En el caso de la aireación, como ya se mencionó anteriormente, se logra soplando o aspirando aire a través del piso del túnel. Este se encuentra adaptado con una rejilla la que favorece el intercambio gaseoso a través de tuberías perforadas moldeadas en el piso o canales de aireación especiales. El oxígeno y la temperatura se controlan ajustando la cantidad de aire fresco que ingresa al túnel y la velocidad del flujo de este.

Todos los sistemas de compostaje cerrados son automatizados y emplean sensores para controlar el proceso. Por lo general, también incluyen sistemas de tratamiento de gases de escape e infraestructura para la eliminación de olores (por ejemplo, biofiltros). En los sistemas cerrados, el material se composte en una o dos etapas en un periodo de entre una y tres semanas. Posteriormente, el compost también requiere otra etapa de maduración de entre tres y seis meses.



FOTOGRAFÍA 9 y 10: Reactor giratorio a escala industrial (izquierda) y Contenedores modulares aireados (derecha)

2.4 RESUMEN DE TECNOLOGÍAS DE COMPOSTAJE

Las pilas estáticas son una de las formas más comunes de compostaje en Chile. Las pilas aireadas son una evolución de las pilas estáticas, ya que incorporan un sistema de aireación para mejorar el proceso de descomposición. Algunas plantas de compostaje del país utilizan estos sistemas de aireación forzada para optimizar el proceso y producir compost en menos tiempo. Un desarrollo más reciente es el uso de membranas para cubrir las pilas aireadas. A nivel nacional ya son varias las plantas de compostaje que han adoptado esta tecnología innovadora. Hasta la fecha, los sistemas completamente cerrados, como el compostaje en naves, solo se han llevado a cabo en plantas piloto, pero no a escala industrial.

La siguiente tabla presenta un resumen de las ventajas y desventajas de los distintos métodos de compostaje. En esencia, las tecnologías que controlan mejor los parámetros operacionales y, sobre todo, la cantidad de aireación del proceso de compostaje hacen que el compost se produzca más rápidamente y que la instalación requiera menos espacio. A menudo, estos sistemas tienen un costo de inversión y operación considerablemente más alto y pueden resultar poco convenientes para instalaciones pequeñas.

TABLA 3: Ventajas y desventajas de diferentes tecnologías de compostaje
(elaboración basada en Reciclo Orgánicos, 2021)

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Pilas estáticas	<ul style="list-style-type: none"> Fácil manejo para residuos propios a escala agrícola y barrial. Bajo requerimiento de mano de obra. 	<ul style="list-style-type: none"> Está limitado para capacidades bajas (menor a 500 toneladas anuales). No hay control sobre posibles problemas en el proceso y externalidades ambientales. Proceso lento (12 a 18 meses). Ocupación de espacio: 3 a 10 m²/ton.
Pilas continuas con volteo	<ul style="list-style-type: none"> Uso flexible del espacio. Produce compost uniforme. 	<ul style="list-style-type: none"> Requiere un espacio más amplio. Menos control sobre externalidades ambientales negativas (olores). Proceso lento (6 a 12 meses). Ocupación de espacio: >1,5 m²/ton.
Pilas aireadas	<ul style="list-style-type: none"> Eficiente para uso agrícola y municipal. Requiere menos espacio que la pila continua con volteo. Tecnología de complejidad media. Bajo requerimiento de mano de obra. Mayor control sobre externalidades ambientales negativas. 	<ul style="list-style-type: none"> Alta inversión inicial. Proceso lento (6 a 12 meses). Ocupación de espacio: >1,2 m²/ton.
Pilas aireadas con cubierta semipermeable	<ul style="list-style-type: none"> Diseño simple y modular. No requiere un edificio. Produce compost uniforme. Buen control sobre olores, plagas, etc. Proceso relativamente rápido (menor a seis meses). 	<ul style="list-style-type: none"> Costo medio-alto. Ocupación de espacio: >1,2 m²/ton.

Sistema de trincheras en naves cerradas	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Equipo automatizado. ▸ Mayor control sobre posibles externalidades ambientales negativas. ▸ Uso eficiente del espacio. ▸ Proceso relativamente rápido (menor a seis meses). 	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Alta inversión inicial y de operación. ▸ Tecnología avanzada y con mayor complejidad. ▸ Ocupación de espacio: >0,3 m²/ton.
Compostaje en túneles o contenedores aireados	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Equipo automatizado. ▸ Mayor control sobre posibles externalidades ambientales negativas. ▸ Uso eficiente del espacio. ▸ Proceso relativamente rápido (menor a seis meses). 	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Mayor costo de capital y de operación que otro tipo de plantas ▸ Tecnología avanzada y con mayor complejidad. ▸ Ocupación de espacio: >0,3 m²/ton.

2.5 REQUISITOS CONSTRUCTIVOS Y DE DISEÑO

Uno de los principales requisitos al diseñar una planta de valorización de residuos, específicamente una planta de compostaje es proteger la salud de las personas y preservar el medio ambiente y, en especial, su entorno.

A la hora de evaluar el emplazamiento, es importante considerar las vías de acceso (impacto del tráfico), la proximidad a receptores sensibles y la cercanía a las redes de suministro de servicios básicos como agua, electricidad y alcantarillado.

De acuerdo con la descripción de los tipos de plantas que se presentan en este manual, a continuación, se describen las partes y obras básicas de las instalaciones de valorización de residuos, diferenciando las industriales de las barriales.

2.5.1 INSTALACIÓN BARRIAL

Las instalaciones barriales solo podrán recibir residuos orgánicos generados en domicilios, jardines, plazas y otras fuentes similares, en una cantidad máxima de procesamiento de 5 m³. Por lo tanto, tal y como se ha señalado anteriormente, la cantidad máxima de residuos que pueden acumularse en un momento determinado en el interior de la instalación no puede superar esta cantidad.

La instalación deberá recibir el mantenimiento adecuado, estar limpia y en buenas condiciones sanitarias permanentemente. Deberá tener un cerco que impida la entrada de personas ajenas al recinto o de animales u otro sistema que impida el acceso directo a los residuos que están en proceso de compostaje.

La distancia desde las áreas hasta el nivel freático más alto no deberá ser inferior a 1,5 metros.

Se deben considerar los siguientes requisitos a la infraestructura necesaria:

- Suelo compactado o pavimento
- Cerco perimetral
- Módulos de compostaje (contenedores o pilas)
- Espacio disponible para posibles ampliaciones
- Cajón de acumulación de material estructurante
- Fuente de agua

A continuación, se describen, a modo de ejemplo, las características para las instalaciones comunitarias o barriales:

TABLA 4: Especificaciones técnicas generales para una planta barrial de compostaje

Elemento	Diseño y especificaciones técnicas tipo
Acceso a instalaciones	<ul style="list-style-type: none"> Acceso: compactado o pavimentado. Ancho mínimo: 3 m para vehículos pequeños. Puerta: metálica o de madera, con cierre seguro.
Caminos de circulación interior	<ul style="list-style-type: none"> Senderos: compactados o pavimentados según necesidades. Ancho ideal: 1,5 m para paso de carretillas o vehículos eléctricos pequeños.
Área de residuos de rechazos	<ul style="list-style-type: none"> Contenedores: cerrados para materiales no compostables. Capacidad: 2% de la capacidad. Retiro: cada 48 horas.
Áreas para la recepción, para el proceso activo y para la maduración	<ul style="list-style-type: none"> Coefficiente de conductividad hidráulica: no superior a 10-5 cm/s. Superficie: impermeable (arcilla, concreto, geomembrana o de otro material que garantice condiciones iguales o superiores de impermeabilidad). Dimensiones: ajustadas aproximadas al volumen tratado: aproximadamente 5 m² por cada 1 m³ de residuos.
Cerco perimetral	<ul style="list-style-type: none"> Idealmente: Malla ciclónica o madera tratada, de 1,5 a 1,8 m de altura.



FOTOGRAFÍA 11: Ejemplo de una instalación barrial

Las distintas áreas del proceso deben estar claramente definidas y especificada su capacidad máxima, en consideración a los permisos asociados para su construcción y operación.

El personal sugerido para el funcionamiento de una instalación barrial debiese ser: controlador de ingreso, quien debe contar con las capacitaciones pertinentes que le permitan identificar el tipo de residuo que llegue y generar los registros de entrada, y operarios; pudiendo ser la misma persona responsable del ingreso, la que debe ser capacitada para la gestión interna de los residuos de la planta barrial.

2.5.2 INSTALACIÓN DE TAMAÑO INDUSTRIAL

En términos generales, las principales obras para las instalaciones de las categorías A, B y C son:

- Acceso a instalaciones y caminos de circulación interior
- Recepción de materias primas, sector de estacionamiento y/o maniobras
- Área de almacenamiento de residuos rechazados
- Proceso de compostaje y maduración (según tipo de tratamiento)
- Sistema de manejo de aguas de escorrentía y lixiviados
- Post-procesamiento
- Cerco perimetral



FIGURA 2: Componentes de una planta de compostaje

Las distintas áreas del proceso, deben estar claramente definidas y especificada su capacidad máxima. En el Anexo F se presenta un ejemplo simple de dimensionamiento de una pequeña planta de compostaje municipal.

El personal sugerido para el funcionamiento de una instalación industrial debiese ser: controlador de ingreso, quien debe contar con las capacitaciones pertinentes que le permitan identificar el tipo de residuo que llegue y generar los registros de entrada; operarios; responsable de la planta, con conocimientos asociados a la producción de compost.

2.5.2.1 ACCESO A LAS INSTALACIONES Y CAMINOS DE CIRCULACIÓN INTERIOR

Toda instalación de valorización debe contar con un acceso controlado diferenciado para peatones y camiones. En el acceso de camiones y vehículos que contengan residuos para valorizar, estos deberán circular por el sector donde se encuentre el sistema de pesaje para registrar el tonelaje y el tipo de residuo que ingresa a la planta. De esta forma, se podrá distribuir de manera ordenada los tipos de residuos y las zonas donde realizar la descarga, según lo detallado y autorizado en el proyecto específico.

Las instalaciones de valorización deben contar con una vía de fácil acceso desde caminos públicos para favorecer el libre tránsito de la materia prima y la salida del producto. Además, es de suma importancia permitir el libre paso de agentes encargados de posibles emergencias (bomberos, carabineros, ambulancias, etc.). El camino de acceso a la instalación, así como los caminos internos de circulación deberán cumplir con los estándares descritos en la normativa específica, no obstante, se sugiere que estos cuenten con un ancho mínimo de cuatro metros y un radio de giro de al menos diez metros.

Los caminos internos deberán ser diseñados de acuerdo con el flujo y peso de vehículos y maquinarias que se utilizarán para la operación de la instalación. Además, deben contar con la señalización necesaria para evitar accidentes y guiar a la maquinaria y tractores en el interior de la planta. Se sugiere que los caminos, si fuesen de tierra, a lo menos cuenten con una compactación con un CBR de 90%, no obstante, en algunos casos estos podrían contar con diferentes capas de materiales, así como de diferentes espesores según diseño de ingeniería. La materialidad podrá variar desde caminos de tierra o grava a asfaltados o pavimentados. Los vehículos que podrán transitar por estos caminos serán aquellos que cuenten con resolución sanitaria para el traslado de residuos no peligrosos y aquellos que se necesiten por razones operacionales.

El camino de acceso a la instalación, así como los caminos internos de circulación, deberán mantenerse transitables en toda época del año.

2.5.2.2 RECEPCIÓN DE MATERIAS PRIMAS, SECTOR DE ESTACIONAMIENTO Y/O MANIOBRAS

Toda instalación de compostaje deberá contar con un sistema de registro e inspección de residuos que ingresan a la instalación, indicando el tipo de residuos y su cantidad en peso, de forma de asegurar que sólo se traten residuos contemplados en el respectivo proyecto y no residuos para los que no se cuenta con autorización.

En aquellos casos en que el ingreso de residuos a la instalación sea superior a 6 ton/d, deberá contar con pesaje en la misma instalación. Se puede considerar exenta de esta obligación cuando se demuestre que se puede llevar a cabo esta operación en básculas externas sin causar molestias a los vecinos o dificultar el tráfico vehicular. En todos los casos, la báscula de pesaje deberá tener una precisión no inferior a 50 kg.

Debido a que se trabaja con gran cantidad de vehículos (de alto tonelaje y livianos) los cuales muchas veces se encuentran con carga, se establece un espacio de estacionamiento y maniobras donde se permite revisar la carga, así como tomar muestras visuales de lo ingresado a la planta.

Se recomienda realizar muestreos al azar para verificar que corresponde a materiales orgánicos y no contiene residuos inorgánicos que puedan afectar el proceso. Todo lo anterior debe quedar registrado en hoja de ruta o guía de despacho de cada material ingresado a la planta.

El área de control de recepción de materia prima debe permitir flujos ordenados de entrada, salida y acumulación temporal, a fin de que la descarga no obstaculice el tránsito de los vehículos y maquinarias.

2.5.2.3 PREPARACIÓN DE MATERIAS PRIMAS

Una vez ingresados los residuos en la planta, estos deben prepararse en función de los requerimientos operativos de cada planta, así como de su diseño.

Trituración

Respecto al tamaño de los residuos, se sugiere que este se encuentre entre uno y cinco centímetros, siendo el extremo inferior de esta escala adecuado para sistemas de aireación forzada o sistemas de mezcla continua, y el extremo superior para el sistema de hileras u otros de aireación pasiva (Cornell University, 1996). Para lograr estos tamaños, en esta unidad operacional se realiza la separación de los diferentes tamaños de residuos mediante medios mecánicos, como trómel, cribas, etc., y posteriormente los materiales de mayor tamaño se trituran para obtener el tamaño ideal.



FOTOGRAFÍA 12: Equipo triturador

Elaboración de la receta

Antes de despachar los residuos a cada sector de la planta, se verifica la composición de ellos según composición (verdes/ricos en nitrógeno o café/rico en carbono) y de esa manera ir mezclando las diferentes materias para obtener la relación óptima C:N y así facilitar y optimizar el proceso de compostaje. Más adelante se describe en detalle cómo se puede obtener la mezcla óptima de nutrientes en función de los residuos compostados. No obstante, un ejemplo de cómo se estructura una pila según los componentes es el siguiente: en la base de la pila, se introducen materiales ricos en nitrógeno (por ejemplo, una mezcla de restos de alimentos o pasto recién cortado). A

continuación, se agrega una capa de material rico en carbono (por ejemplo, restos de poda, hojas secas o virutas de madera). Se van alternando así las capas de materiales ricos en nitrógeno y carbono hasta formar una pila.

Los residuos orgánicos con exceso de humedad, como restos de fruta y verduras, deben mezclarse con material seco para que absorba el líquido en exceso y las hileras o pilas no liberen estos fluidos. Los agentes estructurantes se utilizan para aumentar la porosidad de una pila de compost y están compuestos principalmente por materiales ricos en carbono y de difícil degradación, como la madera o los recortes de árboles. Estos materiales suelen separarse en el proceso de cribado final del compost y se reutilizan.

Los fluidos que no hayan sido absorbidos deben manejarse como lixiviados y desviarse a un sistema de retención para reincorporarlos al proceso o tratarse para cumplir con los requisitos de la norma de emisión aplicable a una eventual descarga.

Para la mezcla de los materiales se suelen utilizar cargadores frontales.

Tiempos de permanencia

Los residuos orgánicos clase 2, 3 y 4 deben ser procesados en un plazo de tiempo que evite olores molestos, liberación de líquidos, incendios y/o la presencia de vectores. Aquellos residuos putrescibles deben ser incorporados al proceso de compostaje dentro de las 24 horas luego de ser recolectados o bien ser dispuestos en contenedores cerrados.

Antes de compostar animales muertos, es fundamental asegurar que el fallecimiento no se deba a zoonosis, enfermedades de alto riesgo o sospechas de estas. Para el compostaje de cadáveres completos, se recomienda:

- Animales pequeños (aves de corral, cerdos jóvenes, etc.): Incorporarlos en grupos, intercalados con capas de material rico en carbono como paja, virutas de madera o aserrín.
- Animales grandes (equinos, bovinos, etc.): Disponerlos de forma individual, rodeados de una matriz de carbono que garantice una relación C:N equilibrada.

En todos los casos, los cuerpos deben procesarse preferentemente en estado fresco o "tibios" (recién fallecidos) para evitar putrefacción y facilitar la actividad microbiana aerobia.

2.5.2.4 ÁREA DE ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS RECHAZADOS

En cuanto a la generación de residuos de descarte, estos corresponden principalmente a los sólidos de rechazo que provienen de los materiales compostables, tales como plásticos, botellas y envases, entre otros. Su cantidad varía considerablemente y depende de la procedencia de los residuos orgánicos. Aunque las cantidades de residuos de rechazo sean las mínimas, no se desean en el producto final. Se sugiere habilitar un espacio para almacenar estos tipos de materiales (con una superficie para acopiar aproximadamente hasta el 10% del total de los residuos procesados), que deben almacenarse en recipientes adecuados, tales como contenedores cerrados, y dispuestos en un lugar autorizado, ya sea dentro de la instalación o retirado por un tercero, en el menor tiempo posible, idealmente en un plazo de dos a tres días. Todo lo anterior en cumplimiento con la normativa vigente.

Cuando el material descartado corresponda a residuos peligrosos, deberá manejarse en forma separada y tratarse o eliminarse, de acuerdo con lo establecido en el D.S. N°148, de 2003, del Ministerio de Salud, Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos.

2.5.2.5 PROCESO DE COMPOSTAJE Y MADURACIÓN

La superficie del terreno destinada al proceso activo y de maduración, así como la maquinaria, deben estar calculadas en función de la categoría de la planta de compostaje y el número de días necesarios para concluir su proceso de degradación hasta su maduración final o estabilización.

El área destinada como plataforma de compostaje para el proceso activo y de maduración de la fracción orgánica, debe construirse de materiales impermeables con un coeficiente de conductividad hidráulica no superior a 1×10^{-7} cm/s, que impidan el paso de escurrimientos o lixiviados al subsuelo y mantos freáticos. Esta área deberá poseer, además, una pendiente que fluctúe entre el 2% al 5%, lo cual permitirá la conducción de los lixiviados a los sistemas de captación diseñados y ejecutados.

El diseño del sector de compostaje se realiza comúnmente considerando el volumen de residuos a tratar, la duración del proceso por fase, la proporción de material estructurante, además de características del suelo y pendientes del terreno.

Lo anterior se lleva a cabo para evitar posibles impactos a los diferentes componentes ambientales, suelos y aguas, principalmente. En algunas ocasiones donde el suelo no cumple con las condiciones sugeridas o la zona se encuentra cercana a sectores con posibles escorrentías superficiales, es importante realizar algunas obras adicionales de manejo de suelos (por ejemplo: incorporación de material de impermeabilización) o labores de drenaje de desviación de estas posibles fracciones de escorrentía superficial. Por lo tanto, se sugiere analizar y evaluar la necesidad de compactación, impermeabilización u otras acciones sobre el suelo y/o la construcción de zanjas de intercepción de aguas de escorrentía superficial, por parte de un profesional cualificado para su correcto diseño.

Las canchas de compostaje pueden contener el número de pilas que el diseño ingenieril lo permita, definiendo la forma de apilamiento de la pila y la tecnología a utilizar, cumpliendo con los estándares de seguridad y normativa vigente.

Para generar pilas continuas, normalmente se utiliza un cargador frontal o minicargador, con lo cual se logran formar pilas de diferentes alturas. En la siguiente figura se presentan diferentes formas de estructurar una pila, según sea el diseño y tecnología utilizada:

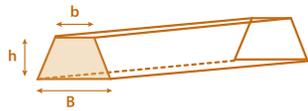
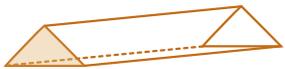
Sección	Forma del apilamiento	Superficie de la sección
Trapezoidal		$S = (B + b)/2 \cdot h$
Triangular		$S = (B \cdot h)/2$
Rectangular		$S = (B \cdot h)$
Semicircular		$S = \lambda \cdot (B/2)^2/2$

FIGURA 3: Formas de pilas de compostaje

Cabe señalar que, cuando se establece la superficie que se va a utilizar durante la etapa de compostaje, es importante considerar si la pila cuenta con protección contra la lluvia, es decir, si tiene techo o cubierta de geotextil. En este caso, los cálculos de la superficie estimada para pilas sin cubierta deben incrementarse obligatoriamente en un 15%. La razón de esta exigencia es disponer de un espacio de seguridad para evitar posibles problemas en el proceso.

Parte de la superficie estimada debe ser un sector sin uso, puesto que esta zona debe estar libre para recibir nuevo material para compostar o estará ocupada por otro material ya precompostado y pendiente de ser trasladado a la zona destinada a su maduración.



FOTOGRAFÍA 13: Formación de una nueva pila

La aireación puede realizarse mediante volteo o con aireación mecánica forzada. El volteo se puede realizar con un cargador frontal o un volteador de pilas y se realiza entre una y siete veces por semana. La aireación mecánica forzada utiliza ventiladores para soplar aire a través de un sistema de tuberías que lo dispersa por toda la pila. En las pilas estáticas aireadas suelen emplearse sensores de temperatura y/o de oxígeno para controlar el sistema de aireación.



FOTOGRAFÍA 14: Sensor de temperatura fijo

Intercepción de aguas de escorrentía superficial

En terrenos donde las canchas de compostaje puedan verse afectadas por escorrentías superficiales, se recomienda construir zanjas de intercepción para desviar las aguas lluvias antes de que ingresen a las áreas de compostaje. Estas zanjas actúan como barreras para proteger el proceso y evitar la generación innecesaria de lixiviados.

El diseño debe basarse en un análisis hidrológico del área para evitar sobredimensionamiento. Las aguas interceptadas deben ser guiadas aguas abajo aprovechando la pendiente natural del terreno.

Canaletas de recolección y conducción de lixiviados

El diseño de la cancha de compostaje suele tener una pendiente igual o superior al 2%, lo que permite recolectar todos los residuos líquidos que se pueden generar en el proceso de degradación, así como también aquellos excesos que pueden generarse por recibir importantes cantidades de lluvias en tiempos de invierno principalmente. Por lo anterior, se sugiere la construcción de canaletas de recolección y conducción de lixiviados, ya sea para su descarga a una cámara de acumulación o a piscinas de tratamiento cuando corresponda a instalaciones de mayor capacidad.

Estructuras como diques y zanjas deberán ser diseñadas y construidas de acuerdo con las necesidades y particularidades del lugar para prevenir que las aguas de escorrentía afecten al proceso de compostaje. Las canaletas pueden tener diferentes formas de sección transversal, aunque las más utilizadas son las trapezoidales.

2.5.2.6 PISCINAS O ESTANQUES DE ACUMULACIÓN DE LIXIVIADOS

Cuando, de acuerdo con el balance hídrico mensual, sea necesario implementar un sistema de gestión de lixiviados, se deberán tener en cuenta aspectos como la pendiente, la distancia y el diámetro de las tuberías de recogida y conducción de lixiviados, así como el dimensionamiento y las condiciones del sistema para su almacenamiento.

El sistema de captación y manejo de lixiviados debe contar con las líneas de conducción, bombeo, equipamiento e infraestructura necesarias y suficientes, de acuerdo con el volumen de residuos orgánicos que se tratarán al día, para evitar que los residuos líquidos escapen de control y aparezcan afloramientos en el lugar donde se ubica, sus inmediaciones o que penetren en el subsuelo.

La mantención y limpieza de las tuberías de conducción de lixiviados deberá formar parte de la operación de dicho sistema.

En caso de considerar el almacenamiento de lixiviados en lagunas, estas deberán estar diseñadas y operadas de tal manera que se minimice la generación de olores y, en el caso de ser necesario, deberán estar provistas de sistemas eficaces para controlar los olores molestos. Además, el diseño debe prever un sistema que permita cargar aljibes desde estanques o lagunas para enviar los lixiviados a un lugar autorizado en caso de extremas lluvias.

