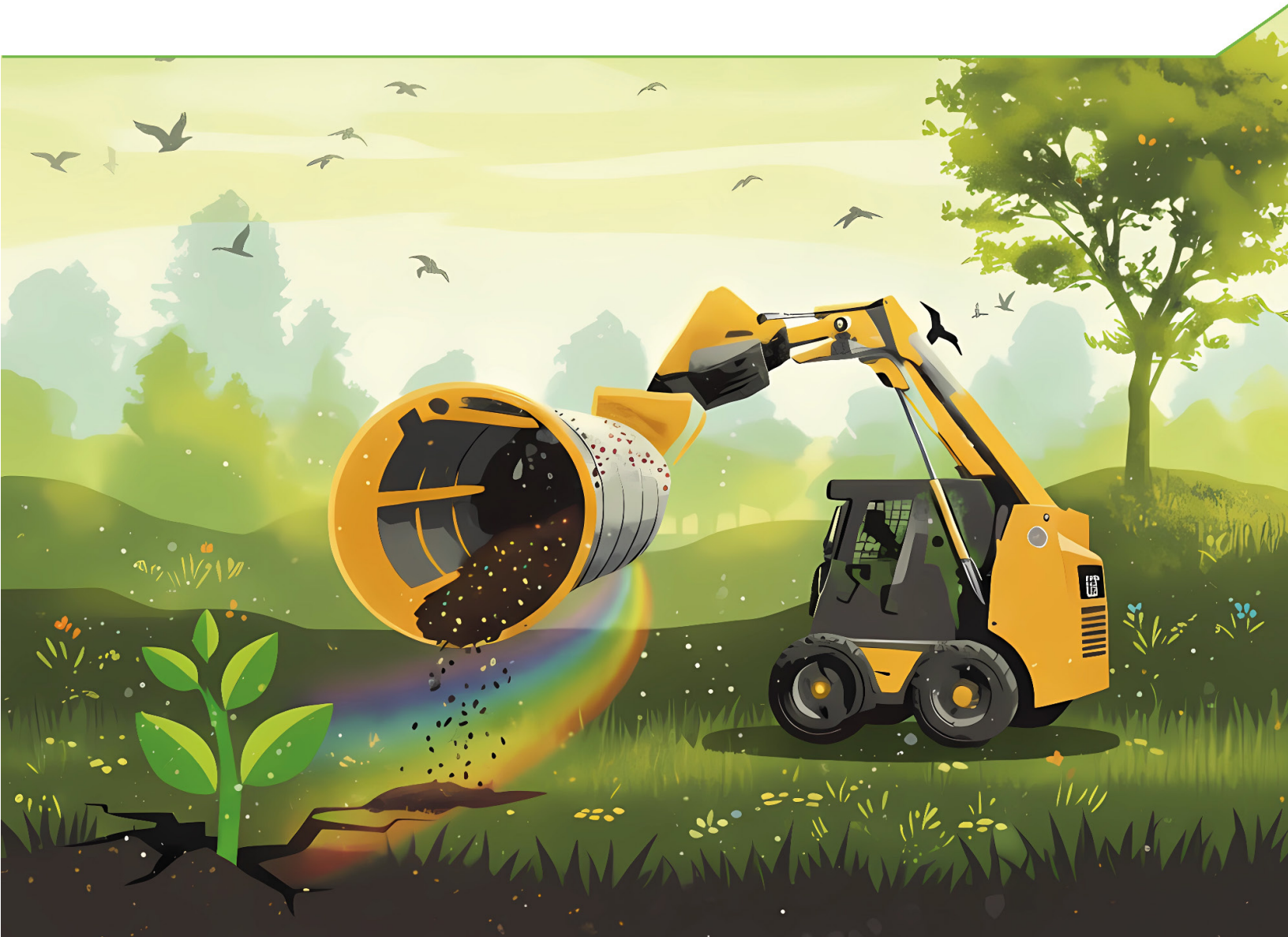


GUÍA PARA LA OPERACIÓN DE PLANTAS DE COMPOSTAJE



MINISTERIO DE DESARROLLO PRODUCTIVO RURAL Y AGUA

AUTORIDADES:

Oscar Mario Justiniano Pinto - *MINISTRO DE DESARROLLO PRODUCTIVO RURAL Y AGUA*

Viviana Mariscal Montaña - *VICEMINISTRA DE RECURSOS HIDRICOS RIEGO AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO*

Vladimir Onny Gutiérrez Ledezma - *DIRECTOR GENERAL DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS*

EQUIPO TÉCNICO:

ADAPTACIÓN Y ELABORACIÓN: Marco Antonio Quispe Villca

REVISIÓN: Vladimir Onny Gutiérrez Ledezma, Daniela Ruiz Illescas

AGRADECIMIENTOS:

Elisenda Realp Campalans - *AGENCIA DE RESIDUOS DE CATALUNYA*

PRIMERA EDICIÓN: 2026

Guía realizada en base a: "Guía práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje" de la Agència de Residus de Catalunya- 2016.