El volumen de almacenamiento de lixiviados no podrá ser superior al volumen de lixiviado que se generaría como resultado de la precipitación de un año normal sobre la superficie ocupada por el área de compostaje. Además, en las piscinas de almacenamiento de lixiviados deberá mantenerse disponible una capacidad de seguridad no inferior al 30% de su capacidad total para hacer frente a contingencias como fallos en el sistema de tratamiento de lixiviados. En caso de que se produzcan estas contingencias, se deberá dar un aviso oportuno a la respectiva SEREMI de Salud en un periodo máximo de 24 horas.

El dimensionamiento del sistema de almacenamiento de lixiviados se realizará teniendo en cuenta el balance hídrico mensual y las características de la instalación.

Recintos techados

Para recintos techados, el volumen de lixiviados generados se estima en un 5% del peso de los residuos frescos tratados, considerando que no ingresan aguas lluvias al proceso de compostaje, siendo:

$$V = Q \times f \times t / T$$

Donde:

V: Volumen de almacenamiento (m³)

Q: Capacidad de tratamiento (ton/a)

f: Factor de generación (0,05 m³/ton)

t: Tiempo de permanencia en semanas

T: 52 semanas/año

Recintos no techados

Para recintos no techados, el volumen se calcula considerando la precipitación máxima en 24 horas, con un tiempo de retorno de diez años y la superficie del área de compostaje:

$$V = (f \times A \times P) / c$$

Donde:

V: Volumen necesario de almacenamiento (en m³)

f: Factor de seguridad (1,25 si la precipitación media anual < 600 mm, 1,50 si ≥ 600 mm)

A: Área de compostaje (m²)

P: Precipitación máxima en 24 horas (mm)

c: Constante de ajuste (1.000 mm/m)

Como alternativa, también se podrá considerar la precipitación máxima en 48 horas con un tiempo de retorno de cinco años. En este caso, se sugiere un factor de seguridad f de 1,20.

En todo caso, en el balance hídrico se debe razonar la generación de lixiviados y aguas de lluvia en contacto con los residuos de un año completo, haciendo hincapié en los periodos de superávit de precipitaciones. A partir de datos de precipitación, de la capacidad de retención de las pilas de compostaje y de la (evapo-) transpiración, se debe calcular la necesidad de almacenamiento. En el Anexo F se presenta un ejemplo sencillo para este dimensionamiento.

Las lagunas deberán tener un sistema de impermeabilización, al menos, equivalente a la de una capa de arcilla de 60 cm de espesor y coeficiente de conductividad hidráulica máxima de 10⁻⁷ cm/s o una capa de suelo o de otro material que garantice condiciones iguales o superiores de impermeabilidad.

Los lixiviados generados en el proceso podrán ser tratados o recirculados en función de los requerimientos de humedad del material que se está procesando. Sin embargo, esto solo se permitirá previo a la destrucción de patógenos producto del proceso de compostaje, lo cual ocurre en la etapa termófila. Posterior a esto, está prohibido recircular los lixiviados, debido a que pueden afectar la inocuidad del compost producido. Adicionalmente, en el Anexo D se presentan indicaciones para el uso de aguas grises en los procesos de compostaje.

Cuando se considere el uso de los lixiviados para otros fines o su descarga a cursos o masas de agua, se deberá proceder al tratamiento de estos líquidos. En el caso de que se realice la descarga de estos se debe cumplir con las normas de emisión o descarga vigentes:

- Infiltración, según D.S. N°46, de 2002, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que Establece Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas.
- Descarga a aguas superficiales, según D.S. N°90, de 2000, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que Establece Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales.

En cualquier caso, se prohíbe asperjar o rociar lixiviados como forma de manejo o eliminación. Asimismo, el proyecto podrá contemplar la descarga de lixiviados a una red pública de alcantarillado (D.S. N°609, de 1998, del Ministerio de Obras Públicas), sujeta a los siguientes requisitos:

- se da cumplimiento a las normas de descarga vigentes;
- la red pública cuenta con planta de tratamiento de aguas servidas;
- exista el consentimiento expreso de la administración responsable del sistema de aguas servidas, la que en todo caso deberá explicitar las cantidades, características y condiciones en que estos lixiviados podrán ser descargados a la red;
- se ha demostrado que la descarga al sistema de alcantarillado no generará problemas sanitario-ambientales capaces de afectar a la población.

Los estanques o piscinas de acumulación deben tener capacidad para almacenar el lixiviado generado por la masa de residuo, esto se genera principalmente durante las primeras etapas de tratamiento y se estima que será aproximadamente el 5% de la masa de residuos.

2.5.2.7 CANCHA DE REPOSO

Cuando se han cumplido los requisitos de tiempo y temperatura para eliminar los patógenos y una vez que el material compostado alcanza nuevamente temperaturas entre los 40 a 55°C se inicia el proceso de maduración. El material se traslada a la cancha de reposo, donde se dispondrá durante tres a cuatro meses en pilas de dimensiones similares a las de la cancha de compostaje, evitando cualquier posible infiltración de la humedad a la napa subterránea.

Durante este proceso, las temperaturas de compostaje comienzan a enfriarse y el material se estabiliza. Esto se alcanza cuando el compost ya no logra calentarse más de 20°C por encima de la temperatura ambiente, a pesar de las adecuadas condiciones de humedad y disponibilidad de nutrientes. Durante el proceso de maduración también hay que monitorizar los parámetros de control para obtener un producto final adecuado. La frecuencia de volteos inicial es de una a tres veces por semana, pero tiende a reducirse considerablemente con el tiempo.



FOTOGRAFÍA 15 y 16: Cribado del compost terminado

2.5.2.8 POSPROCESAMIENTO

Finalmente, se debe llevar a cabo un cribado o tamizado el compost terminado para retirar los posibles materiales orgánicos sin estabilizar y otros contaminantes o residuos no compostables que aún estén presentes. Los materiales orgánicos o agentes estructurantes usualmente se vuelven a reprocesar. El material contaminante debe destinarse al área de almacenamiento de residuos de rechazo.

En el tamizado se utilizan diferentes tipos de equipos. Uno de los más comunes es el trómel o una criba con aberturas de entre 10 a 20 mm.

El almacenamiento del compost final deberá realizarse de manera tal que se evite la generación de polvo, olores y lixiviados, la ocurrencia de incendios y la contaminación del producto final. La cantidad de compost almacenado en la instalación no podrá exceder la capacidad máxima de almacenamiento autorizada.

2.5.2.9 CERCO PERIMETRAL

Las plantas de compostaje deberán disponer de un cerco perimetral que delimite toda la instalación con el entorno cercano, incluyendo todas las instalaciones de la planta como son oficinas, y bodegas de producto terminado. Este cerco tiene por finalidad:

- Evitar la entrada no controlada de personas y/o animales.
- Resguardar el ingreso y salida desde las instalaciones.
- Evitar las entradas materiales fuera de horas de trabajo.

El cerco perimetral debe tener una altura mínima de 1,80 m, contados desde la cota del pavimento. En algunas ocasiones, estos cercos pueden ser de bulldozer o líneas de alambres de púas con postes de hormigón o madera.

Adicionalmente, se deberán establecer barreras vegetativas o cualquier otro mecanismo para minimizar la dispersión de olores molestos y contar con un plan para manejar y atender los mismos.

2.5.2.10 SISTEMAS DE IMPERMEABILIZACIÓN

En el suelo del área o de las áreas destinadas para la recepción de los residuos, de los procesos activos y de maduración, se deberá implementar un sistema de impermeabilización que deberá consistir en una capa de arcilla de 60 cm de espesor con un coeficiente de conductividad hidráulica no superior a 10^{-7} cm/s o una capa de suelo o de otro material que garantice condiciones iguales o superiores de impermeabilidad que impidan el paso de los lixiviados al subsuelo y mantos freáticos. Por lo anterior, la superficie debe contar con una pendiente mínima del 2% para conducir los residuos líquidos generados hacia canaletas perimetrales las que conducen los lixiviados hasta las piscinas de acumulación.

En las instalaciones donde se manejen residuos se deberá verificar la necesidad de instalar sistemas de impermeabilización, sin desmedro de lo que indique la normativa. Dichos sistemas deben garantizar la protección de las aguas subterráneas:

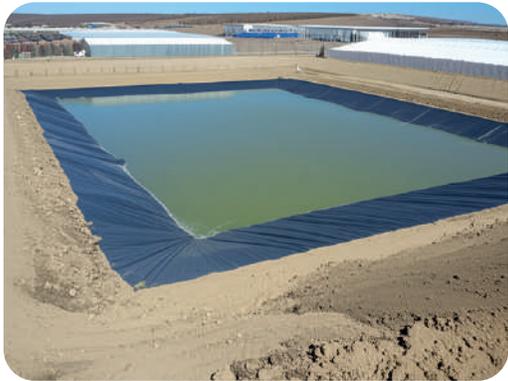
- Superficies generales: $K \leq 10^{-5}$ cm/s
- Áreas de lixiviados: $K \leq 10^{-7}$ cm/s

Mayores antecedentes se detallan también en el Anexo C.4.

TABLA 5: Especificaciones técnicas generales para instalaciones tipo, dentro de una planta de valorización de residuos orgánicos

Instalación	Especificaciones técnicas tipo	Fotografías referenciales
Señalética	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Señalética de ingreso. ▸ Límites de velocidad. ▸ Áreas de la planta. ▸ Zonas de emergencia. ▸ Otras. 	
Acceso a instalaciones	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Acceso pavimentado o compactado con pendiente máxima del 5%. ▸ Ancho mínimo de 3,5 m para vehículos pesados. ▸ Portón con cierre controlado y con sistema de cierre manual o automático. ▸ Materiales recomendados: Hormigón, asfalto o grava compactada. ▸ Pendiente mínima: 2% para drenaje. ▸ Báscula de pesaje para plantas con capacidad de recepción sobre 6 ton/d, con precisión de 50 kg. Están exentas de báscula quienes pueden demostrar uso de básculas externas, sin molestias a vecinos. 	
Caminos de circulación interior	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Vías de mínimo 4 m de ancho para maquinaria. ▸ Radios de giro de 10 m para caminos interiores. ▸ Superficie compactada o pavimentada resistente a cargas de hasta 20 toneladas. 	
Sector de estacionamiento/maniobras	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Área de maniobra de 15x15 m. ▸ Pavimento resistente a cargas pesadas, con drenaje para evitar acumulación de agua. 	

<p>Recepción/Preparación de materias primas</p>	<ul style="list-style-type: none"> Superficie impermeable (arcilla compactada de 60 cm o geomembrana). Pendiente del 2% para escurrimiento hacia canaletas. 	
<p>Área de almacenamiento de residuos de rechazos</p>	<ul style="list-style-type: none"> Área independiente dentro de la planta. Contenedores cerrados para materiales no compostables. Área mínima: 10% del total del espacio destinado a compostaje. Señalética asociada a seguridad y manejo de residuos. Superficie impermeable con coeficiente de permeabilidad $K \leq 10^{-7}$ cm/s Sistema de control de incendios. Contenedores identificados con tipo de residuos. 	
<p>Cancha de compostaje</p>	<ul style="list-style-type: none"> Superficie impermeable con coeficiente de permeabilidad $K \leq 10^{-7}$ cm/s Pendiente: 2 a 5%. Tamaño: 5 a 10 m² por tonelada de residuos tratados. Impermeabilización: Capas de arcilla compactada o geomembrana de HDPE. Protección: Opcionalmente techada en zonas con alta pluviosidad (>1.000 mm/año). 	
<p>Sistema de intercepción de escorrentía</p>	<ul style="list-style-type: none"> Zanjas perimetrales con 1 m de ancho y 0,5 m de profundidad. Pendiente natural del terreno hacia canales colectores. Diseño hidráulico: Considerar lluvias máximas esperadas en un período de retorno de 100 años. Revestimiento: Concreto en áreas de alta erosión. 	

<p>Canaletas para lixiviados</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Canaletas trapezoidales de 0,5 m de ancho y 0,3 m de profundidad. ▸ Material: concreto reforzado o geomembrana. ▸ Diseño hidráulico: Considerar lluvias máximas esperadas en un período de retorno de 100 años. ▸ Revestimiento: Concreto en áreas de alta erosión. 	
<p>Piscinas de acumulación de lixiviados</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Estanques de 1,5 veces el volumen mensual de lixiviados esperados. ▸ Impermeabilización: geomembrana o arcilla compactada. ▸ Volumen: Al menos el 20% del total de residuos tratados por mes. ▸ Drenaje: Sistema de conducción con tuberías de PVC o HDPE. ▸ Cobertura: Mallas o techos ligeros para evitar evaporación excesiva o infiltración de agua de lluvia. 	
<p>Cerco perimetral</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Malla ciclónica o metálica de 1,8 m de altura. ▸ Refuerzo en áreas de alta exposición con barreras vegetativas. ▸ Material: Malla galvanizada con postes de hormigón o madera tratada. 	



3. PARÁMETROS DE CONTROL Y OPERACIÓN

La valorización de residuos orgánicos se lleva a cabo mediante su degradación, ya sea aerobia o anaerobia, por parte de microorganismos. La eficiencia y velocidad de estos procesos dependen de diferentes factores que pueden limitar su desarrollo y crecimiento. Por esta razón, es necesario realizar un seguimiento y control de los parámetros operativos y ambientales durante el proceso. En el Anexo A se adjunta una ficha orientativa que puede utilizarse para estos fines.

Toda instalación deberá implementar las mejores prácticas de manejo para evitar que las condiciones climáticas o geográficas afecten el proceso de compostaje o generen impactos en el medio ambiente o en los alrededores, incluyendo minimización de generación de polvo fugitivo, olores molestos, mecanismos adecuados para prevenir, controlar y extinguir incendios, entre otros.

3.1 PARÁMETROS OPERACIONALES

3.1.1 TEMPERATURA

La temperatura debe ser controlada a lo largo del proceso, y este control se lleva a cabo diariamente al inicio del tratamiento y posteriormente dicho control se puede realizar cada semana. Se sugiere mantener todos los registros en una ficha de control (Anexo A), considerando día, hora, puntos de control dentro de la pila y equipo con el que se realizó.



FOTOGRAFÍA 17 y 18: Sensor de temperatura portátil (izquierda) y termómetro análogo (derecha)

El control de la temperatura se realiza con un termómetro de sonda larga adecuado para este fin. En el caso del compostaje comunitario o instalaciones barriales, a veces no se dispone de los implementos adecuados para controlar la temperatura, por lo que es necesario realizar un seguimiento de este parámetro a través de la percepción del operador. Es decir, durante la primera y tercera etapa del proceso, el operador podrá acercar la mano a la pila, pero no podrá hacerlo durante la etapa de mayor temperatura (termófila).

El objetivo es garantizar una reducción adecuada de patógenos y lograr una buena calidad del compost, que permita su comercialización. Por lo tanto, durante el proceso de compostaje es necesario combinar la temperatura y el tiempo para garantizar la inocuidad del producto final. Cuanto mayor sea la temperatura, menor será el tiempo mínimo necesario para garantizar su higienización. Toda instalación de compostaje deberá cumplir con los siguientes métodos de reducción, según corresponda:

- Si se usa el método de compostaje en hileras, el material deberá mantenerse como mínimo a una temperatura de 55°C por un periodo de, al menos, quince días consecutivos. En el transcurso de ese periodo, el material deberá ser volteado como mínimo cinco veces con un mínimo de tres días entre volteos.
- Si se usa el método de compostaje de pilas estáticas aireadas o sistema de compostaje cerrado, la temperatura de los materiales compostables debe mantenerse como mínimo a 55°C por lo menos tres días consecutivos, seguido por catorce días con un mínimo de 45°C.

Podrá presentarse, ante la SEREMI de Salud, alternativas diferentes para la reducción de patógenos, siempre y cuando, se demuestre, con análisis de laboratorios, que se consiguen igual o mejores resultados en la higienización del compost. Según distintos estudios, una alternativa que ha demostrado tener buenos resultados para una adecuada reducción de patógenos es:

- Temperatura promedio de 59 a 65°C: Tiempo mínimo de una semana.
- Temperatura por sobre los 65°C: Tiempo mínimo de tres días.

Tal como se ha señalado anteriormente, temperaturas por sobre los 70°C usualmente no son deseadas, debido a que ejercen una mala influencia sobre el proceso y la calidad del producto final.

Finalmente, la temperatura óptima en un proceso de compostaje varía entre los 35 y 70°C dependiendo de las fases en la que se encuentre el proceso. Sin embargo, existen algunos parámetros que se pueden controlar para que este proceso se desarrolle correctamente, como son:

- **Control Humedad / Ventilación:** Cuando los microorganismos cesan o disminuyen su actividad metabólica, la temperatura disminuye. Este proceso puede revertirse humectando el material o incorporando material fresco (residuos con alto contenido de humedad como pueden ser los restos de ferias libres, entre otros) a la pila. En el caso de que la pila tenga una temperatura muy alta (>70°C) es recomendable aumentar los volteos e/o incorporar materiales ricos en carbono de lenta degradación como podrían ser los restos de poda y madera, entre otros.
- **Tipo de Materiales (Relación C:N):** Cuando los residuos incorporados a la pila no son los adecuados para mantener una relación óptima para el crecimiento microbiano, se puede observar que la temperatura tarda en aumentar (sobre siete días) lo que indica que es importante revisar este factor y por sobre todo los residuos ricos en nitrógeno (ver Anexo B).

3.1.2 AIREACIÓN (CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO)

Como ya se ha descrito anteriormente, el compostaje es un proceso aerobio y se debe mantener una aireación adecuada para que los procesos de degradación ocurran de manera uniforme sin generar zonas anaeróbicas.

El contenido ideal de oxígeno depende de factores como la composición del compost, la temperatura, el contenido de humedad y los microorganismos aeróbicos específicos presentes. Si

bien existen diferentes formas de suministrar el oxígeno, dentro de la aireación deben distinguirse dos aspectos importantes:

- Cantidad de oxígeno necesario para el proceso
- Velocidad de consumo de oxígeno

No obstante, la saturación de oxígeno en el medio no debe bajar del 5%, siendo el nivel óptimo el 10%. Un exceso de aireación provocaría el descenso de temperatura y una mayor pérdida de la humedad por evaporación, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua. (FAO, 2023)

La concentración de oxígeno en las pilas de compostaje varía dependiendo de la profundidad de esta (altura), por lo que la cantidad de oxígeno en la parte más expuesta puede contener alrededor de 18 a 20% (considerando que en el aire existe un porcentaje aproximado de 21%) y disminuir hacia el centro de la pila.

En un proceso de pila dinámica, el control de la cantidad de oxígeno presente en la pila se lleva a cabo principalmente mediante la agitación de la mezcla y/o la incorporación de material estructurante que le confiera porosidad a la pila. Este último método se utiliza con mayor frecuencia en pilas estáticas, ya que facilita el movimiento de los gases hacia el interior de la pila.

Por otra parte, si esta aireación es excesiva, se debe controlar el tamaño de las partículas de la mezcla o mejorarlo incorporando material más húmedo o fresco (por ejemplo, restos de frutas, purines, pasto u otros).

Existen varios métodos para medir el contenido de oxígeno en el compost, como la respirometría y la inspección visual. La respirometría mide la cantidad de dióxido de carbono producida por los microorganismos aerobios del compost durante su respiración. Dado que el consumo de oxígeno y la producción de dióxido de carbono están directamente relacionados, la respirometría puede utilizarse para medir indirectamente el contenido de oxígeno del compost. Esto se puede hacer con un sistema de respirometría cerrado o controlando las emisiones de gas de la pila de compost. La inspección visual y el olor del compost pueden proporcionar cierta información sobre el contenido de oxígeno, aunque no es tan precisa. Un compost bien aireado debería oler a tierra, mientras que un olor fuerte y pútrido puede indicar condiciones anaeróbicas desfavorables para el compostaje.

Sin embargo, uno de los métodos más precisos y utilizados en los procesos industriales consiste en medir el oxígeno directamente durante el proceso mediante una sonda de oxígeno. Las sondas o sensores de oxígeno se pueden insertar directamente en la pila de compost para medir su concentración. Las sondas de oxígeno para uso en compostaje son generalmente más robustas y pueden soportar las condiciones de alta humedad y temperatura que se encuentran a menudo en las pilas de compost. Para obtener una medición representativa del contenido total de oxígeno, la sonda debe insertarse en la pila de compost en diferentes puntos y profundidades, teniendo precaución de evitar el contacto con materiales duros.

3.1.3 HUMEDAD

Los microorganismos necesitan agua por varias razones fundamentales para su supervivencia y funcionamiento eficaz: es esencial para las reacciones metabólicas. El agua actúa como disolvente, lo que permite que las moléculas interactúen y reaccionen entre sí. De este modo, transporta nutrientes hacia las células y, a su vez, ayuda en la eliminación de desechos. La degradación de la materia orgánica, es decir, la transformación de moléculas complejas en componentes más simples también requiere agua.

Por lo tanto, un bajo contenido de humedad priva a los microorganismos del agua necesaria para su actividad vital. En cambio, una humedad demasiado elevada puede dar lugar a fermentaciones anaerobias no deseadas.

A modo de resumen, se puede mencionar que en la degradación biológica:

- La actividad biológica se reduce cuando el contenido de humedad es inferior al 30%.
- El óptimo nivel de humedad depende mucho de la estructura del material que se desea compostar. Lo fundamental es que en su interior sea posible la existencia del aire suficiente para satisfacer las necesidades de oxígeno de los microorganismos implicados.

Generalmente se recomienda que la mezcla inicial debe presentar una humedad de entre 40 a 60%, pudiendo aumentar hasta un 70% durante el proceso del compostaje. Concentraciones superiores a este valor no son deseadas, ya que fomentan condiciones anaeróbicas y la generación de malos olores. Además, se producirían escurrimientos de lixiviados.

En un proceso industrial el control de la humedad generalmente se realiza con una sonda que es introducida en la pila de manera que la lectura sea representativa de la pila. En el caso de pilas de menor tamaño o de compostaje comunitario, el control muchas veces se lleva a cabo mediante el método o técnica de puño. Esta técnica se realiza tomando una pequeña fracción de compostaje y apretarlo, dentro de lo cual se pueden apreciar las siguientes tres situaciones:

- El material apretado deja salir agua: el compost se encuentra con mucha humedad por lo que se debe airear más, esparcirlo o voltearlo con mayor frecuencia.
- El material apretado queda compacto: esto grafica que el compost se encuentra demasiado seco y se debe mejorar su humectación, ya sea disminuyendo los volteos o regando la pila.
- El material apretado queda en forma de bola: La humedad del compost es la correcta.



FIGURA 4: Técnica del puño para determinar el nivel de humedad del compost

3.1.4 NUTRIENTES

El desarrollo de los microorganismos está definido por las condiciones ambientales, donde se destaca el aporte de los elementos que son necesarios para su actividad metabólica ya sea como fuente de energía o como constituyentes enzimáticos.

La disponibilidad equilibrada de macronutrientes (carbono, nitrógeno y fósforo) y micronutrientes (minerales traza como hierro, calcio, magnesio, potasio y zinc) es fundamental para garantizar el crecimiento y actividad metabólica de los microorganismos. No obstante, en la práctica, el enfoque operativo se centra en controlar la relación entre los macronutrientes —especialmente la proporción carbono/nitrógeno (C:N)—, ya que los micronutrientes suelen estar presentes en cantidades suficientes en los sustratos orgánicos comunes.

Cabe señalar que, dependiendo del tipo de residuos se pueden identificar a priori los nutrientes que se pueden encontrar en la mezcla, dado que existen aquellos ricos en carbono como los que son predominantemente ricos en nitrógeno. En el caso de la valorización de la materia orgánica por procesos aeróbicos, la relación C:N es uno de los balances nutricionales más importantes (ver Anexo B), ya que la cantidad de carbono necesaria es superior a la del nitrógeno, porque los microorganismos lo utilizan para la formación del material celular y como fuente de energía (se pierde en forma de CO₂).

A partir de la composición del material celular, se deduce que las necesidades de nitrógeno deben oscilar entre dos a cuatro partes por cada 100 de carbono inicial, es decir, la relación C:N óptima debe estar situada entre 25:1 y 50:1. En el caso de que no se logre la relación mínima C:N de 25:1 al inicio, se debe considerar la incorporación de material estructurante para aumentar la oxigenación de la mezcla y evitar la generación de malos olores.

Además, frecuentemente se menciona que después del nitrógeno el fósforo es el nutriente más importante, estimando que la relación óptima N:P oscila entre 5:1 a 20:1.

Si bien en los residuos orgánicos de plantas o vegetales se puede encontrar una fuente de fósforo, los residuos donde encontramos mayor concentración son los provenientes de harina de pescado, harina de huesos y cenizas, entre otros.

3.1.5 PH

El pH depende de los materiales de origen y varía según cada fase del proceso y tipo de proceso. En el caso del compostaje, este varía a lo largo de las diferentes etapas. Sin embargo, es recomendable que se mantenga un rango entre 5,5 a 8,5. Los hongos toleran un amplio rango de pH, mientras que las bacterias se caracterizan por un margen más estrecho. El pH no debe ser inferior a 4,5 en todos los casos.

Si el pH del compostaje se acidifica (<5), se sugiere incorporar material rico en nitrógeno (residuos verdes o provenientes de ferias) hasta conseguir una adecuada relación C:N. En el caso contrario, si este aumenta, a causa de una deficiente relación C:N, que podría estar asociado a la baja humedad y altas temperaturas, donde se produce amoníaco alcalinizando el medio, se sugiere incorporar residuos secos (café) los que son ricos en carbono.

Comúnmente el pH se mide a través de equipos similares a los utilizados para la temperatura y humedad, existiendo sondas que miden estos tres parámetros de manera simultánea.

Un método más sencillo es a través de tiras de pH, las cuales a través de escala de colores determinan la acidez del material. En el caso del compost, se debe tomar una pequeña muestra del interior de la pila y diluirla en agua destilada e introducir la tira y chequear con datos de referencia.

3.1.6 RESUMEN

A modo de resumen, a continuación, se presentan los principales parámetros de control para el compostaje.

TABLA 6: Resumen parámetros de control y operación compostaje

Porosidad	Humedad	Temperatura	Oxígeno	pH	Nutrientes (C:N)
Cerca del 30%	50 a 70%	45 a 70°C	15 a 21%	5,5 a 8,5	25:1 a 50:1

Durante el proceso de compostaje y maduración, se deberán controlar periódicamente los parámetros que permitan que el proceso se realice adecuadamente y que se alcance la reducción de los microorganismos patógenos, de acuerdo con los requerimientos del compost final. Dentro de los parámetros que deben ser controlados, están: la concentración de oxígeno, el tamaño y estructura de partículas, relación carbono-nitrógeno (C:N), contenido de humedad, temperatura, pH y aireación. Se deberá llevar un registro de estos controles, el cual deberá estar a disposición de la SEREMI de Salud cuando sea requerido. En el Anexo A se presenta una ficha simple que puede ser utilizado para estos fines.

A continuación, se presentan los controles a realizar, dependiendo de la categoría de la instalación. Las instalaciones de categoría A, B y C deberán llevar un registro de estos controles, el cual deberá estar a disposición de la SEREMI de Salud cuando sea requerido.

TABLA 7: Controles operacionales según categorías de instalaciones

Categoría	Categoría A	Categoría B	Categoría C	Instalación barrial
Concentración de oxígeno	Requiere.	Requiere.	Requiere.	No requiere.
Tamaño y estructura de partículas	Requiere.	Requiere.	Requiere.	Se recomienda un control visual simple de la materia prima.
Relación carbono-nitrógeno (C:N)	Requiere.	Requiere.	Requiere.	Se recomienda un control simple de la materia prima.
Contenido de humedad	Requiere.	Requiere.	Requiere.	Se recomienda un control visual simple.
Temperatura	Requiere.	Requiere.	Requiere.	No requiere.
pH	Requiere.	Requiere.	Requiere.	No requiere, se recomienda controlar mediante materia prima.
Aireación	Requiere.	Requiere.	Requiere.	Se recomienda uso regular del bastón aireador.

3.2 MONITOREO Y CONTROL AMBIENTAL

En el presente acápite se detallan los requisitos mínimos que deben cumplir los monitores de control ambiental. Se podrán establecer requisitos adicionales en los permisos de cada instalación.

3.2.1 CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Las instalaciones de categoría A, que se encuentren ubicadas sobre un acuífero que pueda verse afectado por el funcionamiento de la instalación, deberán diseñar e implementar un sistema de monitoreo de calidad de las aguas subterráneas que se ubiquen en el sitio o en su área de influencia. El sistema de monitoreo deberá contar con un número suficiente de pozos instalados en sitios y profundidades adecuadas para extraer muestras representativas del sistema hídrico subterráneo. El número, ubicación y profundidad de los pozos de monitoreo deberá determinarse en base a estudios técnicos específicos sobre el sitio, que provean una adecuada caracterización del acuífero, caudal y variaciones estacionales del flujo. En todo caso, deberá contemplarse, al menos, un pozo aguas arriba de la instalación y otro aguas abajo de esta.

Para efectos de analizar los resultados de los monitoreos, previo a la puesta en marcha de la instalación, deberá practicarse una completa caracterización de las aguas que sirva de patrón de referencia. En caso de que, según se demuestre a través de estudios técnicos, el sistema hídrico no se vea afectado por la operación de la instalación, se podrá solicitar a la SEREMI de Salud competente modificar la frecuencia del sistema de monitoreo de aguas subterráneas.

La frecuencia de los monitoreos deberá determinarse de acuerdo con las condiciones del emplazamiento, la cual no podrá ser inferior a la de una muestra por pozo cada seis meses.

Los monitoreos deberán entregar información sobre la concentración de al menos los siguientes parámetros fisicoquímicos: Conductividad Eléctrica; Cloruro; Turbiedad (color); Demanda Química de Oxígeno (DQO); Hierro; Magnesio; Nitrógeno Amoniacal; Nitrógeno Kjeldahl; Sulfatos; Alcalinidad Total (CaCO_3); y Sodio.

Sin perjuicio de lo señalado precedentemente, se podrá exigir, en casos calificados, un sistema de monitoreo en instalaciones de categoría B o C.

En casos calificados, la SEREMI de Salud podrá exigir al titular el monitoreo de parámetros adicionales a los señalados, sin perjuicio de lo dispuesto en la respectiva resolución de autorización de funcionamiento.

3.2.2 CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES

La SEREMI de Salud podrá exigir un monitoreo de cursos o masas de aguas superficiales que puedan ser afectadas por escurrimientos de lixiviados desde alguna instalación de valorización de residuos orgánicos, y, en caso de constatarse eventuales alteraciones, podrá exigir un plan de monitoreo especial de dichos cursos o masas. Además, la SEREMI de Salud podrá ordenar al titular el desarrollo de un monitoreo de parámetros adicionales a los indicados para el seguimiento de la calidad del agua subterránea, sin perjuicio de lo dispuesto en la respectiva resolución de autorización de funcionamiento.

3.2.3. CONTROL DE OLORES

Las instalaciones de las categorías A y B que manejen residuos orgánicos clase 2, 3 y/o 4 deberán realizar el seguimiento de olores establecido en el Plan de Gestión de Olores (PGO) de la planta. Los requisitos a los PGO están detallados en el Anexo E.



4. CRITERIOS GENERALES DE LOCALIZACIÓN

4.1 RELACIÓN CON INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL

La ubicación de las instalaciones debe contemplar el cumplimiento de la normativa vigente establecida en los Instrumentos de Planificación Territorial (IPT), como son los planes reguladores intercomunales y metropolitanos, planes reguladores comunales y seccionales (ver Anexo C.1). Estos determinan la compatibilidad de usos de suelo para actividades de manejo de residuos.

- Ley General de Urbanismo y Construcciones (DFL N°458 de 1975): Dispone normas relativas a planificación urbana, urbanización y construcción, y contiene los principios, atribuciones, potestades, facultades, responsabilidades, derechos, sanciones y demás normas que rigen a los organismos, funcionarios, profesionales y particulares, en las acciones de planificación urbana, urbanización y construcción.
- Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC): Reglamento que establece las normas técnicas y administrativas para la construcción y urbanización en Chile. Y en lo que interesa, establece la normativa aplicable para la infraestructura sanitaria y las actividades productivas. distancias mínimas y criterios de compatibilidad.
- Plan Regional de Ordenamiento Territorial (PROT): Promueve la sostenibilidad ambiental y condiciona la localización de infraestructuras fuera de áreas urbanas.

La Ley General de Urbanismo y Construcciones (LGUC), y su Ordenanza (OGUC) regula el procedimiento administrativo, el proceso de planificación urbana, el proceso de urbanización, el proceso de construcción, y los estándares técnicos de diseño y de construcción exigibles para las instalaciones de compostaje. Sin perjuicio de lo anterior, la SEREMI MINVU de la Región Metropolitana, en el Ord. N° 4508 de 2019, realiza el análisis normativo para el emplazamiento de plantas de compostaje, el cual se puede utilizar como guía para el resto del territorio nacional.

4.2 CONDICIONES GENERALES

Para prevenir potenciales impactos, el sitio donde se emplace la instalación de compostaje deberá asegurar las distancias necesarias para evitar impactos negativos en sus alrededores. Dependiendo del tipo de instalación y los residuos que se procesen, se deberán conservar las distancias indicadas en la siguiente tabla. Estas distancias son mínimas y pueden ampliarse en caso de que se prevean impactos ambientales, por ejemplo, por contaminación odorífica.

Las distancias mínimas se establecen para reducir los riesgos de contaminación y las molestias a la población cercana. En el Anexo C se presenta con más detalle las distintas componentes asociadas a la óptima localización de una planta de compostaje.

Los requisitos para la localización de instalaciones barriales son:

TABLA 8: Criterios mínimos requeridas para instalaciones barriales

Criterio	Descripción
Localización	<ul style="list-style-type: none"> Áreas urbanas o rurales. Fácil acceso, mediante caminos transitables durante todo el año por cualquier tipo de vehículo.
Condiciones generales	<ul style="list-style-type: none"> Nivel freático con profundidad mayor a 1,5 m.
Calificación industrial	<ul style="list-style-type: none"> De necesitarse, mediante trámite simplificado como actividad de bajo riesgo.

La siguiente tabla resume las distancias aplicables a diferentes elementos sensibles.

TABLA 9: Distancias mínimas requeridas para instalaciones de tamaño industrial

Criterio	Categoría A		Categoría B		Categoría C	
	Clase 1	Clase 2, 3 y 4	Clase 1	Clase 2, 3 y 4	Clase 1	Clase 2, 3 y 4
Límite de propiedad	20 m	100 m	5 m	20 m	5 m	5 m
Residencias habitadas	100 m	400 m	80 m	150 m	50 m	100 m
Pozos de agua potable	60 m	150 m	50 m	100 m	30 m	50 m
Cuerpos de agua superficiales	40 m	60 m	30 m	50 m	20 m	30 m
Nivel freático (profundidad)	1,5 m	3 m	1,5 m	3 m	1,5 m	1,5 m
Condiciones geotécnicas	Pendientes entre 2% y 18%					
Suelos saturados	Áreas de suelos saturados excluidas					
Fallamientos geológicos	A más de 300 metros de fallas geológicas activas					

En el caso de residencias habitadas y pozos de agua, la distancia se mide desde el límite de la propiedad. El distanciamiento a cuerpos o cursos de agua deberá calcularse considerando dicho distanciamiento desde la ribera generada por la máxima crecida en un período de retorno de 100 años.

Estas distancias se definen para prevenir la contaminación de fuentes de agua, mitigar riesgos sanitarios y evitar conflictos sociales.

El tipo de suelo es crucial para determinar la idoneidad de la ubicación:

- Áreas urbanas:** Estas zonas son idóneas para instalaciones que requieren acceso a servicios básicos y conectividad, siempre que se ubiquen en áreas designadas con el uso de suelo infraestructura sanitaria, conforme a lo establecido en el respectivo instrumento de planificación territorial (IPT). El IPT definirá en las áreas al interior del límite urbano, las normas

urbanísticas que regulen el emplazamiento de las instalaciones o edificaciones necesarias para este tipo de uso, sin perjuicio del cumplimiento de las normas ambientales, de las normas de la LGUC, de la OGUC y demás disposiciones pertinentes.

- **Áreas rurales:** En el área rural de los planes reguladores intercomunales y metropolitanos (áreas rurales normadas), dichas instalaciones –en tanto infraestructura sanitaria– estarán siempre admitidas y se sujetarán a las disposiciones que establezcan los organismos competentes, sin perjuicio del cumplimiento de la Ley N°19.300 y de lo dispuesto en el artículo 55 de la LGUC. En áreas rurales que no cuenten con un instrumento de planificación territorial intercomunal o metropolitano, se deberá cumplir con lo señalado en el artículo 55 de la LGUC, que se encuentra reglamentado en el artículo 2.1.19. de la OGUC, evitando el emplazamiento en suelos de alta capacidad agrícola, según el Decreto N°83, de 2010, del Ministerio de Agricultura.
- **Zonas restringidas:** Se excluyen áreas como:
 - Humedales y zonas de protección (Ley N°21.600): Incluyen pantanos, marismas, turberas o aguas ≤ 6 m de profundidad en marea baja.
 - Corredores biológicos (Ley N°21.600): Áreas que conectan ecosistemas para preservar biodiversidad y flujo genético.
 - Zonas expuestas a amenazas de origen natural o antrópico, tales como remoción en masa, inundaciones, suelos contaminados/salinos, fallas geológicas, actividad volcánica, inundación por tsunami, incendios forestales.
 - Zonas no edificables, de acuerdo con lo establecido en el inciso sexto del artículo 2.1.17. de la OGUC, las que corresponden a aquellas franjas o radios de protección de obras de infraestructura peligrosa, tales como aeropuertos, helipuertos, torres de alta tensión, embalses, acueductos, oleoductos, gasoductos, u otras similares, establecidas por el ordenamiento jurídico vigente.

4.3 CONDICIONES ESPECÍFICAS

4.3.1 FACTORES GEOTÉCNICOS

La orografía y las características del terreno afectan directamente la estabilidad de las instalaciones (ver Anexo C.6) y su funcionamiento:

- **Pendiente mínima:** 2% para facilitar el drenaje de líquidos.
- **Pendiente máxima:** 18% para evitar erosión y deslizamientos.

4.3.2 SUELOS SATURADOS

Los suelos saturados se definen como aquellos cuyo nivel freático se encuentra cerca de la superficie, generando una saturación temporal o permanente. En los Anexos C.4 y C.5 se detallan sus características. Según el Decreto N°82, de 2010, del Ministerio de Agricultura, estos suelos incluyen:

- **Humedales:** Como salares, vegas, bofedales y ñadis en zonas del norte y sur del país.
- **Suelos palustres:** Con un nivel freático menor a 1,5 m, identificados mediante indicadores como el Índice de Agua Normalizado (NDWI) y el Índice de Humedad Normalizado (NDMI).

Los suelos saturados no son aptos para infraestructuras debido a su:

- **Baja capacidad estructural:** Mayor riesgo de hundimientos.
- **Vulnerabilidad ambiental:** Potencial de contaminación por infiltraciones.

4.3.3 VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO

La vulnerabilidad de acuíferos se refiere a la susceptibilidad de los cuerpos de agua subterráneos a la contaminación. La metodología descrita en el Manual para la Aplicación del Concepto de Vulnerabilidad de Acuíferos (DGA, 2004), permite clasificar dicha vulnerabilidad y definir estrategias de protección específicas. El análisis debe realizarse teniendo en cuenta los siguientes factores:

- **Permeabilidad del suelo:** Suelos más permeables permiten una infiltración más rápida de contaminantes.
- **Profundidad del acuífero:** Los acuíferos someros, es decir aquellos que se encuentran más cercanos a la superficie, tienen mayor riesgo.
- **Uso del suelo:** Actividades industriales deben incluir medidas de protección como pozos de monitoreo y barreras impermeables.

Dicha evaluación se aplica principalmente en instalaciones que realicen infiltración de líquidos y es facultad de la Dirección General de Aguas establecer la vulnerabilidad del acuífero.

4.4 CONSIDERACIÓN DE RIESGO

Las instalaciones no podrán emplazarse en lugares expuestos a: fallas geológicas activas, entendiéndose por tales a aquellas en las cuales ha ocurrido un desplazamiento durante el período holoceno; remociones en masa, tales como: flujos de barro o detrito; deslizamientos o derrumbes; zonas de geología cárstica susceptibles de formación de sumideros y zonas inestables o con insuficiente capacidad de soporte. Se recomienda realizar esta revisión de amenazas para todas las iniciativas, dado que permite actualizar los nuevos escenarios que se puedan presentar.

4.4.1. ÁREAS INUNDABLES

Las áreas inundables (ver Anexo C.7) representan un riesgo significativo para la localización de instalaciones debido a su susceptibilidad a eventos climáticos extremos y desbordes de cuerpos de agua cercanos. Estas áreas se definen como aquellas que tienen periodos de retorno menores a 100 años. Las consideraciones clave incluyen:

- **Identificación de zonas inundables:** Uso de mapas hidrológicos actualizados y modelos de simulación.
- **Prevención de daños:** Implementación de barreras físicas o sistemas de drenaje si no existe alternativa de ubicación.
- **Restricciones normativas:** Evitar áreas clasificadas como de alta recurrencia de inundaciones por normativa regional.

4.4.2 FALLAS GEOLÓGICAS

Las fallas geológicas activas y áreas de alta actividad sísmica (ver Anexo C.7) son incompatibles con instalaciones de valorización de residuos debido al riesgo de deslizamientos, grietas o rupturas en las infraestructuras. Los criterios que se deben considerar son:

- **Ubicación fuera de zonas de riesgo:** Las instalaciones deben ubicarse a más de 500 metros de distancia de fallas activas, según el Mapa Geológico del SERNAGEOMIN.
- **Evaluación previa:** Realización de estudios geotécnicos específicos para confirmar la estabilidad del terreno.

Dicho lo anterior, la localización de las instalaciones de valorización debe estar supeditada a áreas en donde no exista presencia de este tipo de fallamientos. En este sentido herramientas como el Mapa Geológico de Chile del SERNAGEOMIN ofrece información relevante a la hora de la toma de decisiones. Adicionalmente el Núcleo CYCLO ofrece un mapa actualizado de las fallas activas en Chile⁴.

4.4.3 TSUNAMI

Las Cartas de Inundación por Tsunami (CITSU), elaboradas por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, delimitan áreas de riesgo ante tsunamis basadas en la “amenaza máxima estimada”, incluyendo factores científicos e históricos. Estas zonas, identificadas oficialmente, son incompatibles con la instalación de plantas de compostaje debido a:

- **Alto riesgo de inundación:** Eventos tsunámicos podrían destruir infraestructuras, liberar material orgánico contaminante y afectar poblaciones cercanas.
- **Vulnerabilidad operativa:** La saturación de suelos y daños estructurales comprometerían el proceso de compostaje.

La Ley N°21.364 que Establece el Sistema Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres, refuerza esta exclusión al exigir que los instrumentos de planificación territorial integren mapas de amenazas como las CITSU⁵, priorizando la seguridad y prevención de desastres.

4. <https://fallasactivas.cl/>

5. Cartas de Inundación por Tsunami. Disponibles en: <https://www.shoa.cl/php/citsu.php>

5. TRATAMIENTO MECÁNICO-BIOLÓGICO

El Tratamiento Mecánico-Biológico (TMB) es una tecnología de pretratamiento usualmente aplicado a los Residuos Sólidos Urbanos (mixtos), la que combina una clasificación de los residuos y posterior tratamiento biológico de la parte orgánica de estos. En este sentido, se trata de un proceso de degradación (aerobia o anaerobia) de una mezcla de RSU, es decir, no clasificados previamente (ej. Residuo Clase 4: Residuo mixto que contiene orgánicos putrescibles). Si bien durante el proceso puede haber una separación de materiales reciclables o de una fracción de alto poder calorífico, el producto final usualmente corresponde a residuos que deben ser dispuestos en rellenos sanitarios, por lo cual no es considerado un proceso de valorización propiamente tal. El objetivo principal del TMB de residuos sólidos es minimizar el impacto ambiental de la disposición final mediante una estabilización previa de los mismos. Si bien en la estabilización aerobia se emplean técnicas muy parecidas, es preferible distinguir entre el compostaje y el TMB ya que sus objetivos, materia prima y productos se diferencian ampliamente.



FIGURA 5: Diagrama de flujo del tratamiento mecánico-biológico

El TMB se desarrolló principalmente en los países de la Unión Europea con la finalidad de evitar externalidades negativas en los rellenos sanitarios y prolongar su vida útil. En este sentido los objetivos específicos del TMB son los siguientes:

- Reducir el volumen de los residuos sólidos que llegan a disposición final y, así, minimizar el tamaño del relleno sanitario o prolongar su vida útil.
- Reducir la cantidad de residuos que hay que incinerar o disponer en rellenos sanitarios.
- Disminuir la actividad biológica en la degradación de la fracción orgánica de los RSU hasta que en el relleno sanitario no exista real potencial de producción de biogás. De esta manera se reducen las emisiones de metano (potente gas de efecto invernadero).
- Reducir al mínimo la concentración de contaminantes en los lixiviados que podrían potencialmente contaminar el acuífero y/o minimizar el tratamiento de los lixiviados.
- Aprovechar energéticamente la fracción con alto valor calorífico, a través de su separación en la etapa del tratamiento mecánico.
- Disminuir la atracción de vectores de interés sanitario mediante reducción de la materia orgánica putrescible.

6. DIGESTIÓN ANAEROBIA

La digestión anaeróbica o biodigestión, es un proceso natural mediante el cual los microorganismos descomponen materiales orgánicos en ausencia de oxígeno. Como su definición lo indica, es un proceso que ocurre en espacios donde no hay presencia de oxígeno, ya sea de manera natural, así como en entornos cerrados y controlados. En este apartado se describe el tratamiento de residuos orgánicos a través de digestión anaerobia realizado en un sistema construido y controlado donde se lleva a cabo el proceso, comúnmente llamado "digestor".

La disposición de residuos con alto contenido de materia orgánica en vertederos o rellenos sanitarios genera gran cantidad de biogás, un gas con alto poder calorífico compuesto principalmente por metano, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, vapor de agua y otros gases en menor cantidad. Si no se gestiona adecuadamente (mediante captación, quema o usos energéticos), puede tener un impacto negativo en el entorno, contribuyendo a intensificar el calentamiento global y el cambio climático.

Sin embargo, cuando la valorización de la materia orgánica ocurre a través de procesos controlados de digestión anaerobia, uno de los productos de mayor interés es el biogás, que puede utilizarse como fuente de energía para producir electricidad, calefacción o combustible para el transporte. Estos sistemas también reducen la generación de olores, los patógenos y, por supuesto, los residuos.

Esta tecnología ha sido ampliamente utilizada en sectores como el procesamiento de alimentos y el tratamiento de aguas residuales. En la agricultura, los sistemas de recuperación de biogás ya se utilizan en granjas de ganado vacuno, porcino y avícola, entre otros.

Este tipo de valorización se caracteriza por presentar cuatro fases de tratamiento (Montalvo, 2003):

- **Hidrólisis:** Es la primera fase del proceso de digestión anaeróbica. También conocida como la fase sólida, donde los compuestos orgánicos son solubilizados desde enlaces moleculares complejos (polímeros) como carbohidratos, proteínas y grasas a compuestos orgánicos simples (monómeros) como aminoácidos, ácidos grasos y azúcares, a través de enzimas excretadas por bacterias hidrolíticas.
- **Acidogénesis:** Los microorganismos que actúan en esta fase transforman los productos solubles procedentes de la fase anterior en compuestos más simples, como: ácidos orgánicos (acético, propiónico y butírico), alcoholes (etanol), cetonas (acetona), dióxido de carbono e hidrógeno, además de nuevas células. La formación de productos en esta etapa también depende de la cantidad de hidrógeno disuelto en la mezcla. Cuando la concentración de hidrógeno es demasiado alta, interfiere negativamente con la eficiencia de esta fase, lo que provoca la acumulación de ácidos orgánicos. Como resultado, el pH de la mezcla baja y el proceso puede verse afectado casi por completo.
- **Cetogénesis:** Es la responsable de la oxidación de sustancias generadas en la fase anterior, produciendo ácidos orgánicos mediante la acción de bacterias acetogénicas. Los productos que surgen de esta fase son: acetato, hidrógeno y dióxido de carbono. Esta es una de las fases más delicadas del proceso, ya que es necesario mantener el equilibrio para que la cantidad de hidrógeno generado sea consumido por las bacterias responsables de la metanogénesis.
- **Metanogénesis:** En esta etapa, actúan las bacterias metanogénicas, consumiendo ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono como fuente de energía para su metabolismo. Como resultado metabólico, las bacterias producen, en una primera reacción, metano y dióxido de carbono derivado del ácido acético y, en segundo lugar, el hidrógeno y el dióxido de carbono dan lugar a metano y agua.

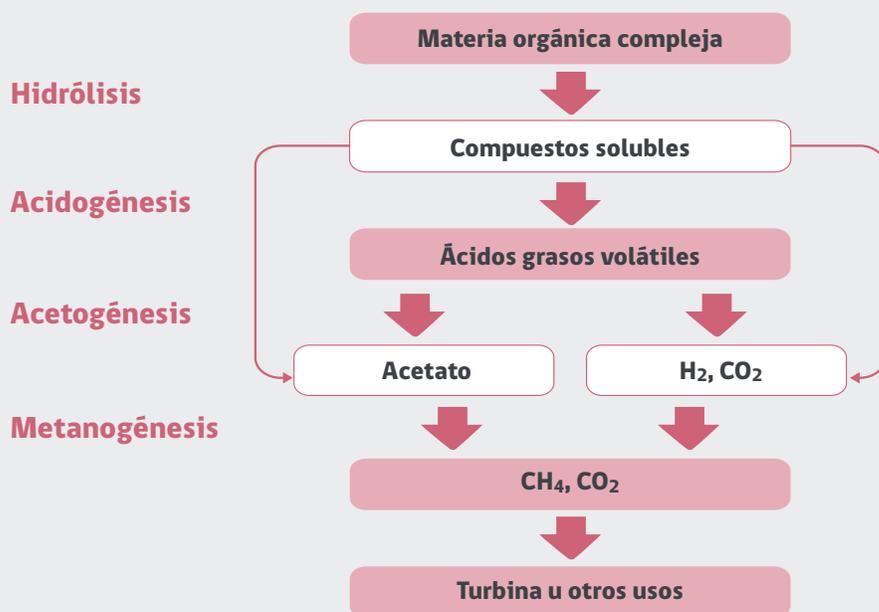


FIGURA 6: Fases del tratamiento anaerobio

Como se mencionó anteriormente, el principal producto de esta valorización es el biogás, sin embargo, otro subproducto de interés es el digestato, que es un material parcialmente degradado, rico en nutrientes y materia orgánica, y que puede ser utilizado de manera directa o pasar por un postratamiento (estanque de estabilización, compostaje, entre otros). Esto dependerá de la ausencia o baja de microorganismos patógenos, metales pesados, compuestos volátiles generadores de olores y cualquier otro elemento que pueda dañar el medio ambiente o la salud de las personas.

El digestato puede ser líquido (efluente del reactor) o sólido (sustrato con partículas sólidas de mayor tamaño que normalmente no se degradan ni sedimentan en el fondo de los reactores). Su aplicación como biofertilizante estará directamente relacionada con los análisis de caracterización del digestato posterior al proceso de biodigestión.

Dentro de los tratamientos realizados por digestión anaerobia, se pueden distinguir dos tipos: digestión húmeda y digestión seca. Se habla de digestión húmeda cuando en el interior del biodigestor hay más del 90% de agua (que puede ser mesófila o termófila), y de digestión seca (que también puede ser mesófila o termófila). La biodigestión seca es aquella que tiene al menos un 15% o más de sólidos totales.

Otro aspecto, según el cual se pueden clasificar las plantas de digestión anaerobia, es de acuerdo con el tipo de materia prima que se procesan y los requerimientos o exigencias a un proceso de higienización adicional, como por ejemplo, plantas agroindustriales (puede requerirse higienización por contener subproductos animales), plantas de RSU o plantas de fuentes mixtas.

Finalmente, se pueden separar las etapas de acidogénesis y metanogénesis en dos reactores diferentes o bien dejar que el proceso completo se desarrolle en un solo reactor, sea de tratamiento continuo o sea en batch secuenciales.

6.1 DIGESTIÓN ANAEROBIA TRADICIONAL

Por lo general, las plantas de biogás o metanogénicas, operan a concentraciones de sustrato inferiores al 15%, es decir, la cantidad de materia prima biodegradable disponible (azúcares simples y fermentables⁶) no supera el 15%, lo cual se conoce comúnmente como digestión anaerobia húmeda. Este proceso anaerobio se lleva a cabo a través de equipos llamados biodigestores, los cuales se diferencian por el tipo de funcionamiento como la finalidad del producto a obtener. Los biodigestores anaeróbicos son tecnologías extremadamente versátiles y multifuncionales, y su aplicación se diferencia principalmente por tres variables fundamentales: materia orgánica, producción de biogás y generación de lixiviados.

El sustrato (materia orgánica) puede venir de distintos orígenes, como residuos orgánicos domiciliarios, materiales mixtos y/o residuos de procesos productivos, entre otros. Por tanto, el biodigestor puede tener como objetivo principal el tratamiento de residuos orgánicos de manera exclusiva, así como para obtener energía dependiendo del sustrato.

Si bien la operación de la planta en condiciones húmedas es más utilizada, lleva consigo un alto consumo de agua lo cual afecta las condiciones medioambientales y por lo general puede elevar los costos del tratamiento ya que genera un digestato líquido a veces difícil de aprovechar.

Por otra parte, también es importante mencionar que dado el alto volumen de agua utilizado se requieren biorreactores de mayor tamaño de manera que se debe realizar una mayor inversión, repercutiendo en el impacto no sólo ambiental, sino que también económico.

De acuerdo con diferentes autores, los sistemas comerciales para digestión anaerobia por vías húmedas generalmente corresponden al modelo de tanque agitado y su diferencia fundamental procede en la forma de agitar. El sistema más utilizado es la agitación por recirculación de biogás, seguido de la agitación mecánica y de la recirculación de masa en digestión.



FOTOGRAFÍA 19: Biodigestor en Negrete, Región del Biobío

6. Ejemplo de ello: fructosa, sacarosa, lactosa, y otras que dependerán de su origen.

6.2 DIGESTIÓN ANAEROBIA SECA

Esta tecnología utiliza mayor cantidad de sólidos en sus procesos, es decir, la concentración de sólidos se encuentra entre el 15% al 40%, lo cual modifica notablemente las características hidrodinámicas del sistema. En términos operacionales deja de trabajar con masas fluidas como ocurre en la digestión húmeda y maneja materiales mucho más pastosos.

Los tiempos de residencia habituales son del orden de diez días, lo que obliga a inocular el reactor, que consiste en introducir microorganismos anaerobios activos presentes en las siguientes sustancias: Lodos digeridos de otras plantas anaerobias, estiércol animal fresco (especialmente de ganado rumiante) o digestato activo de otro reactor en funcionamiento. Con el grado de humedad de operación no es necesario deshidratar y se obvia el tratamiento del agua residual producida en la deshidratación de los sistemas de vía húmeda.

Ahora bien, en cuanto al proceso de digestión anaerobia seca se encuentran ciertas técnicas que han permitido el mejoramiento de este, entre las más destacadas se tienen la inoculación descrita anteriormente, la co-digestión (incorporación de más de un tipo de residuos para mejorar la digestión), pretratamiento (mecánico o térmico), y aditivos (incorporar sustancias que faciliten o mejoren la digestión).

6.3 PARÁMETROS DE CONTROL Y OPERACIÓN

En los digestores anaerobios los parámetros son controlados de manera continua por los propios equipos de manera electrónica. Los parámetros son los siguientes:

- La **temperatura** influye decisivamente en la cinética de los procesos y en particular en la tasa de difusión de sustratos y tasa de reacciones enzimáticas (Montalvo, 2003). Los procesos anaeróbicos son relativamente sensibles a cambios de temperatura o temperaturas fuera del rango óptimo, por lo cual se debe establecer el rango de temperatura de acuerdo con el tipo de proceso utilizado (por ejemplo: mesófilo o termófilo). En el caso de que sea necesario una higienización puede ser necesario un tratamiento especial, antes de entrar al proceso propiamente tal de al menos una (1) hora a 70°C. Los equipos utilizados para este tipo de tratamientos comúnmente cuentan con control de temperatura automatizados, dado que este parámetro afecta de manera decisiva en el proceso de fermentación (existen procesos que trabajan a temperaturas de entre 35 a 40°C y otros que superan los 50°C). En muchas ocasiones los digestores son calentados para mantener la actividad microbiana, sin embargo, existen procesos que deben enfriar las materias primas al ingreso del tratamiento debido a que su pre-tratamiento elevó la temperatura de la materia prima (ej: Pasteurización).
- La **humedad** define el proceso y biorreactor a utilizar para el tratamiento, es decir, se habla de tratamiento anaerobio húmedo cuando el porcentaje de sustrato es inferior al 15% y por el contrario se considera de digestión seca cuando la concentración de sólidos se encuentra bordeando el 40%.
- **Nutrientes:** Es recomendable que el proceso de digestión anaeróbica se realice con una combinación de materiales de manera tal, que la relación carbono/nitrógeno/fósforo (C:N:P) esté en una relación entre 100:5:1 hasta 200:5:1, expresados como el cociente entre el carbono orgánico total (COT), nitrógeno total Kjeldahl (NTK) y fósforo total (P_T). Frecuentemente, se considera una relación inicial C:N de 30:1 como óptima (Varnero, 2011).
- **pH:** El proceso de digestión anaeróbica se debe realizar en un rango de pH entre 6 y 8, siendo el óptimo entre 6,8 y 7,2. En la operación de una planta de digestión anaeróbica se debe evitar

la acidificación en el proceso de metanización mediante la generación de un efecto tampón o mediante la adición controlada de una base (como, por ejemplo, amoníaco) para aumentar o mantener la alcalinidad.

- Tóxicos e inhibidores:** Se debe controlar la presencia de sustancias tóxicas e inhibidoras que puedan afectar los procesos biológicos. En el caso de los procesos anaeróbicos, la inhibición más importante es la producida por amoníaco libre, que es tóxico para las bacterias metanogénicas, el cual se evita mediante el correcto balance de nutrientes y control de temperaturas. En el caso de que la materia prima sea rica en nitrógeno, se debe controlar el amoníaco libre, normalmente mediante descarga del digestato líquido y reemplazo por agua fresca. También se podría controlar mediante la incorporación de materias primas y sustratos pobres en nitrógeno. El efecto inhibitor depende de la concentración de amonio existente, de la temperatura y del valor del pH. Esto lleva a la consecuencia, confirmada en la práctica, de que los sistemas termófilos reaccionan más sensiblemente a las altas concentraciones de amonio que los sistemas mesófilos. En condiciones de largos periodos de adaptación (hasta un año), los microorganismos pueden adaptarse a concentraciones elevadas de amoníaco. Hasta la fecha, no hay conclusiones claras sobre dónde están los límites con respecto a la concentración de amoníaco, la carga volumétrica y el tiempo de retención. La adaptación requiere tiempo y está asociada a tasas de degradación fluctuantes.

A modo de resumen, a continuación, se presentan los principales parámetros de control para la digestión anaerobia.

TABLA 10: Resumen parámetros de control y operación digestión anaerobia

Amoníaco libre	Contenido de sólidos	Temperatura	Oxígeno	pH	Nutrientes (C:N:P)
<700 mg/L NH ₃ , pero depende de la temperatura y del pH	>15% 15% a 40%	32 a 42°C (mesófilo) 50 a 57°C (termófilo)	Ausente	6,8 a 7,5 (para mezcla completa)	100:5:1 a 200:5:1

En la práctica, el espectro de alternativas de supervisión abarca desde los diarios de operación hasta los sistemas de control y adquisición de datos totalmente automatizados. A medida que aumenta la automatización, también lo hace la disponibilidad del control de procesos y, por tanto, del sistema. En las instalaciones altamente automatizadas, la adquisición de datos y el buen funcionamiento están garantizados incluso los fines de semana y festivos. A medida que aumenta la automatización, la dependencia del personal operativo para el funcionamiento de la planta disminuye. En cuanto a las características del proceso, se observa que, a medida que aumenta el tamaño de las plantas de digestión anaerobia, también aumenta el número de parámetros del proceso que hay que controlar. A partir de cierto tamaño, la automatización de los procesos se hace inevitable.



7. IDENTIFICACIÓN Y PREVENCIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

Se deben tener en consideración principalmente los siguientes potenciales impactos negativos:

- Ruidos
- Atracción y presencia de vectores de interés sanitario
- Incendios
- Paso de lixiviados al subsuelo y mantos freáticos, contaminación de aguas superficiales
- Material particulado
- Emanación de olores molestos

Para evitar que los vecinos se vean afectados por este tipo de plantas, es fundamental garantizar que se cumplan las condiciones para la ubicación de las instalaciones de valorización de residuos orgánicos.

7.1 EVALUACIÓN DE IMPACTOS PARA LA CALIFICACIÓN CONFORME AL ARTÍCULO 4.14.2. DE LA OGUC

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) en su artículo 2.1.29. en su inciso quinto estipula que las instalaciones o edificaciones asociadas al uso de suelo infraestructura que contemplen un proceso de transformación deberán ser calificadas por la SEREMI de Salud respectiva, de conformidad a lo preceptuado en el artículo 4.14.2., esto en consideración a los riesgos que su funcionamiento pueda causar a sus trabajadores, vecindario y comunidad. Lo anterior aplica ciertamente a las instalaciones de valorización de residuos orgánicos -en tanto instalaciones correspondientes al uso de suelo infraestructura sanitaria- ya que estos consideran procesos de transformación de residuos a otro producto. Para estos efectos, la OGUC, en su artículo 4.14.2. dispone que estas instalaciones pueden ser calificadas de la siguiente manera:

- **Inofensiva:** Cuando no produzca daños ni molestias a la comunidad, personas o entorno, controlando y neutralizando los efectos del proceso productivos o de acopio, siempre dentro del propio predio e instalaciones, resultando este inocuo.
- **Molesta:** Cuando los procesos de tratamientos de insumos, fabricación o almacenamiento de materias primas o productos finales puedan ocasionalmente causar daños a la salud o a la propiedad, quedando normalmente circunscritos al predio de la propia instalación, o bien cuando pueda atraer insectos o roedores, producir ruidos o vibraciones, u otras consecuencias, causando con ello molestias que se prolonguen en cualquier período del día o de la noche.
- **Insalubre o contaminante:** Cuando por destinación o por las operaciones o procesos que en ellos se practican o por los elementos que se acopian, dan lugar a consecuencias tales como vertimientos, desprendimientos, emanaciones, trepidaciones, ruidos, que puedan llegar a alterar el equilibrio del medio ambiente por el uso desmedido de la naturaleza o por la incorporación a la biosfera de sustancias extrañas, que perjudican directa o indirectamente la salud humana y ocasionen daños a los recursos agrícolas, forestales, pecuarios, piscícolas u otros.
- **Peligrosa:** Cuando debido al alto riesgo potencial permanente y por la índole eminentemente peligrosa, explosiva o nociva de sus procesos, materias primas, productos intermedios o finales o acopio de estos, puedan llegar a causar daño de carácter catastrófico para la salud o la propiedad, en un radio que excede los límites del propio predio.

En este sentido, los IPT definirán en las áreas al interior del límite urbano, las normas urbanísticas que regulen el emplazamiento de las instalaciones o edificaciones necesarias para este tipo de uso, sin perjuicio del cumplimiento de las normas ambientales, de las normas de la Ley General de Urbanismo y Construcciones, de la OGUC y demás disposiciones pertinentes. Y así, la valorización de residuos orgánicos, entendida como uso de suelo Infraestructura sanitaria y, debido a que involucra un proceso de transformación, debe ser calificada por la SEREMI de Salud. Lo anterior debe realizarse vía trámite regular, ya que todas las obras de infraestructura sanitaria no están, a priori, consideradas de bajo riesgo. Sin perjuicio de lo anterior, las instalaciones barriales pueden ser calificadas como inofensivas y debe revisarse cada IPT y su uso de suelo designado para este tipo de actividad.

Manejo de residuos en general

TABLA 11: Criterios para la Calificación Industrial para la componente residuos no peligrosos y asimilables a domiciliarios (según MINSAL, 2020)

Inofensiva	Molesta	Peligrosa	Contaminante
Se verifican condiciones adecuadas y seguras de las operaciones de manejo de residuos. Se verifica control de puntos críticos de generación de olores, escurrimientos, derrames, proliferación de vectores de interés sanitario y riesgo de incendio.	A pesar de la implementación de medidas de control: <ul style="list-style-type: none"> La instalación generará olores que causen molestia a los vecinos, que se prolonguen en cualquier periodo del día o la noche (ver también punto siguiente) Por la cantidad o manejo de residuos, se propiciará la proliferación de vectores de interés sanitario, ocasionando molestias a los vecinos. El almacenamiento de materiales combustibles (residuos), cumple los criterios detallados en la segunda columna ("molesta") de la sección Carga Combustible. 	No aplica.	No aplica.

Incendios y carga combustible

Aquellas actividades que almacenen material combustible, en cantidades superiores a una (1) tonelada de madera por m², deberán acreditar un estudio de carga combustible, según lo estipulado en la OGUC.

Olores

Considerando que las instalaciones de valorización de residuos orgánicos puedan generar olores molestos hacia la comunidad, los titulares de estos proyectos deben presentar un informe técnico que incluya al menos los siguientes aspectos:

Identificación de las fuentes generadoras de olor de la actividad, incluyendo los puntos críticos de procesos o actividades;

- Periodos y frecuencias
- Medidas de control de olores contempladas
- Identificación de los receptores más cercanos

Los criterios para la calificación son los siguientes:

TABLA 12: Criterios para la Calificación Industrial para la componente olores

Inofensiva	Molesta	Peligrosa	Contaminante
Por la naturaleza de sus materias primas, procesos o actividades no presenta generación de olores.	A pesar de la implementación de medidas de control, la actividad generará olores que causen molestia a los vecinos, que se prolonguen en cualquier periodo del día o la noche.	No aplica.	No aplica.

Lo anterior, también en concordancia con el D.S. N°144, de 1961, del MINSAL, que Establece Normas para evitar Emanaciones o Contaminantes Atmosféricos de cualquier Naturaleza. Su finalidad es justamente demostrar que la instalación no emana malos olores que puedan impactar a receptores y que puedan generar molestias en la población.

Vectores de interés sanitario

En aquellas actividades que, por las características de los procesos productivos realizados, insumos, materias primas o residuos generados, propicien la proliferación de vectores de interés sanitario, se deberá entregar a la SEREMI de Salud un informe técnico que identifique puntos críticos y las medidas de control contempladas (de acuerdo con el D.S. 594, de 2000, del MINSAL, Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo).

TABLA 13: Criterios para la Calificación Industrial para la componente vectores de interés sanitario

Inofensiva	Molesta	Peligrosa	Contaminante
La naturaleza de las materias primas, procesos o actividades desarrolladas, no permitirá la proliferación de vectores de interés sanitario.	No obstante, se contemplan controles, por la naturaleza de las materias primas, procesos o actividades desarrolladas, es altamente probable que proliferen vectores de interés sanitario.	No aplica.	No aplica.

7.2 RUIDO

Algunas de las actividades que habitualmente se realizan en las etapas de construcción, operación y cierre de una instalación de valorización de residuos orgánicos, pueden generar emisiones de ruido, las que, en determinados casos, pueden traspasar los límites prediales y afectar a la comunidad cercana. Estas emisiones se encuentran reguladas por el D.S. N°38, de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente, norma que debe ser cumplida por todas las instalaciones de valorización.

En términos generales, en la operación de las plantas de compostaje se pueden identificar las siguientes actividades o unidades susceptibles de generar emisiones de ruido:

- Movimiento de vehículos de transporte de carga: asociados a la entrega de materia prima y retiro de producto terminado (camiones, camionetas u otros).
- Descarga, transporte interno y acondicionamiento de materia prima: operaciones realizadas previo al proceso de tratamiento, tales como, chipeado, harneo, mezcla de sustratos, entre otros.

- Proceso de compostaje: operaciones realizadas en el área de tratamiento como, por ejemplo, movimiento de materiales para formar las pilas, volteo de pilas mediante equipos móviles, aireación forzada mediante (cargador frontal, equipos electromecánicos, etc.).
- Unidades de apoyo: equipos complementarios o de apoyo del proceso de compostaje como, por ejemplo, grupos electrógenos de emergencia.

De acuerdo con lo anterior, las mayores emisiones de ruido normalmente estarán asociadas a la operación de plantas de valorización de residuos orgánicos de tamaños industriales. Sin embargo, pueden existir instalaciones de menor tamaño que, producto de su emplazamiento (contiguas a viviendas), puedan generar niveles de ruido significativos.

En cualquier caso, las instalaciones de valorización de residuos orgánicos deberán cumplir con los siguientes niveles máximos permisibles de presión sonora corregidos, según la zona en que se encuentren los receptores sensibles:

TABLA 14: Niveles máximos permisibles de presión sonora corregidos (según D.S. N°38 de 2011)

Zonas	de 7 a 21 horas	de 21 a 7 horas
Zona I: aquella zona definida en el IPT respectivo y ubicada dentro del límite urbano, que permite exclusivamente uso de suelo Residencial o bien este uso de suelo y alguno de los siguientes usos de suelo: Espacio Público y/o Área Verde.	55 dB(A)	45 dB(A)
Zona II: aquella zona definida en el IPT respectivo y ubicada dentro del límite urbano, que permite además de los usos de suelo de la Zona I, Equipamiento de cualquier escala.	60 dB(A)	45 dB(A)
Zona III: aquella zona definida en el IPT respectivo y ubicada dentro del límite urbano, que permite además de los usos de suelo de la Zona II, Actividades Productivas y/o de Infraestructura.	65 dB(A)	50 dB(A)
Zona IV: aquella zona definida en el IPT respectivo y ubicada dentro del límite urbano, que permite sólo usos de suelo de Actividades Productivas y/o de Infraestructura.	70 dB(A)	70 dB(A)

En el caso de plantas de compostaje que se emplacen en zonas rurales, se aplicará como nivel máximo permisible de presión sonora corregido, el menor valor entre:

- Nivel de ruido de fondo + 10 dB(A)
- NPC para Zona III de la tabla anterior.

Este criterio se aplicará tanto para el período diurno como nocturno, de forma separada.

7.3 ATRACCIÓN Y PRESENCIA DE VECTORES DE INTERÉS SANITARIO

La generación, atracción y presencia de diversos insectos y vectores de interés sanitario están relacionadas con la naturaleza putrefactible de los materiales orgánicos. Por lo anterior, es que las instalaciones deberán recibir el mantenimiento adecuado, estar limpias y en buenas condiciones sanitarias, además de libre de basura al final del día. Una de las maneras para evitar la presencia de vectores, tales como aves, es la rápida integración de los residuos con el material seco y su incorporación a las pilas, siendo posteriormente cubierto por material seco.

Los titulares deben informar a la SEREMI de Salud, las medidas para controlar impactos negativos en relación con vectores de interés sanitario, como, por ejemplo: protecciones contra aves en perchas, eliminación de nidos, etc.

La implementación de sistemas de control de vectores de interés sanitario (insectos, roedores, y otras plagas de interés sanitario), a través de un programa de control de plagas que incluya la implementación de un cordón sanitario alrededor de la instalación, mediante la desratización, sanitización y desinsectación de todas las instalaciones, estableciendo un plan periódico de trabajo efectuado por una empresa debidamente autorizada, permite un adecuado manejo de este tipo de impactos.

En caso de presencia de animales en alguna categoría de conservación muertos en las instalaciones deberá darse aviso al Servicio Agrícola y Ganadero (SAG).

No deben existir animales domésticos al interior de la planta.

7.4 INCENDIOS

El riesgo de incendios en plantas de tratamiento y valorización de residuos es real. A modo de ejemplo, en España, entre 2012 y 2017 se contabilizaron 262 incendios en este tipo de plantas, con una cifra negra no menor por no contar con estadísticas oficiales. Sin perjuicio de lo anterior, se constató una proliferación de incendios en plantas de gestión de residuos en este país, que algunos han calificado como alarmantes (FGE, 2018). Lo anterior no sólo afecta a plantas de reciclaje, sino también a instalaciones de valorización de residuos orgánicos, tales como plantas de compostaje.

INSST (2001) indica diferentes factores de riesgo u ocurrencias que puedan generar incendios en plantas de compostaje, tales como:

- Llegada de un camión con su carga encendida
- Incorrecta manipulación de los combustibles en las operaciones de abastecimiento de los vehículos
- Autoinflamación de un producto. En plantas de compostaje existe el riesgo de una autoinflamación biológica que se debe a las siguientes causas:
 - Presencia de astillas de madera triturada
 - Mayor contenido de finos, componentes fácilmente degradables, frecuentemente mezclas de residuos de madera con residuos verdes
 - Pilas de gran tamaño al aire libre
 - Periodos de almacenamiento prolongados junto con alternancia de fases secas y húmedas

De este modo, por ejemplo, para el acopio de material estructurante, se puede asumir un calor de combustión de 16,8 MJ/kg (madera seca), lo que alcanzaría las siguientes densidades de carga combustible puntuales y máximas, si se considera las siguientes cantidades almacenadas:

- Densidad carga combustible mayor a 8.000 MJ/m²: más de 475 kg de material estructurante por m²
- Densidad carga combustible mayor a 16.000 MJ/m²: más de 950 kg de material estructurante por m²

En el caso del material estructurante, la densidad aparente puede variar ampliamente, pero para

efectos de cálculo puede considerarse dentro del margen de 120 a 280 kg por m³, con lo cual se alcanzaría una densidad de carga combustible de 8.000 MJ/m² en pilas de material estructurante de alrededor de dos a cuatro metros.

Generalmente no debiese existir riesgo de explosión en plantas de compostaje, debido al contenido de humedad y ausencia de material fino en polvo que pueda generar un ambiente explosivo. Sin perjuicio de lo anterior, no se puede descartar dicho riesgo en todas las instalaciones de valorización de residuos orgánicos, sobre todo aquellos que consideran procesos anaerobios, ya que la presencia de metano generado por los residuos en descomposición puede provocar su deflagración.

En todo caso, toda instalación deberá cumplir con las normas mínimas de seguridad contra incendio contenidas en la OGUC (ver Anexo C).

7.5 MATERIAL PARTICULADO

La generación de material particulado en instalaciones de compostaje es un aspecto que debe gestionarse adecuadamente. Para ello, las plantas deben contar con un plan para minimizar estas emisiones y evitar su impacto ambiental.

Como medida general, se sugiere mantener una humedad adecuada para minimizar la emisión de material particulado durante todo el proceso. Las emisiones asociadas a la manipulación del material destinado a compostaje aumentan a medida que disminuye su contenido de humedad. También se debe tener en cuenta el mantenimiento de la limpieza del sitio para reducir la generación de polvo.

Las operaciones que generan material particulado son las siguientes:

- **Transporte de material:** las vías de circulación deben mantenerse en condiciones apropiadas. También se deben implementar medidas de control, como cubrir los residuos durante el transporte.
- **Volteos:** se pueden considerar máquinas volteadoras equipadas con sistemas de humectación que minimicen las emisiones.
- **Cribado:** el cribado final del compost probablemente sea la mayor fuente de material particulado, ya que en este punto el contenido de humedad es mínimo. En el mercado también existen cribas que incorporan sistemas de pulverización de agua para minimizar las emisiones de polvo.

La literatura técnica sobre factores de emisión en plantas de compostaje es escasa. Por lo general, se hace referencia a la sección 11.19.2 de las AP-42 de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos, específicamente para la descarga de material. Entonces, el factor propuesto corresponde a 0,0005 kg/ton (masa húmeda), pero se clasifica como de mala calidad. (Maricopa, 2016)

7.6 EMANACIÓN DE OLORES MOLESTOS

La emanación de olores es una externalidad común de las instalaciones de valorización de residuos orgánicos. El principal problema de las plantas de compostaje son los olores provocados por la emisión al ambiente de compuestos orgánicos volátiles (COV). Esta emisión se puede iniciar con la recepción de los residuos en la planta y sobre todo en las fases iniciales del proceso. Por otra parte, en el caso de producirse condiciones anaerobias de los residuos a compostar, debido a una incompleta o insuficiente aireación, se producirán compuestos azufrados de olor intenso, tales como ácido sulfhídrico, metanotiol, sulfuro de dimetilo y disulfuro de dimetilo; mientras que en

una degradación aeróbica incompleta resultará la emisión de gases odoríficos tales como alcoholes, cetonas, ésteres y ácidos orgánicos; por otro lado, un balance de nutrientes equivocado puede dar lugar a emisiones de COV y amoníaco. (INSST, 2001)

De este modo, se pueden diferenciar principalmente tres fases en el proceso de compostaje.

TABLA 15: Fases del proceso de compostaje y sustancias odoríficas asociadas
(según Bidlingmaier, 1997)

Fase	Sustancias odoríficas características	Carácter	Concentración (UO/m ³)	Duración (días)	pH
Fase ácida inicial	Aldehídos, alcoholes, ésteres de ácidos carboxílicos, cetonas, sulfitos, terpenos.	Alcohólico-frutal	6.000 a 25.000	3 a 14	4,3 a 6,0
Fase termófila	Cetonas, compuestos organosulfurados, terpenos, amoníaco.	Dulce-mohos, rancio	1.000 a 9.000	4 a 14	Casi alcalino
Enfriamiento	Sulfitos, terpenos, amoníaco.	Rancio-mohos, acre	150 a 3.000	Hasta el final	-

Existen varias formas de controlar las emisiones de olor, principalmente relacionadas con la operación de la planta (ver capítulo 3), como, por ejemplo:

- Minimizar el tiempo de permanencia de la materia prima en el área de recepción.
- Contemplar la incorporación de suficiente cantidad de material estructurante.
- Controlar una adecuada relación entre carbono y nitrógeno (C:N).
- Asegurar condiciones aerobias en el proceso mediante la incorporación de oxígeno a través de sistemas de aireación.
- Proveer condiciones de humedad adecuadas para el proceso.

En términos generales, una instalación de compostaje deberá considerar para su ubicación la velocidad y la dirección del viento predominante disponible en la zona y las áreas de influencia que existan en sus alrededores, de manera de no trasladar malos olores a población aledaña.

En caso de considerar el almacenamiento de lixiviados en lagunas, estas deberán ser diseñadas y operadas de tal manera de minimizar la generación de olores y, en el caso de ser necesario, deberán estar provistas de sistemas eficaces en el control de olores molestos. Asimismo, el almacenamiento del compost final deberá realizarse de manera tal que se evite la generación de olores.

Las instalaciones de las categorías A y B que manejen residuos orgánicos clase 2, 3 y/o 4, deberán presentar, a la SEREMI de Salud, un estudio de impacto odorante, de acuerdo con la Guía para la Predicción y Evaluación de Impactos por Olor del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA, 2017) y elaborar un Plan de Gestión de Olores, de acuerdo con lo establecido en el Instructivo para la Elaboración de un Plan de Gestión de Olores (PGO, ver Anexo E.2) del Ministerio del Medio Ambiente

(MMA, 2020). El resto de las instalaciones deberán establecer barreras vegetativas o cualquier otro mecanismo para minimizar la dispersión de olores molestos y contar con un plan para manejar atender los mismos.

7.7 RESUMEN DE PREVENCIÓN DE POTENCIALES IMPACTOS

7.7.1 INSTALACIONES BARRIALES

Para evitar generar impactos y molestias en su entorno, las instalaciones barriales debieran considerar a lo menos lo siguiente:

TABLA 16: Requisitos mínimos para la gestión de impactos ambientales en instalaciones barriales

Impactos	Medidas
Calificación de acuerdo con el artículo 4.14.2. de la OGUC	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Solicitada por el municipio.
Ruidos	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Trabajo solo en horas hábiles.
Vectores	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Cubrir adecuadamente el material orgánico con material seco, sin que queden restos a la vista. ▸ Retirar restos de comida fresca, voltear y cubrir. ▸ Poner cebos en los alrededores de la instalación.
Incendios	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Material seco (café) acumulado de manera independiente.
Gestión de olores	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Volteo y adición de material seco en caso de presencia de olores.



7.7.2 INSTALACIONES DE TAMAÑO INDUSTRIAL

Para la gestión de los impactos ambientales asociados a las distintas instalaciones de tamaño industrial (Categorías A, B y C) se deberá considerar lo señalado en la siguiente tabla:

TABLA 17: Requisitos mínimos para la gestión de impactos ambientales en instalaciones de tamaño industrial

Impactos	Categoría A (m)	Categoría B (m)	Categoría C (m)
Calificación de acuerdo con el artículo 4.14.2. de la OGUC	Sí.		Sí.
Ruidos	<ul style="list-style-type: none"> • Línea de base de ruidos. • Plan de mitigación de ruidos, según corresponda. • Control y horario de movimiento de vehículos y maquinarias. 		<ul style="list-style-type: none"> • Control y horario de movimiento de vehículos y maquinarias.
Vectores	<ul style="list-style-type: none"> • Plan de control de vectores sanitarios. • Los residuos orgánicos clase 2, 3 y 4 deben ser procesados en un plazo de tiempo que evite la presencia de vectores. • Los residuos orgánicos clase 2, 3 y 4 deben ser incorporados al proceso de compostaje dentro de las 24 horas luego de ser recolectados o ser dispuestos en contenedores cerrados. 		
Incendios	<ul style="list-style-type: none"> • Descripción del sistema de control de incendios. 		
Material particulado	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento preventivo de maquinarias y vehículos. • Límite de velocidad en el tránsito por caminos internos de tierra. • Volteo del material en húmedo. 		
Gestión de olores	<ul style="list-style-type: none"> • Plan de Gestión de Olores. • En caso de residuos clase 2, 3 y 4, deberán presentar, a la SEREMI de Salud, un estudio de impacto odorante, de acuerdo con la Guía para la Predicción y Evaluación de Impactos por Olor del SEA. • En caso de residuos clase 1, deberán establecer barreras vegetativas u otro similar. 		<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de barreras vegetativas. • Volteo y adición de material seco en caso de presencia de olores.



8. REQUISITOS DE CALIDAD Y SEGURIDAD DEL COMPOST Y DIRECTRICES PARA SU ADECUADO USO

El compost producido en una planta de compostaje, en instalaciones de compostaje barrial, comunitario o individual tiene una serie de aplicaciones, como abono o tierra húmeda. Incluso existen campos de aplicación técnicos: Agricultura, Silvicultura, Reforestación, Mantenimiento de parques y jardines, Paisajismo, Material de relleno en biofiltros para tratamiento de aire, o Cobertura diaria y rehabilitación de sitios de disposición final de residuos.

La utilización de compost como mejorador de suelos o enmienda orgánica en suelos agrícolas ha ganado relevancia en las últimas décadas debido a sus múltiples beneficios ambientales y agronómicos. El compost ofrece numerosos beneficios tanto para el suelo como para las plantas:

- **Mejora de la estructura del suelo:** El compost aumenta la porosidad y la capacidad de retención de agua del suelo, mejorando su estructura y facilitando el crecimiento radicular.
- **Enriquecimiento nutricional:** Proporciona macro y micronutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, y magnesio, esenciales para el desarrollo vegetal.
- **Incremento de la actividad microbiana:** Favorece la proliferación de microorganismos beneficiosos que mejoran la salud del suelo y la disponibilidad de nutrientes.
- **Reducción de la erosión:** Al mejorar la estructura del suelo y su capacidad de retención de agua, el compost ayuda a reducir la erosión hídrica y eólica.
- **Control de enfermedades:** Algunos compost contienen microorganismos antagonistas que pueden ayudar a controlar enfermedades del suelo.

8.1 MÉTODOS DE APLICACIÓN Y DOSIFICACIÓN DE COMPOST

La aplicación de compost al suelo puede realizarse mediante diferentes métodos, dependiendo del tipo de cultivo, las condiciones del suelo y los recursos disponibles. Los métodos más comunes incluyen:

- **Incorporación al suelo:** Este método consiste en mezclar el compost con el suelo mediante labores de arado o roturado. Es ideal para cultivos de campo abierto.
- **Aplicación en superficie:** El compost se distribuye uniformemente sobre la superficie del suelo, sin ser incorporado. Es común en jardines y huertos urbanos.
- **Bandejas de cultivo:** Para cultivos en invernadero o contenedores, el compost puede ser mezclado con el sustrato de cultivo.
- **Mulching:** Consiste en aplicar una capa de compost sobre el suelo alrededor de las plantas, actuando como cobertura protectora que conserva la humedad y reduce las malas hierbas.

Dosificación y consideraciones prácticas

La dosificación adecuada del compost es crucial para maximizar sus beneficios y evitar problemas de salinidad o fitotoxicidad. A continuación, se presentan algunos aspectos que se deben considerar:

- **Análisis del compost:** Realizar un análisis de laboratorio para determinar su contenido de nutrientes y salinidad, y ajustar la dosis en función de los requerimientos del cultivo y la condición del suelo.

- **Tasa de aplicación:** La tasa de aplicación típica depende de la fertilidad del suelo, el tipo de cultivo y el objetivo de la aplicación (mejora de suelo, nutrición, etc.).
- **Frecuencia de aplicación:** Es recomendable aplicar compost en intervalos regulares (anualmente o cada dos años) para mantener y mejorar la salud del suelo a largo plazo.
- **Época de aplicación:** Preferentemente en períodos de poca actividad biológica (otoño o invierno) para permitir la descomposición y mineralización gradual de los nutrientes.

A continuación, se presentan algunas recomendaciones de uso de compost según aplicación:

TABLA 18: Uso de compost en agricultura (según Röben, 2002)

Aplicación	Objetivo	Tasa de aplicación	Frecuencia de aplicación	Forma de aplicación
Preparación del terreno	Mejorar la calidad de la tierra	< 15 kg/m ²	Aplicación única	Incorporar el compost de manera profunda
Cultivo de papas, zanahoria, legumbres y plantas similares	Mejorar la tierra	3 a 5 kg/m ²	Bienal	Mezcla superficial del compost con la tierra
	Uso como abono	3 a 6 kg/m ²	Anual	
Trigo, avena, cebada, centeno, maíz	Mejorar la tierra y uso como abono	2 a 4 kg/m ²	Bienal	Mezcla superficial del compost con la tierra
Pasto, pradera	Mejorar la tierra	3 a 6 kg/m ²	Bienal	Dispersar el compost sobre la superficie

TABLA 19: Uso de compost para horticultura, silvicultura y en paisajismo (según Röben, 2002)

Aplicación	Tasa de aplicación	Frecuencia de aplicación
Viveros	10 a 14 m ³ /ha	Bienal
Cultivo de árboles frutales	10 a 14 m ³ /ha	Trienal
Paisajismo ⁷	500 a 700 m ³ /ha	Aplicación única
Mantenimiento de césped	10 a 14 m ³ /ha	Anual
Mantenimiento de campos de deporte	25 a 35 m ³ /ha	Anual
Floricultura	6 a 8,5 m ³ /ha	Anual

⁷ En caso de espacio públicos, se puede utilizar asimismo, los señalados en MINVU (2017).

TABLA 20: Uso de compost para hortalizas (según Röben, 2002)

Tipo de hortaliza	Tasa de aplicación	Época de aplicación
Col	500 g/planta	Trasplante
Cilantro	5 kg/m ²	Siembra
Tomate	750 g/planta	Trasplante y en floración
Zanahoria	5 kg/m ²	Siembra
Cebolla	250 g/planta	Siembra
Pepino	1.000 g/planta	Siembra

8.2 REQUISITOS DE CALIDAD Y SEGURIDAD DEL COMPOST

Aquellas instalaciones de compostaje que distribuyan o vendan el compost generado deberán cumplir los requisitos de seguridad establecidos en el Reglamento. El compost que no cumpla con dichos requisitos de seguridad deberá ser reintroducido al proceso de compostaje o ser dispuesto en un relleno sanitario o de seguridad, dependiendo de la clasificación de este.

El compost final no podrá contener objetos filosos y el contenido de impurezas como vidrio, plásticos rígidos y metales, no deberá exceder del 0,5% en base seca. En el caso de plásticos flexibles, el porcentaje máximo no deberá exceder de 1%.

Adicionalmente, el compost no podrá exceder el contenido máximo de metales pesados que se indica en la tabla siguiente, pudiendo establecerse mayores restricciones por parte de la Autoridad Agrícola, dependiendo del tipo de uso al que esté destinado. Sin perjuicio de lo anterior, en ningún caso la aplicación de compost en suelos podrá deteriorar la calidad natural de éstos:

TABLA 21: Límites de concentración de metal pesado permitidos en el compost

Metal pesado	Límites de concentración (mg/kg de materia seca)
Arsénico	30,0
Cadmio	3,0
Cobre	400,0
Níquel	80,0
Plomo	200,0
Zinc	1.000,0
Mercurio	2,5
Cromo (total)	300,0

El compost que se comercialice deberá cumplir con las siguientes especificaciones microbiológicas, que aseguren su adecuada higienización:

TABLA 22: Especificaciones microbiológicas para compost

Microorganismos	Valor máximo permisible
Coliformes fecales	< 1000 NMP/g (en base seca)
<i>Salmonella sp.</i>	Ausente en 25 g (en base seca)
Huevos de Helmintos viables	<1 en 4 g (en base seca)

El análisis de huevos de Helmintos viables sólo será exigible en aquellos casos en que en el proceso de compostaje se adicione residuos de procedencia animal.

8.3 PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS

Para el muestreo y análisis de metales pesados y microorganismos se deberán seguir los procedimientos regulados por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), a través de la Resolución dictada para tales efectos o aquella que la modifique o la reemplace. Las instalaciones deberán realizar análisis del compost antes de ser utilizado o retirado de la instalación, para asegurar que cumplen lo establecido en el Reglamento.

8.4 COMERCIALIZACIÓN COMO FERTILIZANTE O ENMIENDA

El compost que se comercialice o utilice como fertilizante o enmienda deberá cumplir con los requisitos que le sean aplicables de conformidad con las normas dictadas por el Ministerio de Agricultura y/o SAG para estos efectos.

Específicamente se debe tener en consideración la Ley N°21.349 que establece normas sobre composición, etiquetado y comercialización de los fertilizantes y bioestimulantes. Dicha ley establece normas aplicables a la fabricación, formulación, producción, comercialización, tenencia de fertilizantes, entre otros aspectos; específicamente en cuanto a parámetros de calidad, composición, clasificación, envasado, declaración, etiquetado y trazabilidad. Adicionalmente se debe tener en consideración el Decreto N°61, del 2023, del Ministerio de Agricultura, que aprueba el reglamento de la Ley N°21.349.

El SAG es el ente encargado de fiscalizar y velar por el cumplimiento de esta ley, su reglamento y demás disposiciones complementarias, y adoptar las medidas necesarias para su aplicación. De este modo, el SAG, mediante resolución fundada, deberá restringir o prohibir la fabricación, formulación, producción, distribución, tenencia y comercialización de fertilizantes que constituyan un riesgo para la salud humana, animal o sanidad vegetal, debiendo mantener un archivo público y actualizado con el detalle de los fertilizantes prohibidos y restringidos.

Adicionalmente, la ley establece que habrá un Registro Único Nacional, en el que deberán inscribirse los productores, fabricantes, formuladores, comercializadores, envasadores de fertilizantes, y aquellas personas que en el ejercicio de su actividad los utilicen para fines distintos al uso agrícola, de acuerdo con las condiciones y requisitos establecidos en el reglamento.

En materia de composición y etiquetado, la ley y su reglamento dispone que los fertilizantes envasados deberán informar en sus etiquetas la composición centesimal de los elementos nutrientes, cuando corresponda, u otros componentes, impurezas o contaminantes, como también los parámetros de calidad de su contenido, y su forma idónea de uso. En especial, deberán señalar la solubilidad del compuesto y granulometría, según corresponda, el origen y fabricante, la fecha de fabricación o producción en el país y el lote del producto.

En el caso de mezclas hechas por el fabricante, productor o importador, la etiqueta deberá indicar los parámetros de calidad particulares de cada uno de los fertilizantes que las componen. Tratándose de fertilizantes comercializados a granel, cualquiera sea su composición o estado, esta información deberá adjuntarse a la boleta, factura o guía de despacho de dichos productos; si no fuese posible contenerlo en ellos, se deberá disponer en un folleto separado que acompañe a esta documentación.

Para todos estos casos, la ley establece que ciertas materias deberán ser normadas por el SAG. Tratándose de fertilizantes y bioestimulantes autorizados por el Servicio para su uso en agricultura orgánica, deberá indicarse en su etiqueta dicha condición.

Para la verificación de la composición y parámetros de calidad de los fertilizantes, el SAG regulará el procedimiento de toma de muestras y análisis mediante resolución.

9. BIBLIOGRAFÍA

Referencias bibliográficas

ARC (2016)	Agencia de Residuos de Cataluña. Guía práctica para el Diseño y la Explotación de Plantas de Compostaje. Primera edición. Barcelona. España. Noviembre de 2016.
Bidlingmaier (1997)	Bidlingmaier, W. (ed.). Odour Emissions from compost plants - Dimensioning values for enclosed and open plants. ISBN 3-930894-11-4. Alemania. Abril de 1997.
BS Consultores (2015)	BS Consultores. Servicio de Recopilación y Sistematización de Factores de Emisión al Aire para el Servicio de Evaluación Ambiental. Informe Final Mayo de 2015. Santiago de Chile. Mayo de 2015.
DGA (2004)	Dirección General de Aguas. Manual para la Aplicación del Concepto de Vulnerabilidad de Acuíferos establecido en la Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas. D.S. N°46 de 2002. S.D.T. N°70. Santiago de Chile. 2004.
FAO (2003)	Food and Agriculture Organization of the United Nations. on-Farm Composting Methods. Roma - Italia. 2003.
FAO (2013)	Román, P.; Martínez M., Pantoja, A. Manual de Compostaje del Agricultor - Experiencia en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Santiago de Chile. 2013.
FGE (2018)	Fiscalía General del Estado - Medio Ambiente y Urbanismo. Memoria 2018 Medio Ambiente, Urbanismo. España. 2018.
Hauser (2000)	Hauser, A. Remociones en masa. Boletín N°59. SERNAGEOMIN. Chile. 2000.
INFOMIL (2004)	Ministerie van Infrastructuur en Milieu - INFOMIL. NeR NederlandseEmissieRichtlijn. (Netherlands Emissions Guideline). Abril 2000 (con actualizaciones a abril 2004). Reino de los Países Bajos. 2004.
INSST (2001)	Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo - Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España. Nota Técnica de Prevención NTP 597: Plantas de compostaje para el tratamiento de residuos: riesgos higiénicos. España. 2001.
Lebensministerium (2005)	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (ed.). Stand der Technik der Kompostierung - Grundlagenstudie. Austria. 2005.
Maricopa (2016)	Arizona State University. Ozone Precursor, Particulate Matter and Particulate Matter Precursor Emissions from Composting Operations. A literature review and estimates report prepared for Maricopa County Air Quality Department. Maricopa County. EE.UU. Enero del 2016.
MINSAL (2020)	Subsecretaría de Salud Pública - División de Políticas Públicas Saludables Promoción - Departamento de Salud Ambiental - Ministerio de Salud. Circular N°B32/04 Instruye a las SEREMI de Salud del País, Criterios Técnicos para la Calificación de Actividades Productivas e Infraestructura. Santiago de Chile. 2 de abril de 2020.
MINSAL (2022)	Ministerio de Salud. D.S. N°40 Aprueba Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Básicas para la Reutilización de Aguas Grises. Santiago de Chile. 20 de abril de 2022.
MINSAL (2024)	Subsecretaría de Salud Pública - División de Políticas Públicas Saludables Promoción - Departamento de Salud Ambiental - Ministerio de Salud. Propuesta de Reglamento sobre Manejo Sanitario de las Instalaciones de Valorización de Residuos Orgánicos, Aprobado por el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad. Santiago de Chile. 2024.
MINVU (2017)	Ministerio de Vivienda y Urbanismo - División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional. Manual técnico de construcción y requisitos mínimos para parques, plazas, áreas verdes y áreas deportivas. Santiago de Chile. 2017.
MITECO (2023)	Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Sistemas de Tratamiento: Valorización y Reciclaje de Material. Madrid. España. 2023.
MMA (2019)	Ministerio del Medio Ambiente. Guía de Compostaje Domiciliario: Cómo combatir el Cambio Climático a través del reciclaje de residuos orgánicos. Santiago de Chile. 2019.

MMA (2020)	Ministerio del Medio Ambiente. Instructivo para la Elaboración de un Plan de Gestión de Olores (PGO). Santiago de Chile. 2020.
MMA (2021)	Ministerio del Medio Ambiente. Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos Chile 2040. Santiago de Chile. 2021.
Montalvo (2003)	Montalvo S. y Guerrero L. Tratamiento Anaerobio de Residuos. Valparaíso. Chile. 2003.
MOP (2011)	Ministerio de Obras Públicas. Estudio Básico Catastro Georreferenciado de Riesgos y Peligros Naturales en la Red Vial. Informe Final. Santiago de Chile. 2011.
Reciclo Orgánicos (2021)	Aguilera, D.; Canales, G.; Chandrasekar, A.; Fernández, D.; Márquez, M.; Ribadeneira, S.; Salvo, P.; van der Werf, P. Manual de Compostaje - Una herramienta para combatir el Cambio Climático. Programa Reciclo Orgánicos del Ministerio del Medio Ambiente. Santiago de Chile. 2021.
Röben (2002)	Röben, E. Manual de Compostaje para Municipios. DED/Ilustre Municipalidad de Loja. Ecuador. 2002.
Santibañez (2015)	Santibañez, I. et al. Fallas Corticales en Chile y sus implicaciones en la evaluación del Peligro Sísmico. XI Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Sísmica. ACHISINA 2015, 18 al 29 de marzo. Santiago de Chile. 2015.
SEA (2017)	Servicio de Evaluación Ambiental. Guía para la Predicción y Evaluación de Impactos por Olor en el SEIA. Aprobada por la Resolución Exenta N°1438, del 19 de diciembre de 2017, de la Dirección Ejecutiva del Servicio de Evaluación Ambiental. Santiago de Chile. 2017.
SEA (2023)	Servicio de Evaluación Ambiental. Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA. Aprobada por la Resolución Exenta N°202399101159, de fecha 28 de febrero de 2023, de la Dirección Ejecutiva del Servicio de Evaluación Ambiental. Santiago de Chile. 2023.
Sironi (2006)	Sironi, S.; Capelli, L.; Céntola, P.; Del Rosso, R.; Il Grande, M. Odour emission factors for the prediction of odour emissions from plants for the mechanical and biological treatment of MSW. Atmospheric Environment, 40(39), 7632-7643. 2006.
Varnero (2011)	Varnero, M.-T. Manual de Biogás. Editado por Proyecto CHI/00/G32 "Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables". Ministerio de Energía, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Global Environment Facility. Santiago de Chile. 2011.
VDI (2021)	Verein Deutscher Ingenieure. VDI 3475 Part 7 Odour emission factors for biological waste treatment. Düsseldorf. Alemania. Mayo 2021.
Otros documentos	
Huertos de Madrid (2018)	Compostaje Comunitario - Un beneficio para la ciudad. Guía desarrollada bajo la coordinación del Departamento de Educación Ambiental. Madrid. España. 2018.
Ihobe (2019)	Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial y Vivienda del Gobierno Vasco. Guía práctica para el compostaje comunitario en el País Vasco. Bilbao. España. 2019.
Leficura y Milanés (2021)	Leficura, M. y Milanés, N. Guía de Compostaje Domiciliario. Universidad de La Frontera. Temuco. Chile. 2021.
MINENERGIA/GIZ (2012)	Guía de Planificación para Proyectos de Biogás en Chile. Proyecto Energías Renovables No Convencionales (MINENERGÍA/GIZ). Santiago de Chile. 2012.
MMA (2023)	Guía destinada a Funcionarios Públicos, para la Postulación de Iniciativas de Valorización de Residuos Orgánicos. Santiago de Chile. 2023.
Reciclo Orgánicos (2019)	Guía de Compostaje Domiciliario. Programa Reciclo Orgánicos del Ministerio del Medio Ambiente. Santiago de Chile. 2019.
Reciclo Orgánicos (2022)	Manual para Municipios sobre Compostaje y Vermicompostaje a Nivel Domiciliario. Programa Reciclo Orgánicos del Ministerio del Medio Ambiente. Santiago de Chile. 2022.

B. TABLAS SUSTRATOS Y RELACIÓN C:N

Material	Relación C:N (según Lebensministerium, 2005; FAO, 2013)
Lodos, estiércol animal y mezclas de estiércol y orgánicos biodegradables de camas de animales	
Estiércol de gallina	7:1 a 10:1
Gallinaza (con paja)	13:1 a 18:1
Estiércol de vacuno	20:1 a 25:1
Estiércol de vacuno (con paja)	30:1
Estiércol de caballo	25:1
Estiércol de ovino/caprino	32:1
Purín de cerdo	5:1 a 25:1
Residuos vegetales	
Residuos de verduras	10:1 a 20:1
Restos de comida	12:1 a 20:1
Fruta	35:1
Restos de fruta	15:1 a 25:1
Residuos de cocina	14:1 a 23:1
Restos de flores y plantas	20:1 a 60:1
Residuos de papel	120:1 a 170:1
Papel/cartón	200:1 a 500:1
Residuos de jardín y paisajismo	
Pasto	12:1 a 25:1
Restos de plantas de huertas	20:1 a 60:1
Rastrojos de papa	25:1
Hojas	30:1 a 60:1
Paja de trigo	100:1
Paja de avena	60:1
Paja de cebada/legumbres	40:1 a 50:1
Corteza	100:1 a 130:1
Podas, ramas, troncos y tocones de árboles chipiados	100:1 a 150:1
Aserrín, virutas, recortes de madera	100:1 a 500:1

Cálculo de C:N de una mezcla

Los residuos que son tratados en una planta de compostaje muchas veces vienen mezclados ya sea por la forma de recolección o por su procedencia. Por esta razón, es fundamental determinar la proporción de carbono y nitrógeno para poder iniciar el proceso. Existen dos formas de determinar esta relación: una es a través de análisis de laboratorio (por ejemplo, determinación del carbono mediante combustión y análisis del nitrógeno Kjeldahl), y la otra es de manera teórica.

Un ejemplo de esto último es el caso de los residuos provenientes de ferias libres, entre los que se encuentran:

- Residuos secos o "café": Cartón y papel, cajas de huevo, cáscaras de frutos secos, hojas secas de plantas, raíces de algunas plantas.
- Residuos frescos o "verdes": Restos de frutas y verduras frescas (manzanas, duraznos, plátanos, etc.), hojas verdes (hojas de choclo, lechuga, otros), Restos de hierbas frescas.

Un acercamiento a la composición de los residuos generados por Ferias Libres sería:

- Residuos orgánicos: 50% a 70%
- Residuos Inorgánicos (Vidrios, plásticos, cartón y papeles, metálicos) 10% a 40%
- Residuos peligrosos o especiales: Menos del 1%

Dentro de los residuos orgánicos podríamos decir que alrededor del 60% corresponde a de restos de frutas y verduras frescas (con una relación C:N de 15:1) y un 40% de materiales secos (con una relación C:N de 45:1). Cabe señalar que estos porcentajes varían según la región, época del año y las prácticas de manejo de residuos en cada comuna o feria.

Una vez definida la composición se calcula la relación C:N promedio ponderada de la mezcla de residuos utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Relación } \frac{C}{N} \text{ mezcla} = \frac{(\%R1 * \text{Relación } \frac{C}{N} R1 + \%R2 * \text{Relación } \frac{C}{N} R2 + \dots + \%Rn * \text{Relación } \frac{C}{N} Rn)}{\%R1 + \%R2 + \dots + \%Rn}$$

Considerando los datos descritos anteriormente, podemos llegar a la siguiente relación:

$$\text{Relación } \frac{C}{N} \text{ mezcla} = \left(\frac{(60\% * 15 + 40\% * 45)}{60 + 40} \right)$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} \text{ mezcla} = 27:1$$

La relación C:N adecuada para el compostaje está entre 25:1 y 50:1, la mezcla de ferias libres tendría una relación óptima para el proceso, no obstante, si quisiéramos mejorar dicha relación podríamos incorporar residuos secos o estructurante, para aumentar la cantidad de carbono presente en la mezcla.

TABLA B.1: Características de residuos utilizados (relación C:N) para plantas barriales

Residuos húmedos (verdes) Materiales ricos en Nitrógeno	Residuos secos (café) Materiales ricos en Carbono
Residuos verdes de ferias libres y mercados: tales como hortalizas, frutas y semillas (cítricos en poca cantidad, para evitar la acidificación del compost).	Restos de poda, hojas secas, troncos, material chipiado de árboles.
Cáscara de huevo, lavadas sin resto de huevo.	Cenizas en poca cantidad para evitar la alcalinización del compost. No de cigarrillo ni de madera tratada.
Borra y residuos de té y café.	Papeles y cartones sin tintas.
Residuos de jardín húmedos (pasto, hojas y plantas).	Fósforos usados, utensilios de cocina de madera. Aserrín, virutas, recortes de madera.

C. CRITERIOS PARA LA LOCALIZACIÓN DE INSTALACIONES

C.1 RELACIÓN CON INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL

La normativa chilena proporciona una serie de restricciones y orientaciones para la instalación de este tipo de proyectos, armonizando su localización con los instrumentos de ordenamiento territorial (IOT) -esto es con los Planes Regionales de Ordenamiento Territorial (PROT), y las Zonificaciones de Uso del Borde Costero (ZUBC)-; y los instrumentos de planificación territorial (IPT) -esto es planes reguladores de nivel intercomunal y de nivel comunal-, la Ley General de Urbanismo y Construcción (LGUC) y su Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC). En este sentido, corresponde promover los mecanismos que favorezcan la compatibilidad territorial entre instalaciones de gestión de residuos y el resguardo de la salud, calidad de vida de las personas, y el estado de los ecosistemas (Directriz 3.1.e, Decreto N°469, de 2019, del Ministerio del Interior, Política Nacional de Ordenamiento Territorial).

La Ley N°19.175, Orgánica Constitucional Sobre Gobierno y Administración Regional, señala en su artículo 17 que: *“El plan regional de ordenamiento territorial es un instrumento que orienta la utilización del territorio de la región para lograr su desarrollo sustentable a través de lineamientos estratégicos y una macro zonificación de dicho territorio. También establecerá, con carácter vinculante, condiciones de localización para la disposición de los distintos tipos de residuos y sus sistemas de tratamientos y condiciones para la localización de las infraestructuras y actividades productivas en zonas no comprendidas en la planificación urbanística, junto con la identificación de las áreas para su localización preferente. El incumplimiento de las condiciones provocará la caducidad de las autorizaciones respectivas, sin perjuicio de las demás consecuencias que se establezcan. El plan reconocerá, además, las áreas que hayan sido colocadas bajo protección oficial, de acuerdo con lo dispuesto en la legislación respectiva.”*

La LGUC establece en su Capítulo III (Artículos 52 al 56) las definiciones de área urbana y rural, y las condiciones para la ocupación de los espacios fuera del área urbana. En este sentido, en las áreas rurales se podrían localizar instalaciones de valorización de residuos orgánicos, para esto deberán cumplir con los requisitos contenidos en el artículo 55 de la LGUC, que se encuentran reglamentados en el artículo 2.1.19. de la OGUC.

La segunda parte del inciso cuarto del artículo 2.1.29. de la OGUC, establece que, en el área rural de los planes reguladores intercomunales y metropolitanos, dichas instalaciones o edificaciones destinadas a infraestructura, estarán siempre admitidas y se sujetarán a las disposiciones que establezcan los organismos competentes, sin perjuicio del cumplimiento de la Ley N°19.300 y de lo dispuesto en el artículo 55 de la LGUC.

De igual manera, la LGUC establece que en el área urbana, los usos del suelo permitidos y prohibidos estarán definidos por los Planes Reguladores, de manera que las instalaciones de valorización de residuos orgánicos al interior del límite urbano deberán cumplir con las disposiciones establecidas en IPTs⁸ vigentes.

Complementando lo anterior, es necesario tener presente las disposiciones contenidas en el artículo 4.14.2. de la OGUC, vinculadas con la calificación a la que deben someterse las infraestructuras destinadas a la valorización de residuos, por contemplar proceso de transformación que se asocian con los efectos que su localización podría causar en un determinado territorio.

8. <http://seguimientoipt.minvu.cl/>

En concordancia con lo señalado, y de conformidad a lo dispuesto en el artículo 2.1.29. inciso quinto de la Ordenanza General, todas las instalaciones o edificaciones de este tipo de uso de suelo, emplazadas en el área urbana o en el área rural, que contemplen un proceso de transformación, requerirán contar con la calificación previa de la SEREMI de Salud respectiva (DDU N°218/2009). En el caso de las instalaciones barriales, estas pueden someterse a trámite simplificado, esto quiere decir que pueden ser calificadas de inofensivas.

En este contexto, los proyectos pueden requerir una evaluación de impacto ambiental si cumplen con las causales especificadas en la Ley N°19.300 y su reglamento.

C.2 USO DE SUELO RECOMENDADO

La instalación de plantas de valorización de residuos orgánicos debe cumplir con criterios estrictos relacionados con el uso del suelo, definidos por las normativas nacionales y los Instrumentos de Planificación Territorial (IPT). Estos criterios aseguran la compatibilidad de las instalaciones con las características y restricciones del territorio, evitando conflictos con otros usos predominantes.

TABLA C.1: Criterios de uso de suelo recomendados

Áreas urbanas	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Las instalaciones deben ubicarse en zonas destinadas a infraestructura sanitaria, según lo estipulado en los Planes Reguladores de nivel intercomunal, metropolitanos y comunal. En el caso de poseer calificación conforme al artículo 4.14.2. de la OGUC, deberán atender los requerimientos específicos de acuerdo con su calificación.
Áreas rurales	<ul style="list-style-type: none"> ▸ En las áreas rurales, las instalaciones de valorización deben evitar suelos de alta capacidad productiva agrícola, conforme al Decreto N°83, de 2010, del Ministerio de Agricultura. ▸ Se priorizan terrenos con uso compatible, según los IPT.
Zonas restringidas	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Las instalaciones no pueden localizarse en suelos considerados de importancia ecológica, como humedales o corredores biológicos, tal como se detalla en los mapas de zonificación ambiental. ▸ Se deben evitar terrenos clasificados como áreas de riesgo, incluyendo suelos sujetos a erosión severa o deslizamientos, según lo determinado por estudios geotécnicos.

Para garantizar la factibilidad de emplazamiento en determinado predio, conforme al uso de suelo permitido en el respectivo IPT, es obligatorio realizar consultas previas a las Direcciones de Obras Municipales y a las SEREMI de Vivienda y Urbanismo, así como considerar las disposiciones contenidas en la OGUC. Los proyectos deberán obtener la aprobación de las autoridades competentes en función de su clasificación y ubicación dentro de los territorios establecidos.

C.3 CAPACIDAD DE USO

De acuerdo con el Decreto N°83, de 2010, del Ministerio de Agricultura, los suelos se clasifican en dos grandes grupos: suelos de riego y suelos de secano. Esta clasificación considera criterios como textura, profundidad, drenaje y susceptibilidad a la erosión, definiendo su capacidad de uso y limitaciones.

TABLA C.2: Clasificación de suelos de riego

Clase de Suelo	Descripción
Clase 1R	Suelos sin limitaciones, muy fértiles, planos y profundos.
Clase 2R	Suelos con ligeras limitaciones, como drenaje moderado o pendiente leve.
Clase 3R	Suelos con limitaciones moderadas, como menor profundidad o mayor pendiente.
Clase 4R	Suelos con limitaciones severas, como baja fertilidad o riesgo de erosión.

TABLA C.3: Clasificación de suelos de secoano

Clase de Suelo	Descripción
Clase 1S	Suelos profundos, bien drenados y con pendientes suaves.
Clase 2S	Suelos con ligeras limitaciones, como pendientes moderadas.
Clase 3S	Suelos con limitaciones moderadas a severas, como baja fertilidad o drenaje pobre.
Clase 4S	Suelos con limitaciones severas, como alta pedregosidad o riesgo de erosión.

Los suelos no recomendados son:

- **Suelos de Clase 1R y 1S:** Prioritarios para actividades agrícolas intensivas; deben evitarse para instalaciones industriales. Lo anterior a excepción de los predios agrícolas que compostan sus propios residuos.
- **Suelos con alto riesgo de erosión o inundación:** Aunque puedan ser marginalmente productivos, presentan dificultades logísticas y ambientales.

C.4 PERMEABILIDAD

La capacidad del suelo para actuar como barrera natural contra la contaminación de aguas subterráneas depende críticamente de su permeabilidad, es decir, de la facilidad con la que permite el paso de líquidos percolados, aire y agua (FAO, 2003). Este parámetro está directamente relacionado con la granulometría (distribución del tamaño de partículas minerales), ya que suelos con partículas más gruesas, como arenas, presentan mayor permeabilidad que aquellos con texturas finas, como arcillas.

La conductividad hidráulica (medida en unidades de velocidad, ej.: cm/s) cuantifica esta propiedad, determinando la tasa de flujo de agua a través del suelo en un tiempo específico. Su valor varía según la textura del suelo y puede estimarse indirectamente mediante análisis granulométricos o modelos empíricos. Siendo el coeficiente de conductividad hidráulica una variable que está relacionada con la textura del suelo, entonces se puede obtener una aproximación indirecta de acuerdo con la textura:

TABLA C.4: Coeficiente de conductibilidad hidráulica estimado por textura de suelo (según FAO, 2003)

Textura	Coeficiente (cm/s)	Velocidad
Gravas	10^3 a 10	Rápida
Arenosos	10 a 10^{-2}	
Franco arenosos, Arenas limosas	10^{-4} a 10^{-3}	Moderada
Franco ⁹	10^{-5} a 10^{-3}	
Franco arcillosos	10^{-5} a 10^{-4}	
Arcillosos	10^{-6} a 10^{-9}	Lenta

9. Corresponde al tipo de suelo que presenta las tres granulometrías básicas: arena, limo y arcilla en una proporción de 4:4:1

Dado que los suelos son el resultante de los procesos morfológicos, las condiciones litológicas existentes y del clima, resulta difícil realizar una zonificación asociada a estos, pudiendo presentar diferencias notables en pocos metros. Es por ello que la condición de la permeabilidad debe ser vista caso a caso.

De acuerdo con el reglamento, se establecen coeficientes de conductibilidad hidráulicos (K) diferenciados dependiendo del tipo de planta y de la operación que se realice, y se establecen condiciones de los espesores de las capas impermeables.

TABLA C.5: Coeficiente de conductibilidad hidráulicos solicitado por instalaciones según el Reglamento

Tipo de planta	Área	Impermeabilización K (cm/s)
Faena in situ	Donde se realizará el compostaje.	Superficie $K \leq 10^{-5}$
Instalaciones barriales	Áreas para la recepción de los residuos, para el proceso activo y para la maduración.	Superficie $K \leq 10^{-5}$
Instalaciones Categoría A, B, C	Áreas destinadas para la recepción de los residuos, de los procesos activos y de maduración.	Equivalente a capa de arcilla de a lo menos 60 cm con $K \leq 10^{-7}$
	Laguna de almacenamiento de lixiviados.	Equivalente a capa de arcilla de a lo menos 60 cm con $K \leq 10^{-7}$

Estas impermeabilizaciones buscan evitar el paso de escurrimientos o lixiviados al subsuelo, y consecuentemente, a las napas.

La manera de obtener dichos valores, en terreno natural es mediante la compactación, siempre y cuando exista el sustrato natural idóneo. La manera de corroborar que se alcancen dichas permeabilidades es mediante ensayo de laboratorio previo (prueba de infiltración de carga constante, al 90% del CBR) y posteriormente ensayos en terreno asegurando la compactación

necesaria mediante pruebas de penetración y ensayos de infiltración in situ. Se recomienda realizar los ensayos con Laboratorios que se encuentren vigentes en Listado Oficial de Laboratorios¹⁰ del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

En caso de que los ensayos previos indiquen que no se logran los coeficientes de permeabilidad indicados en el reglamento se deberá optar por otros métodos para la obtener dichos resultados, tales como:

- Losa de hormigón, la cual deberá ser, de preferencia, con doble enmallado y curado lento. De esta manera se podrán obtener permeabilidades aproximadas de 10^{-10} cm/s.
- Geomembrana de HDPE, la cual puede tener permeabilidades de 10^{-13} cm/s, debiéndose instalar de acuerdo con las especificaciones técnicas del fabricante.
- Revestimiento de Arcilla Geosintética (GCL) Bentónico, el cual posee permeabilidades variables entre 10^{-8} y 10^{-12} cm/s dependiendo de las especificaciones técnicas del fabricante.

En el caso de las impermeabilizaciones a partir de revestimientos sintéticos (HDPE, GCL, y otros que pudieran existir), su instalación considera que deben ser cubierto por una capa variable de material fino (usualmente unos 60 cm), el cual debe ser posteriormente compactado, de manera de asegurar la impermeabilización del área en cuestión. Todo ello permite el posterior tránsito de equipos, vehículos y maquinarias sin mayor riesgo de romper el sello impermeable.

En el caso de las instalaciones barriales, se sugiere impermeabilizar las superficies si el desarrollo del compostaje se realizará en el suelo.

C.5 SUELOS SATURADOS

Otro elemento en donde el Reglamento excluye áreas aptas asociadas a las condiciones de los suelos es debido a la presencia de suelos saturados o humedales. Estos corresponden a áreas en donde el nivel freático se presenta a nivel de superficie desarrollando un suelo saturado de manera temporal o permanente.

De acuerdo con el Decreto N°82, de 2010, del Ministerio de Agricultura, Reglamento de Suelos, Aguas y Humedales, estos deben entenderse como un sustrato saturado de forma natural o permanente en los que se desarrolla biota acuática, considerándose la extensión de vegetación hidrófila como forma de delimitación. A su vez, estos se pueden diferenciar en función de su localización: en la zona norte corresponde a salares, lagunas andinas, vegas y bofedales, mientras que en la zona sur se encuentran: lo mallines, ñadis, humedales boscosos (humedales pantanosos, hualves), marismas y turberas. Dentro de los elementos que permiten identificar suelos con condición saturada se encuentra el Inventario Nacional de Humedales¹¹, del Ministerio del Medio Ambiente, en donde identifican los humedales. Por otra parte, suelos con un nivel freático muy cercano a superficie (menos de 1,5 m) se deberán entender como suelos palustres o saturados. El uso de imágenes satelitales en plataformas abiertas, tales como Google Earth Engine, permite determinar suelos saturados utilizando indicadores como:

- Índice de Agua Normalizado (NDWI): Distingue agua superficial y suelos húmedos.
- Índice de Humedad Normalizado (NDMI): Detecta áreas con alta humedad en suelos y vegetación.
- Radar VV/VH (Sentinel-1): El radar capta directamente la humedad del suelo.

10. <https://apregistrostecnicos.minvu.cl/LISTADOLABORATORIOT.ASPX>

11. <https://humedaleschile.mma.gob.cl/>

En terreno, las áreas asociadas a suelos palustres presentan vegetación del tipo hidrófita y suelos oscuros en el área saturada. Por otra parte, se deberían realizar en caso de instalaciones Categorías A, B y C calicatas para evaluar que la altura del nivel freático no sea menor a 1,5 m, sondajes eléctricos verticales o medición mediante piezómetro en pozos cercanos.

C.6 OROGRAFÍA

Al igual que en otras instalaciones para el manejo de residuos el manejo de líquidos percolados o lixiviados se facilita al existir pendientes mínimas que permitan su conducción. Asimismo, las condiciones de inundación o anegamiento son favorecidas por las pendientes en donde se encuentren las instalaciones. Como ejemplo se puede destacar que el Ministerio de Obras Públicas (MOP) estima que los rangos de pendientes asociados al riesgo de inundación son:

TABLA C.6: Riesgo de inundación de acuerdo con la pendiente del sitio (según MOP, 2011)

Pendiente	Geomorfología asociada	Riesgo
>5° (>8,5%)	Cordones y plataformas de escarpes fuertes.	Bajo
1 a 4,9° (2 a 8,5%)	Dunas, terrazas y depósitos de escarpe medio.	Medio
0 a 0,9° (0 a 2%)	Terrazas, llanuras y depósitos recientes.	Alto

En el Reglamento, se indica que las instalaciones deberán contar con una pendiente mínima de 2%, lo cual facilitará el manejo de los líquidos al interior de la instalación y minimizará la acumulación de éstos.

También se señala que las instalaciones no deberán localizarse en superficies susceptibles a procesos de remoción en masa. El término remociones en masa se refiere a los procesos de movilización lento o rápido de determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones generados por diversos factores (Hauser, 2000). Corresponden intrínsecamente a procesos gravitacionales, en donde una porción de terreno se desplaza de una cota mayor a una menor.

Como acercamiento para determinar dichas áreas se deben considerar dos elementos: la existencia de eventos previos y la existencia de un gradiente de pendiente suficiente para facilitar el desarrollo de estos fenómenos. En el caso de la existencia de elementos previos se puede señalar que el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) posee un catastro digital de remociones en masa el cual puede ser consultado¹². Para la definición de los rangos de pendientes, el MOP (2011) señala:

TABLA C.7: Riesgo de remoción en masa por pendiente del sitio (según MOP, 2011)

Pendiente	Geomorfología asociada	Riesgo
0 a 10° (0 a 18%)	Terrazas, llanuras y depósitos de escarpe débil.	Bajo
10 a 20° (18 a 36%)	Cordones y plataformas de escarpe mediano.	Medio
>20° (> 36%)	Cordones y plataformas de escarpe fuerte.	Alto

12. <https://portalgeomin.sernageomin.cl/share/645bc2c002bef>

Por lo anterior, en cuanto a las condiciones orográficas, la localización de una planta de valorización de residuos orgánicos debiera priorizar terrenos con pendientes mayores al 2% y menores al 18%, de manera de generar una buena conducción de las aguas en caso de precipitaciones, y no favorecer la generación de erodabilidad y, consecuentemente, remociones en masa.

C.7 ÁREAS INUNDABLES (DESBORDE DE CAUCES NATURALES)

En cuanto a las inundaciones de origen fluvial se encuentran asociadas principalmente a eventos pluviométricos, los cuales se ven reflejados en el flujo de agua que transporta cada cauce. Eventos meteorológicos con precipitaciones muy fuertes en cortos periodos de tiempo generan eventos hidrológicos con fuertes caudales y tiempos muy cortos de respuestas. Los factores que afectan la evolución espacio-temporal de eventos fluviales son: las condiciones climáticas e hidrológicas previas, tamaño y disposición de la red de drenaje, y morfología del lecho fluvial. En este sentido eventos pluviométricos similares no generarán los mismos efectos hidrológicos.

Por esta razón, se requieren estudios específicos de riesgos a la hora de determinar las áreas bajo riesgo de inundación para instalaciones industriales. En el caso del Reglamento, este indica que no se podrán instalar en áreas inundables con periodos de retorno inferiores a 100 años, en donde dicha área puede variar en función de modificaciones sufridas por el cauce (obras, extracciones de áridos, etc.). Sin perjuicio de ello, en terreno se puede tener cierta aproximación a las áreas de riesgo de inundación, identificando los diferentes cauces existentes en el lecho fluvial (cauce, lecho de inundación recurrente, lecho de inundación estacional, lecho de inundación episódico) y la zona ripariana, siendo poco frecuente que inundaciones sobrepasen la zona ripariana.

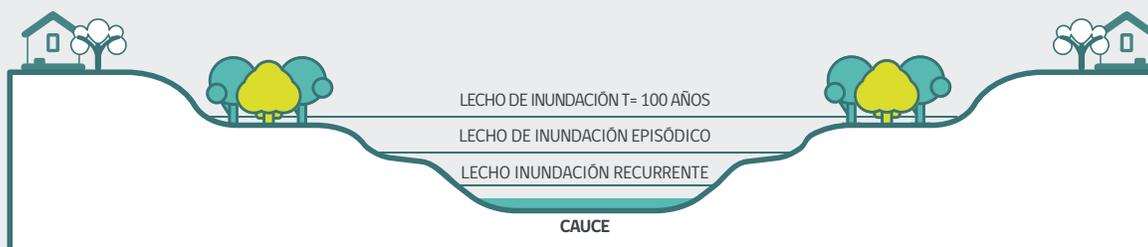


FIGURA C.1: Áreas inundables de un lecho fluvial

Por último, en el contexto de condición de variabilidad y cambio climático, el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2) ha desarrollado la plataforma CAMELS-CL (CatchmentAttributes and MeteorologyforLargeSampleStudies, Chile Dataset¹³) que integra información física e hidrometeorológica de cuencas de todo Chile.

El Ministerio de Medio Ambiente elaboró el Atlas de Riesgos Climáticos para Chile (ARClim), en donde se presentan mapas que muestran como los centros urbanos se ven afectados por

13. <https://camels.cr2.cl/>

inundaciones por desbordes de ríos debido al cambio en los eventos de precipitación extrema entre el período presente y futuro. Para ello, se muestra el cambio en el nivel de amenaza asociado a la severidad de la crecida de las inundaciones generadas por precipitaciones extremas como, por ejemplo, con periodos de retorno de 100 años.

Estas herramientas no solo permiten la visualización de la información, sino que permiten descargarla en formatos CSV o JSON para ser trabajada y visualizadas en Sistemas de Información Geográfica.

D. UTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES EN PROCESOS DE COMPOSTAJE

Las instalaciones de valorización de residuos orgánicos usualmente requieren de agua para mantener la humedad dentro de las condiciones adecuadas para el proceso. En el caso de plantas de digestión anaerobia, también sirve para diluir y disminuir la concentración de sustancias cuyo exceso puede afectar el tratamiento biológico. En el afán de reducir el consumo de agua potable en las instalaciones de valorización se podrá considerar el uso de otras fuentes de agua, que no sea potable, tales como son las aguas grises.

Usualmente, y sin perjuicio de la definición legal chilena, las aguas grises se entienden como aguas residuales domésticas que excluye la descarga del inodoro. Por lo tanto, no debe contener orina ni heces, pero en la práctica puede contener trazas de ambos y, por ende, presencia de agentes patógenos. Lo anterior se desprende de diversas actividades, por ejemplo, el lavado de pañales o ropa interior, así como un potencial reaflorescimiento de las bacterias fecales en el estanque de recolección de las aguas grises.

Las condiciones sanitarias básicas para la reutilización de aguas grises están definidas en el D.S. N°40, de 2022, del MINSAL. Este reglamento establece las condiciones sanitarias que deberán cumplir los sistemas de reutilización de aguas grises, específicamente sus condiciones de diseño, construcción y operación. Cada iniciativa que considere utilizar aguas grises en procesos de compostaje requiere de una aprobación del proyecto y la correspondiente autorización para su funcionamiento, otorgada por la respectiva SEREMI de Salud.

La normativa chilena considera diferentes usos previstos para las aguas grises y en función de ello establece diferentes calidades para las aguas servidas tratadas. En el caso del uso de las aguas grises, y en sistemas de valorización de residuos orgánicos, específicamente para el uso en sistemas de compostaje, se debe tener en consideración el potencial nivel de riesgo de exposición de las personas a las aguas grises tratadas. El único parámetro relevante para ello es la cantidad de coliformes fecales, como indicador de una eventual presencia de otros agentes patógenos.

Dependiendo del tipo de instalación de valorización de residuos orgánicos que se trate, se puede asumir un uso industrial de las aguas grises. De acuerdo con lo establecido en el Reglamento, será la SEREMI de Salud quien fijará, a través de la aprobación de proyecto y la autorización de funcionamiento, las condiciones que deberá cumplir el sistema de reutilización, de manera que las aguas grises tratadas y su calidad no pongan en riesgo la salud de los trabajadores, del público y del entorno, según sean las características de cada proyecto. En cualquier caso, en los usos industriales se deberán cumplir, a lo menos, las siguientes restricciones sanitarias:

- En ningún caso, la concentración de coliformes fecales en las aguas grises tratadas podrá superar los 1.000 NMP/100 ml.
- Según sea el riesgo de exposición de las personas a las aguas grises tratadas, la SEREMI de Salud podrá fijar concentraciones menores a 1.000 NMP/100 ml de coliformes fecales. Lo

anterior podrá aplicar por ejemplo a plantas de compostaje con fines educativos o demostrativos que se ubiquen en parques o establecimientos educacionales con afluencia de visitantes o personas externas a los funcionarios o trabajadores de la instalación. En este caso también podrá considerarse una cloración para controlar los agentes patógenos. Ahora bien, se debe ponderar la reutilización de las aguas grises como una alternativa frente a la escasez del recurso hídrico en relación con el consumo energético que requiere su tratamiento, además, del eventual uso de químicos como el cloro que generan compuestos organoclorados que tienen potenciales efectos adversos sobre el medioambiente y los seres humanos.

En términos generales, el diseño, la construcción y puesta en servicio de las instalaciones domiciliarias de alcantarillado de aguas grises deberá ceñirse a las disposiciones que establece el Decreto N°50, de 2002, del Ministerio de Obras Públicas, que aprueba el Reglamento de las Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y de Alcantarillado (RIDAA), para redes de alcantarillado. Específicamente, todo sistema de reutilización de aguas grises deberá garantizar a través de su diseño, construcción y operación que se minimizará, al máximo, la posibilidad de exposición de la población a dichas aguas durante su conducción, tratamiento, almacenamiento y reutilización. Asimismo, el diseño y operación deberá contemplar las medidas necesarias para evitar emanación de olores molestos, atracción de vectores y escurrimientos no controlados.

El reglamento esencialmente distingue entre tres casos de sistema de reutilización de aguas grises, que también pueden darse en plantas de compostaje:

- Sistemas de reutilización de aguas grises domiciliarios de menor tamaño: Son aquellos en que se aprovechan estas aguas al interior del inmueble en que se producen y tratan. Además, no pueden generar un caudal de aguas grises tratadas mayor a 1,5 m³ por día.
- Sistemas de reutilización de aguas grises domiciliarios (distintos a los de menor tamaño) y domiciliarios colectivos: Son aquellos que generan un caudal de aguas grises tratadas mayor a 1,5 m³ por día y/o aquellos en que se aprovechan estas aguas que se producen y tratan al interior de un edificio o conjunto de edificaciones que conforman un condominio o comunidad.
- Sistemas de reutilización de aguas grises de interés público: Aquellos que satisfacen un interés de esta especie por servir al riego de áreas verdes, parques o centros deportivos públicos. Asimismo, deben ser de propiedad o administración municipal, del Servicio de Vivienda y Urbanización o de cualquier otro órgano de la Administración del Estado.

En relación con el diseño, se debe tener en especial consideración los siguientes aspectos:

- Las aguas grises tratadas no deberán almacenarse por períodos de tiempo superiores a las 48 horas.
- Los estanques de almacenamiento de los sistemas de reutilización de aguas grises de interés público deberán contar con sistemas de aireación, para evitar la generación de malos olores. Adicionalmente, deberán contar con equipos de generación eléctrica auxiliares, para asegurar la continuidad del funcionamiento del sistema.
- El sistema de reutilización de aguas grises deberá contemplar descargas de aguas grises, con y sin tratamiento, a la red de alcantarillado domiciliaria, para permitir su evacuación en caso de falla, emergencia u otra situación en que no se requiera para su reutilización.
- Las plantas de tratamiento de los sistemas de reutilización de aguas grises domiciliarios colectivos o de interés público que se emplacen sobre la superficie del terreno, deberán estar delimitadas con cierros en todos sus costados.

En relación al monitoreo y control, se debe tener en especial consideración los requerimientos de autocontrol:

- Medición diaria o semanal de cloro libre, según sea el caso.
- Monitoreos mensuales, trimestrales o semestrales, según caudal de descarga.

E. ESTUDIO DE IMPACTO ODORANTE Y PLANES DE GESTIÓN DE OLORES

E.1 ESTUDIO DE IMPACTO ODORANTE

Los Estudios de Impacto Odorante usualmente se desarrollan en el marco del Sistema de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). De manera de estandarizar la elaboración de dichos documentos, el SEA publicó la Guía para la Predicción y Evaluación de Impactos por Olor en el SEIA (SEA, 2017), con la finalidad de unificar criterios y entregar recomendaciones en cuanto a la cantidad y calidad de información que debe ser presentada. En términos prácticos define requerimientos para las siguientes actividades básicas:

- Determinación de las emisiones de olor de una instalación
- Predicción y evaluación de eventuales impactos por olor
- Medidas relacionadas con olor

Cabe mencionar que la Guía considera expresamente las instalaciones de manejo de residuos orgánicos como una tipología de proyectos o actividades con fuentes de generación de olor.

La figura que sigue ilustra los alcances de la Guía dentro del proceso de evaluación de impacto ambiental de una instalación de valorización de residuos orgánicos. Buena parte de los resultados del estudio de impacto odorante también se requiere para la elaboración de un Plan de Gestión de Olores (ver Anexo E.2), los cuales adicionalmente abordan aspectos no comprendidos por la Guía, tales como los planes de seguimiento y planes de prevención de contingencias y emergencias, entre otros.

Determinación de las emisiones de olor de una instalación

En las instalaciones de valorización de residuos orgánicos no se puede identificar una sustancia olorosa predominante, razón por la cual la evaluación siempre se debe realizar bajo el concepto de "olor compuesto".

En la determinación de las emisiones de olor de una instalación se pueden emplear factores de emisión o emisiones de referencia. La principal diferencia radica en que un factor de emisión corresponde a valores de emisión unitarios obtenidos en procesos que se encuentran estandarizados y que son publicados en referencias internacionales, mientras que las emisiones de referencia son aquellas que han sido determinadas a través de metodologías estandarizadas en la fuente y su respectiva caracterización, es decir, son aquellas obtenidas de fuentes existentes o proyectos en ejecución. Ahora bien, la Guía aconseja el uso de factores de emisión sólo en proyectos nuevos, y siempre que no se cuente con emisiones de referencia. Sin embargo, usualmente los factores de emisión publicados por agencias estatales de protección del medio ambiente, normas técnicas o guías técnicas relacionadas cuentan con un amplio respaldo técnico, mientras que emisiones de referencia pueden ser emisiones puntuales.

Al respecto hay que enfatizar que las emisiones de olor pueden variar considerablemente de una instalación a otra, incluso bajo las mismas condiciones operativas. En el caso de plantas de compostaje, las emisiones de una pila pueden variar en dos órdenes de magnitud (Bidlingmaier,

1997), dependiendo de la fase en la cual se encuentra la pila y también del tiempo transcurrido del último volteo, entre otros factores. Entonces, en el momento de realizar mediciones propias o emplear emisiones de referencia, se debe procurar que sean representativas para la instalación a evaluar.

Por lo mismo, tanto la selección de emisiones de referencia, así como el empleo de factores de emisión debe ser debidamente justificada. Particularmente es necesario asegurar que las actividades o procesos asociados a una instalación de valorización de residuos orgánicos correspondan a procesos representados por el factor de emisión o de la emisión de referencia a utilizar.

De acuerdo con la Guía, se debe identificar la totalidad de las fuentes de olor de una instalación de valorización de residuos orgánicos, indicando los siguientes detalles:

- Nombre de la fuente relacionándola con las partes y/u obras del proyecto
- Nombre de las actividades que generan emisiones de olor, incluyendo el material relacionado
- Tipo de fuente, tales como puntuales¹⁴, difusas activas o pasivas, fugitivas¹⁵, y de volumen
- Régimen de emisión de olor, indicando el tiempo que dura la emisión y su frecuencia
- Tasa de emisión de olor
- Características del olor: concentración, intensidad¹⁶, calidad¹⁷ y tono hedónico¹⁸

En el caso que dentro de una instalación de valorización de residuos orgánicos se considere la implementación de medidas tecnológicas de modo que las emisiones de olor se abatan, controlen, minimicen o supriman, siempre se debe considerar la estimación de las emisiones y con ello se pueda fundamentar la eficacia de las medidas implementadas.

Predicción de impactos por olor

Con la finalidad de evaluar si los impactos de olor constituyen un impacto significativo o no, se debe tener presente que los impactos ambientales son considerados significativos cuando generan o presentan alguno de los efectos, características y circunstancias del artículo 11 de la Ley N°19.300, conforme a lo establecido en el Título II del Reglamento del SEIA. La evaluación de los impactos ambientales por olor debe realizarse según las consideraciones y criterios establecidos en los artículos 5 al 9 del Reglamento del SEIA, según lo siguiente:

- artículo 5º, con relación al riesgo para la salud de la población;
- artículo 7º, con relación a la alteración significativa de los sistemas de vida y costumbres de grupos humanos;
- artículo 8º, con relación a la afectación de población protegida;
- artículo 9º, con relación a la alteración significativa del valor turístico.

14. Fuente estacionaria discreta, de emisión de gases a la atmósfera a través de conductos, de dimensiones y caudal de aire definidos.

15. Fuente esquinosa o de difícil identificación que libera cantidades indefinidas de sustancias olorosas (por ejemplo: fugas de válvulas y juntas, aperturas de ventilación pasiva, u otros).

16. Magnitud de la sensación o fuerza relativa con la que es percibido el olor, aumentando en función de la concentración. Usualmente, al interior de la instalación, en cercanía de la fuente, se observan olores fuertes, muy fuertes, o extremadamente fuertes. Las intensidades en los receptores usualmente son no perceptibles, muy débiles, débiles, distinguibles o fuertes.

17. Es aquella propiedad que identifica un olor y lo diferencia de otros olores con la misma intensidad. Indica a qué huele, permitiendo clasificar e identificar los olores en diversos grupos en función de descriptores. La Guía para la Predicción y Evaluación de Impactos por Olor en el SEIA (SEA, 2017) contiene una Rueda de Descriptores de Olor relacionada con el Compostaje que podría ser útil para la descripción de la calidad de un olor.

18. Es la propiedad de un olor relativa a su agrado o desagrado.



FIGURA E.1: Alcance de la Guía para la Predicción y Evaluación de Impactos por Olor en el SEIA (según SEA, 2017)

Usualmente, a nivel internacional dicha evaluación se realiza mediante una estimación de riesgo que implica la definición de un criterio de calidad o de exposición que describe una situación de inmisión tolerable.

De acuerdo con el artículo 11 de la Ley N°19.300, para efectos de evaluar si el proyecto genera o presenta riesgo para la salud de la población, se debe considerar lo establecido en las normas de calidad ambiental y de emisión vigentes. Asimismo, el artículo 5 del Reglamento del SEIA establece que para efectos de evaluar si el proyecto genera o presenta riesgo para la salud de la población se debe considerar la presencia de población en el área de influencia, cuya salud pueda verse afectada por la superación de los valores de las concentraciones y períodos establecidos en las normas primarias de calidad ambiental vigentes o el aumento o disminución significativos, según corresponda, de la concentración por sobre los límites establecidos en éstas. Mientras que no existan normas de emisión o normas de calidad aplicables a olores provenientes de instalaciones de valorización de residuos orgánicos, se deben utilizar como referencia las vigentes en los Estados que señala el artículo 11 del Reglamento del SEIA.

Tomando en cuenta la metodología FIDOL, se describen criterios de exposición que combinan concentraciones de olor permisibles con un criterio de excedencia o cumplimiento de dicha concentración umbral.

Metodología FIDOL

Para estimar impacto por olor se utiliza la herramienta o protocolo conocido por su sigla FIDOL, cuyos parámetros son frecuencia, intensidad, duración, ofensividad y localización.

- **Frecuencia:** Se refiere a la frecuencia que la o las personas están expuestas al olor.
- **Intensidad:** Se refiere a la percepción de la fuerza del olor. En el caso de cálculos matemáticos usualmente se emplean concentraciones, pero la nariz humana distingue intensidades.
- **Duración:** Se refiere al tiempo que las personas están expuestas al olor, sobre una determinada concentración umbral.
- **Ofensividad:** Se refiere a la caracterización del olor, que puede ser agradable, neutro o desagradable.
- **Localización:** Se refiere al tipo de uso del suelo y la naturaleza de las actividades humanas aledañas a una fuente de olor. Se puede considerar que este factor abarca las características del receptor como su sensibilidad, vulnerabilidad u otros.

Por lo general, en la evaluación del impacto, específicamente en la cuantificación de la exposición, se utilizan criterios que incorporan implícitamente los cinco factores del protocolo FIDOL mencionados. Por ejemplo, la Guía para la Predicción y Evaluación de Impactos por Olor en el SEIA define un criterio para el área de influencia, esto es, el área o espacio geográfico comprendido dentro de la isodora 1 UO/m^3 y percentil 98 (de promedios horarios). Entonces se tiene que:

- **F** (Frecuencia): Corresponde al percentil;
- **I** (Intensidad): Corresponde a 1 UO/m^3 (Umbral olfativo);
- **D** (Duración): Corresponde al promedio horario. Algunas normativas internacionales incluyen factores de ponderación para evaluar duraciones sub-horarias.
- **O** (Ofensividad): En este caso nuevamente corresponde a la definición del umbral de 1 UO/m^3 . Los criterios de impacto significativo pueden establecer otros umbrales, tales como 3, 5 o 7 UO/m^3 , para olores muy ofensivos (ej. plantas de manejo de residuos), medianamente ofensivos (ej. elaboración de aceites vegetales) o de baja ofensividad (ej. tostadura de café).
- **L** (Localización): Nuevamente corresponde al umbral de 1 UO/m^3 , pudiendo variar este factor con la sensibilidad del receptor. En algunos países, se varía el percentil para adecuar el criterio de impacto a los diferentes usos de suelo considerados en los IPT.

En Chile, la evaluación del impacto odorífico no suele diferenciar dentro de los criterios de impacto, entre diferentes usos de suelo o "localización". Si bien es suficiente la presencia temporal de personas, igualmente es necesario considerar y describir determinados atributos del área de influencia como viviendas; instalaciones asociadas al asentamiento de los grupos humanos; sitios donde los grupos humanos realizan sus actividades, incluyendo actividades que desarrollan los visitantes o turistas en la zona. En este mismo sentido, deben considerarse los usos de suelo planificados por los IPT vinculados a la presencia de población o grupos humanos que pudieran verse afectados por las emisiones de olor, como los usos residenciales, de equipamiento, e incluso áreas verdes. La identificación de potenciales receptores en el área de influencia incluye los siguientes aspectos: Identificación y descripción del receptor y su distancia a la fuente.

Para la determinación del área de influencia y para la predicción de los impactos existen diferentes herramientas. Una vez determinadas las emisiones, habitualmente pueden considerarse dos grupos de modelos: modelos simples o indicativos y modelos matemáticos complejos de dispersión atmosférica.

De acuerdo con el SEA (2017), los modelos simples o indicativos permiten una cuantificación de la concentración de olor a una cierta distancia de las emisiones del proyecto o actividad, es decir, en los receptores o comúnmente denominada inmisión de olor. Esto permite determinar, de forma general, el potencial de percepción de olor en el entorno de la ubicación del proyecto o actividad. Un ejemplo de este tipo de modelos son los nomogramas para diferentes actividades, los que corresponden a gráficos bidimensionales, en uno de sus ejes se introduce el valor de la emisión de olor y en el otro se indica la distancia a la que se estima que existe una determinada concentración odorífera. Estos nomogramas se utilizan para determinar el área de influencia y el cumplimiento de los criterios señalados, dependiendo de la intensidad de la fuente y la distancia al receptor. A modo de ejemplo, más adelante se presenta un nomograma para plantas de compostaje.

Por otro lado, existen modelos matemáticos de dispersión atmosférica complejos que integran tasas de emisión (TEO) de la instalación (constantes o variables en el tiempo), condiciones meteorológicas del área de interés (temperatura, distribución de vientos, estabilidad atmosférica, entre otros aspectos), tipos y características de la fuente emisora (altura de la emisión, temperatura, superficie, etc.); topografía y orografía.

En todo caso, la aplicación de cualquier tipo de modelo debe realizarse tomando en consideración los lineamientos metodológicos señalados en la Guía para el Uso de Modelos de Calidad de Aire en el SEIA (SEA, 2023), la cual tiene como principal propósito establecer criterios para el uso de modelos de calidad del aire, como herramienta de estimación de impactos. La guía citada entrega información y lineamientos sobre los siguientes aspectos más relevantes de la modelación:

- Datos de entrada del modelo
- Presentación de los resultados
- Análisis de resultados e incertidumbre

Medidas relacionadas con olor

En el caso de que una instalación de valorización de residuos orgánicos no pueda demostrar que los impactos por olor no son significativos, para la tramitación del permiso ambiental debe presentar un Estudio de Impacto Ambiental que contenga las medidas de mitigación, preparación o compensación que se hagan cargo de estos impactos significativos.

También pueden considerarse la implementación de medidas de reducción de las emisiones odoríficas, las cuales usualmente se clasifican en:

- Medidas asociadas al diseño de la instalación de valorización de residuos orgánicos. En el caso de las plantas de compostaje se pueden incluir el encapsulamiento de unidades generadoras de olor, así como medidas de control de proceso (humedad, aireación, etc.).
- Medidas asociadas a mejores prácticas en procesos generadores de olor, tales como: aseo diario para evitar emanaciones de olores difusas, reducción de tiempos de almacenamiento de residuos sin procesar, contemplar suficiente material estructurante para el procesamiento de materia prima con alto contenido de humedad, realizar volteos en condiciones meteorológicas adecuadas, entre otras.
- Medidas tecnológicas de abatimiento y control de olor. En el caso de instalaciones de valorización de residuos orgánicos, los sistemas de tratamiento de olor usualmente consisten en biofiltros, a veces en combinación con lavadores de gases o sistemas biotrickling.

E.2 PLAN DE GESTIÓN DE OLORES

Un Plan de Gestión de Olores (PGO) es un documento que tiene por objeto formalizar y describir las acciones que la instalación ha implementado o implementará para asegurar la prevención, reducción y/o control de las emisiones de olor. Por lo tanto, el PGO no es una evaluación de impacto, sino que planifica una serie de medidas de prevención, reducción y de control para el adecuado manejo de los riesgos asociados a olores. En este sentido, el PGO describe las acciones de control interno de la instalación para prevenir situaciones de riesgo y también aquellas que se deberán realizar en caso de ocurrir una contingencia. De este modo cubre las operaciones normales de proceso, pero también deberá ser capaz de anticipar y planificar los eventos anormales, contingencias e incidentes. Consecuentemente, el PGO debe formar parte de la gestión operativa de la instalación, por lo que se requiere de una re-evaluación periódica de las actividades de su estrategia de gestión, lo que permitirá incorporar nuevas mejoras de manera constante. De lo anteriormente dicho, se desprende que el PGO debe ser adaptado, de acuerdo con el tipo de actividad realizada y la complejidad de esas actividades, así como los tipos de fuentes emisoras de olor, procesos, nivel de actividad de la instalación, tipo de tecnologías implementadas, etc. Se sugiere realizar, al menos una vez al año, una revisión de la efectividad del PGO. (MMA, 2020)

Un PGO se compone esencialmente de cuatro aspectos y requiere de la presentación de los siguientes antecedentes de manera ordenada:

- Diagnóstico
- Medidas a implementar
- Programa de seguimiento y control
- Programa de contingencia

El **diagnóstico** tiene como principal objetivo definir la situación odorante de la instalación, para lo cual se deben recopilar diferentes antecedentes de la instalación, de su entorno y de las emisiones de olor. Lo anterior incluye:

- Descripción de las actividades por desarrollar dentro de la instalación:
 - Identificar la instalación: Localización geográfica, georreferenciación del punto central, delimitación del perímetro del predio de la instalación, la unidad de producción (tipo de residuos recibidos y cantidad de compost producido), la capacidad de producción y el número total de empleados.
 - Identificar el tipo de operación y procesos de la instalación: Unidades de operación de la

instalación, el proceso productivo identificando los puntos donde se genera olor, y las condiciones operacionales.

- Identificar las principales emisiones odorantes.
- Identificar y caracterizar las fuentes emisoras de olor: Una pila de compostaje, por ejemplo, calificaría como fuente difusa¹⁹ y pasiva, de emisión continua y probablemente sin sistema de abatimiento de olor. La caracterización incluye también indicar las dimensiones de la pila, así como su rango de temperaturas. Adicionalmente, y en el caso de contar con dicha información, se puede indicar la tasa de emisión de la fuente.
- Caracterizar el olor de la instalación y de sus unidades de proceso identificadas previamente. Dicha caracterización deberá describir, al menos, la calidad del olor, tono hedónico e intensidad.
- Identificar la probabilidad de generar impacto de olor, según la frecuencia y duración que pueda tener dicho evento, señalando el periodo del año y horario más probable.
- Descripción del entorno de la instalación:
 - Caracterizar el tipo de uso de suelo en el cual se emplazan las instalaciones del proyecto.
 - Indicar si existen otras actividades económicas o instalaciones externas y que sean potencialmente generadoras de olor en el entorno cercano.
 - Identificar los receptores cercanos y determinar la distancia receptor-instalación, medida en forma lineal desde el perímetro de la instalación a dichos receptores.
 - Recopilar información sobre denuncias o quejas por parte de la comunidad.
- Estimación de las emisiones de olor:
 - Si la instalación debe someterse al SEIA, entonces la estimación de las emisiones de olor deberá remitirse a un límite internacional establecido durante el proceso de la evaluación ambiental, así también, las metodologías.
 - En los demás casos, se debe realizar un Estudio de Impacto Odorante utilizando factores de emisión (ver Tabla E.1) o emisiones de referencia.

La segunda etapa de un PGO apunta a identificar las **medidas que se adoptarán para controlar estas emisiones**, principalmente en su origen. Al respecto, el Instructivo explica de manera general cómo hacer frente a los impactos de olores que generan molestia, indicando que los detalles de diseño, operación o mantenimiento dependen de cada caso particular. Las acciones que se deben describir en el PGO corresponden a las siguientes:

- Definir el plan de trabajo para gestionar las medidas de prevención, reducción y control que se implementarán en la instalación. Lo anterior incluye objetivos, plazos, indicadores, responsables y medios de verificación y seguimiento, entre otros aspectos.
- Definir e implementar medidas de reducción y/o control de olores. Las medidas a implementar pueden ser asociadas a Buenas Prácticas Operacionales y/o Tecnología en las etapas que corresponda, en forma general pueden ser:

¹⁹. Fuente con dimensión definida que no tiene un flujo de gas residual definido.

- Medidas en la recepción y gestión de materia prima
 - Control de las emisiones de olor al aire
 - Contención y reducción de la emisión de olor
 - Tratamiento de fin de línea
 - Medidas que favorezcan la dispersión de los olores
- Establecer un plan de comunicación con la comunidad que pueda verse afectada por la instalación. Lo anterior puede involucrar la definición de un canal de comunicación y un sistema de recepción de quejas y reclamos.

La tercera etapa del PGO corresponde al establecimiento de un **programa de seguimiento y control** que permita asegurar que esta variable se comporte según lo proyectado y también corregir posibles desviaciones y problemas. Se deben considerar las medidas internas (relacionadas con el proceso de la instalación) y externas (relacionadas con la percepción del receptor). En ese contexto, su contenido debiera:

- Describir las medidas adoptadas en cada etapa del proceso.
- Establecer los puntos de control de las unidades críticas.
- Definir las herramientas de evaluación.
- Definir indicadores de cumplimiento.
- Llevar un sistema de control con la información documentada del control asociado.
- Capacitar al personal para que puedan cumplir los roles de control requeridos. Las capacitaciones se deben enmarcar en las actividades de capacitación que los operadores de las instalaciones de compostaje deberían recibir. Las capacitaciones deben ser documentadas.
- Elegir un responsable para cada punto de control.

La última parte de un PGO corresponde a un **programa de contingencia** con los protocolos para hacer frente a las posibles situaciones de riesgo o contingencia, con miras a evitar que estas se produzcan o minimizar su probabilidad. Asimismo, se deben incluir las acciones a adoptar en caso de que se genere una situación no prevista, para controlar el incidente o minimizar sus efectos sobre el medio ambiente o la población.

El programa de contingencia de olores se enmarca en el Plan de Contingencias que toda instalación de compostaje deberá elaborar y tener disponible.

Uso de factores de emisión de olores

Los factores de emisión que a continuación se indican representan una relación entre la cantidad de olores emitidos a la atmósfera y una unidad correspondiente a la actividad que realiza la fuente de olores. Factores de emisión están documentados en Bidlingmaier (1997), INFOMIL (2004), BS Consultores (2015), Sironi (2006) o VDI (2021). Usualmente se relacionan con la cantidad de material procesado o bien al área superficial involucrada.

TABLA E.1: Factores de emisión compostaje (según Sironi, 2006)

Actividad u operación	Factor de emisión	Unidad
Recepción de residuos orgánicos (domiciliarios)	$1,26 \times 10^6$	UO/ton
Compostaje	$1,40 \times 10^7$	UO/ton
Maduración	$3,99 \times 10^6$	UO/ton
Almacenamiento de compost terminado	$7,54 \times 10^5$	UO/ton

La ecuación general para la estimación de la tasa de emisión de olores utilizando factores de emisión corresponde a:

$$E = A \times FE$$

donde:

E: Tasa de emisión de olor (TEO)

A: Nivel de actividad o superficie

FE: Factor de emisión

Una vez determinada la TEO se puede realizar una estimación de la extensión de la pluma o del área de influencia. De acuerdo con el SEA (2017), la forma más simple para realizar dicha estimación es el uso de modelos simples o indicativos, los cuales permiten una cuantificación de la situación de inmisión a una cierta distancia de las emisiones de la instalación, es decir, en los receptores. Lo anterior permite determinar, de forma general, el potencial de percepción de olor en el entorno de la ubicación del proyecto o actividad. Un ejemplo de este tipo de modelos simples son los nomogramas para diferentes actividades, los que corresponden a gráficos bidimensionales, en uno de sus ejes se introduce el valor de la emisión de olor y en el otro se indica la distancia a la que se estima que existe un determinado impacto odorífico. Los criterios comúnmente utilizados corresponden a un límite de concentración para un percentil de promedios horarios.

A continuación, se presenta un nomograma para plantas de compostaje. A modo de ejemplo, para una TEO de 40×10^6 UO/h, se obtendría una extensión del área de influencia (criterio de 1 UO/m³ percentil 98 de promedios horarios) de aproximadamente 400 m.

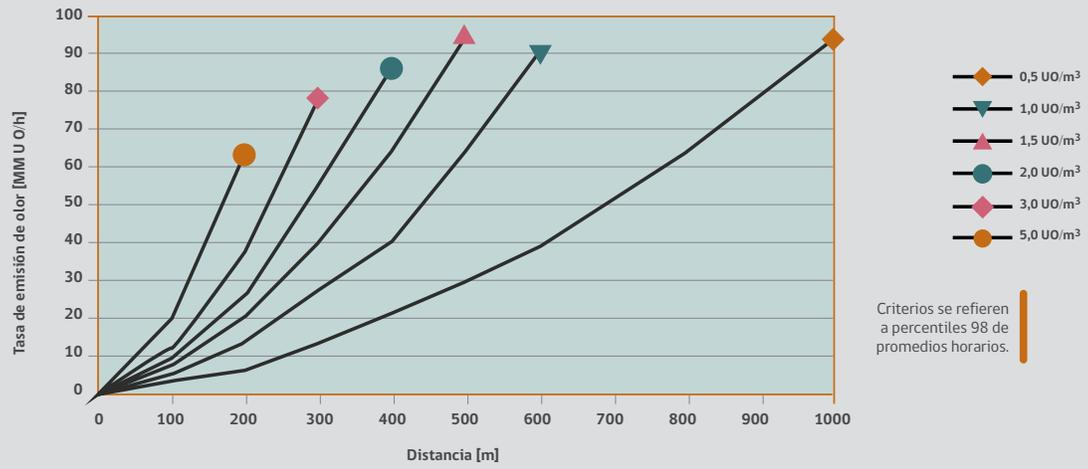


FIGURA E.2: Nomograma para plantas de compostaje (según INFOMIL, 2004)

F. EJEMPLO DISEÑO TIPO PLANTA DE COMPOSTAJE

En este Anexo se presenta un diseño tipo para una planta de compostaje municipal ficticia que atiende una población de entre 7.500 a 12.500 habitantes. Se asume que esta instalación se localizará en una comuna con características rurales en el sur de Chile.

Los datos de entrada para el diseño son los siguientes:

TABLA F.1: Datos de entrada

Comuna	Ficticia (en la región de Ñuble)
Población atendida	10.000 hab
Generación per cápita	0,91 kg/hab/d
Proporción de residuos orgánicos	71%
Porcentaje de participación de la población y recuperación de residuos orgánicos compostables	50 a 80% (se asume 80%)
Precipitaciones según periodo de retorno	Promedio anual: 765 mm 100 años: 1.800 mm

Se proyecta una planta de compostaje municipal pequeña con una alta tasa de participación y recuperación de residuos orgánicos domiciliarios. Estos se combinan con residuos de jardines, podas y actividades de ornato y residuos de la feria local.

La cantidad de residuos a procesar se estima de la siguiente manera:

TABLA F.2: Cantidad de residuos orgánicos que procesar

Residuos orgánicos domiciliarios	$10.000 \text{ [hab]} \times 0,91 \text{ [kg/hab/d]} \times 0,71 \times 0,8 \times 365 \text{ [d/a]} / 1.000 \text{ [kg/ton]} = 1.900 \text{ [ton/a]}$
Residuos de feria	150 ton/a
Residuos jardines, podas y ornato	450 ton/a
Cantidad total anual	2.500 ton/a
Días de trabajo	250 d/a
Recepción diaria	10 ton/d
Categoría de instalación	C
Residuos	Clase 1, 2 y 3

Por lo tanto, se trata de una instalación de valorización Categoría C que recibe residuos Clase 1, 2 y 3.

Se proyecta una planta de compostaje pequeña sobre una superficie y en hileras descubiertas al aire libre. Como método de compostaje se consideran pilas continuas con volteo. Se proyecta una rotación anual del sitio, con seis meses de compostaje activo y seis meses de maduración y almacenamiento. La planta opera aproximadamente 250 a 260 días al año.

TABLA F.3: Tipo de proceso

Clasificación	Pilas continuas con volteo
Techo	No considera
Tiempo de compostaje activo	120 días
Tiempo de maduración y almacenamiento	180 días

Para dimensionar el área de compostaje se debe tomar en cuenta que la densidad de residuos orgánicos recolectados mediante camión está del orden de 500 a 600 kg/m³. La densidad de residuos de ornato usualmente no supera los 250 kg/m³. Para la mezcla se asume una densidad aparente inicial de 0,5 ton/m³, por lo cual se debe procesar semanalmente un volumen de 100 m³.

TABLA F.4: Dimensionamiento compostaje activo

Volumen de residuos a procesar	10 [ton/d] x 2 [m ³ /ton] = 20 [m ³ /d]
Dimensiones de las pilas	Las dimensiones de las pilas son: <ul style="list-style-type: none"> ▸ Tipo de pila: triangular a trapezoidal ▸ Ancho: 3 m ▸ Altura máxima: 1,5 a 1,6 m ▸ Área de la sección: 2 a 2,5 m² ▸ Largo semanal: aprox. 40 a 50 m
Cantidad de pilas para compostaje activo	Volumen de cada pila: 100 m ³ Semanas: 26 (como máximo) Cantidad de pilas: 26
Superficies	
Por pila	120 m ² (3 m x 40 m)
Separación entre pilas	3 m
Espacio en los extremos de las pilas (perímetro)	7 m
Área necesaria	aprox. 7.000 m ²

Con la finalidad de emplear un equipo voltear propulsado por un tractor, se contemplan pilas con una altura máxima de 1,5 a 1,6 metros y un ancho de 3 metros, por lo cual también se requiere de un espacio de 3 metros entre las pilas que permita el paso del equipo. También se considera un perímetro de 7 metros alrededor de las hileras para facilitar las maniobras del tractor y equipo volteador. Por lo tanto, el área necesaria para el compostaje se calcula en 0,7 ha, como máximo.

Para el cálculo del área de maduración, se considera una pérdida de un 50% en la masa de los residuos producto de la degradación orgánica y evaporación. Además, se asume una densidad aparente de 0,7 ton/m³. Para la manipulación se considera un minicargador que permite una altura de la pila de hasta 3 metros.

TABLA F.5: Dimensionamiento maduración

Volumen de compost a procesar	$0,5 \times 10 \text{ [ton/d]} \times 1,4 \text{ [m}^3\text{/ton]} = 7 \text{ [m}^3\text{/d]}$
Dimensiones de las pilas	<p>Las dimensiones de las pilas son:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▸ Tipo de pila: trapezoidal ▸ Ancho: 5 m ▸ Altura máxima: 3 m ▸ Área de la sección: 10 m² ▸ Tiempo de permanencia: 26 semanas ▸ Volumen total: $26 \text{ [sem]} \times 5 \text{ [d/sem]} \times 7 \text{ [m}^3\text{/d]} = 900 \text{ [m}^3\text{]}$ ▸ Largo total: $900 \text{ [m}^3\text{]} / 10 \text{ [m}^2\text{]} = 90 \text{ m}$
Zona de maduración	1.100 m ² , considerando pilas y perímetro

Entonces, el espacio necesario para implementar la planta de compostaje es de aproximadamente 1 hectárea.

TABLA F.6: Resumen superficies

Cancha compostaje activo	7.000 m ²
Zona de maduración	1.100 m ²
Zona de recepción	200 m ²
Área de almacenamiento de material estructurante	100 m ²
Almacenamiento de residuos de rechazo	50 m ²
Área de maniobras y mezcla	250 m ²
Área de pos-procesamiento	200 m ²
Oficina de administración, servicios sanitarios y estacionamientos	100 m ²
Piscina	1.000 m ²
Superficie total	10.000 m ²

Para el balance hídrico se considera el mes más desfavorable, usualmente en invierno. Ahora bien, es sabido que solamente una fracción mínima de las precipitaciones sobre las pilas se convierte en lixiviado. Según Lebensministerium (2005), diferentes autores determinaron esta fracción en entre 2 a 4% o entre 10 a 15% (máximo 20%), dependiendo de la forma y altura de la pila, así como la materia prima a compostar. Entonces, las precipitaciones leves son totalmente absorbidas, mientras que son las precipitaciones fuertes que potencialmente provocan la generación de lixiviados, razón por la cual algunos autores sugieren el empleo de diferentes criterios relacionados con: precipitaciones máximas en 48 horas con periodo de retorno de cinco años (para Austria: Lebensministerium, 2005) o en 24 horas con periodo de retorno de 10 años (para el País Vasco: ARC, 2016). Este último criterio también sirve para el dimensionamiento de algunos componentes (canaletas, bombas, etc.).

TABLA F.7: Balance hídrico

Precipitaciones según periodo de retorno	Promedio anual: 765 mm 100 años: 1.800 mm		
Evapotranspiración y Precipitación media mensual	Mes	Precipitación [mm]	Evapotranspiración [mm]
	Enero	15	240
	Febrero	20	200
	Marzo	25	160
	Abril	60	100
	Mayo	120	45
	Junio	155	30
	Julio	130	40
	Agosto	95	70
	Septiembre	65	90
	Octubre	40	110
	Noviembre	25	150
	Diciembre	15	180
Evapotranspiración anual	1.425 mm		
Máxima precipitación	Diaria (24 horas), anual: 72 mm Diaria (24 horas), 10 años: 103 mm En 48 horas, 5 años: 135 mm		
Áreas aportantes	Superficies de pilas: $3.120 \text{ [m}^2\text{]} + 450 \text{ [m}^2\text{]} = 3.570 \text{ [m}^2\text{]}$ Otras superficies: 4.430 m^2 Superficie total: 8.000 m^2		
Factor seguridad	1,5		
Volumen necesario (según Criterio I)	$1,5 [-] \times 8.000 \text{ [m}^2\text{]} \times 103 \text{ [mm]} / 1.000 \text{ [mm/m]} = 1.250 \text{ m}^3$		
Volumen necesario (según Criterio II)	$1,2 [-] \times 8.000 \text{ [m}^2\text{]} \times 135 \text{ [mm]} / 1.000 \text{ [mm/m]} = 1.320 \text{ m}^3$		
Volumen necesario (según Criterio III)	Pilas: $3.570 \text{ [m}^2\text{]} \times (0,2 \times (120+155+130+95) \text{ [mm]} - (45+30+40+70) \text{ [mm]}) / 1.000 \text{ [mm/m]} = 0 \text{ m}^3$ Otras superficies: $4.430 \text{ [m}^2\text{]} \times ((120+155+130+95) \text{ [mm]} - (45+30+40+70) \text{ [mm]}) / 1.000 \text{ [mm/m]} = 1.400 \text{ m}^3$		
Volumen adoptado	1.400 m^3		
Superficie	1.000 m^2		
Profundidad	Útil: 2,3 m Total: 2,8 m		
Diseño de canales perimetrales	<ul style="list-style-type: none"> • Según Manual de Carreteras del MOP. • Materiales: Hormigón armado. • Pendiente mínima: 3%. 		

A continuación, se entrega una breve descripción de las otras áreas:

TABLA F.8: Otras áreas, personal y maquinaria

Oficina de administración y servicios sanitarios	2 contenedores marítimos acondicionados.
Caminos internos	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Red de caminos estabilizados y con pendiente controlada para evitar acumulación de agua. ▸ Ancho mínimo de 4 metros para la circulación de maquinaria y camiones. ▸ Franja perimetral de 5 a 7 metros. ▸ Señalización de seguridad en todas las vías de circulación.
Personal y maquinaria	
Personal	1 administrador de planta. 2 operarios de maquinaria. 2 operarios de manejo de residuos y compost.
Maquinaria	1 volteador de compost propulsado por tractor. 1 tamiz mecánico para refinado del compost. 1 minicargador o retroexcavadora para mantenimiento de caminos y manejo de lixiviados.