Esta publicación debe ser citada como:

MDPRyA/VRHRAPySB/DGGIR/Guía para la operación de plantas de compostaje, 2026

DIRECCIÓN: AV. MCAL. SANTA CRUZ, EDIF. CENTRO DE COMUNICACIONES LA PAZ,
PISO 20, TELÉFONO: TELÉFONO: +591 (2) 2184444, LINEA GRATUITA: 800101585

www.produccion.gob.bo



OSCAR MARIO JUSTINIANO PINTO
MINISTRO DE DESARROLLO PRODUCTIVO RURAL Y AGUA

ESTIMADO(A) LECTOR(A)

El Ministerio de Desarrollo Productivo Rural y Agua, a través del Viceministerio de Recursos Hídricos Riego Agua Potable y Saneamiento Básico, en el marco de las políticas de Estado, pone a su disposición la "GUÍA PARA LA OPERACIÓN DE PLANTAS DE COMPOSTAJE", con la finalidad de promover y orientar el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos a través de instalaciones que permitan el ciclo ecológico de conversión manual o tecnificada de los residuos orgánicos en mejoradores de suelo, fertilizantes y abonos para distintas aplicaciones.

Siendo el compostaje y lombricultura alternativas de bajo costo y fácil aplicación que permiten reducir la cantidad de residuos sólidos que son destinados a disposición final, proteger el medio ambiente, la salud humana y el cuidado de la Madre Tierra.

Esperamos que esta guía sea de beneficio para el desarrollo y operación de proyectos e iniciativas de aprovechamiento de residuos orgánicos en el estado plurinacional de Bolivia.



OSCAR MARIO JUSTINIANO PINTO
MINISTRO DE DESARROLLO
PRODUCTIVO RURAL Y AGUA

INDICE

INTRODUCCIÓN	8
OBJETIVOS	8
LOS INICIOS.....	9
EL CICLO DE LA MATERIA ORGÁNICA.....	9
IDEAS BÁSICAS	10
EL PROCESO DE COMPOSTAJE	10
CONDICIONES FAVORABLES PARA LOS MICROORGANISMOS.....	11
CONCEPTOS BÁSICOS.....	13
CONDICIONES FAVORABLES PARA LOS MICROORGANISMOS.....	14
RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE	16
FASES	16
ALMACENAMIENTO INICIAL DOMICILIARIO.....	16
RECOLECCIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS.....	18
RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE MATERIALES	22
FASES	23
CERRAMIENTO	23
TIPOS DE MATERIALES	23
RESIDUOS DE BAJA DEGRADABILIDAD (RBD).....	23
RESIDUOS DE ALTA DEGRADABILIDAD (RAD).....	23
MATERIALES DE ENTRADA.....	25
ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS	31
ZONAS DE DESCARGA Y DE ALMACENAMIENTO TEMPORAL Y EQUIPOS.....	31
ZONA DE DESCARGA.....	31
ZONA DE ALMACENAMIENTO PREVIO.....	31
CARACTERÍSTICAS DE LAS ÁREAS DE DESCARGA Y SU OPERACIÓN.....	32
LIMPIEZA DE LOS VEHÍCULOS DE TRANSPORTE.....	32
PESAJE.....	33
DURACIÓN Y CAPACIDAD MÁXIMAS DEL ALMACENAMIENTO TEMPORAL.....	34
PETRAMIENTO:	36
MEZCLA Y HOMOGENEIZACIÓN	36
FASES	38
LOS ESTRUCTURANTES Y SUS CARACTERÍSTICAS.....	39
OTROS MATERIALES COMPLEMENTARIOS.....	40

ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS.....	41
DESCOMPOSICIÓN.....	46
CONFORMACIÓN DE PILAS.....	47
SISTEMAS TECNOLÓGICOS.....	55
MADURACIÓN.....	57
LA AIREACIÓN FORZADA EN LA ETAPA DE MADURACIÓN	57
DURACIÓN DE LA ETAPA DE MADURACIÓN.....	58
SUPERFICIE NECESARIA.....	58
LA INCORPORACIÓN DE LÍQUIDOS.....	60
CONTROL DEL PROCESO.....	60
EJEMPLO DE CASO: PLANTA TIQUIPAYA.....	61
SISTEMAS TECNOLÓGICOS.....	62
EQUIPOS PARA EL VOLTEO DE PILAS DE COMPOSTAJE (DESCOMPOSICIÓN Y MADURACIÓN).....	63
POST TRATAMIENTO.....	65
FASES	65
CONFINAMIENTO DE ESTA OPERACIÓN	66
MATERIALES RESULTANTES DEL POST TRATAMIENTO.....	66
CRIBADO.....	67
EJEMPLO DE CASO: PLANTA TIQUIPAYA.....	68
ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS	70
ALMACENAMIENTO Y OPERACIONES COMPLEMENTARIAS	73
ALMACENAMIENTO DE COMPOST	73
FASES	73
DURACIÓN.....	74
CARACTERÍSTICAS DEL ALMACÉN	74
ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS.....	75
INSTALACIONES Y EQUIPOS COMPLEMENTARIOS.....	76
EDIFICIOS DE SERVICIO	76
ÁREA DE VERMICOMPOSTAJE.....	77
ZONA PERIMETRAL.....	78
BALSAS O DEPÓSITOS DE PLUVIALES O LIXIVIADOS	78
SISTEMA DE TRATAMIENTO DE GASES.....	80
SISTEMAS DE ELIMINACIÓN DE POLVO	83
INSTALACIONES CONTRA INCENDIOS	83
ANEXOS	85
A1 PARÁMETROS DE ESTABILIDAD	85

Y MADUREZ DEL COMPOST	85
A2 DIMENSIONAMIENTO DE LAS BALSAS DE LIXIVIADOS Y AGUAS PLUVIALES.....	86
DIMENSIONAMIENTO DE BALSAS Y DEPÓSITOS DE LIXIVIADOS EN INSTALACIÓN CUBIERTA	86
DIMENSIONAMIENTO DE BALSAS, DEPÓSITOS DE AGUAS PLUVIALES O LIXIVIADOS INSTALACIÓN DESCUBIERTA	86
A3 MÉTODOS DE PRUEBA PARA CALIDAD DE COMPOST.	88
A4 INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA PLANTA TIQUIPAYA	89
ANÁLISIS DE COMPOST	89
VENTA DE COMPOST	90
COSTOS DE INVERSIÓN	90
A5 CHECK LIST CALIDAD DE OPERACIÓN DE PLANTAS DE COMPOSTAJE.....	92

LISTA DE TABLAS

GRUPOS DE LOS MATERIALES COMPOSTABLES, CLASIFICADOS SEGÚN SU BIODEGRADABILIDAD:.....	24
RELACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS VALORIZABLES MEDIANTE COMPOSTAJE, SEGÚN LA CODIFICACIÓN DE LA LISTA EUROPEA DE RESIDUOS.	26
NECESIDAD DE BÁSCULA EN LAS INSTALACIONES DE COMPOSTAJE:.....	33
VARIABLES DEL PROCESO DE COMPOSTAJE Y RANGO ÓPTIMAS DE LOS MATERIALES O MEZCLAS.	37
CARACTERÍSTICAS DE DIFERENTES ESTRUCTURANTES	39
PROPORCIÓN VOLUMÉTRICA MÍNIMA ACEPTABLE DE ESTRUCTURANTE PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN.	40
MATERIALES COMPLEMENTARIOS, LOS PARÁMETROS Y SENTIDO DE SU ACTUACIÓN	40
EJEMPLOS DE CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA (CC D).	48
RANGOS DE TEMPERATURA-TIEMPO COMÚNMENTE APLICADOS EN NORMATIVA Y ESTÁNDARES DE COMPOSTAJE.	50
EJEMPLO DE CÁLCULO DE RELACIÓN PRECOMPOST A MADURACIÓN / RESIDUO TRATADO.	59
NECESIDAD DE LABORATORIO EN LAS INSTALACIONES DE COMPOSTAJE.....	76
PARÁMETROS MÍNIMOS PARA LABORATORIO EN PLANTA.	76
RESIDUOS ORGÁNICOS PARA LOMBRICULTURA	78
MEDIDAS QUE LAS INSTALACIONES DE COMPOSTAJE DEBEN APLICAR PARA EVITAR INCENDIOS FORESTALES.....	78
MÉTODOS PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD Y MADUREZ DEL COMPOST	85
ESTABILIDAD POR TEMPERATURA , MÉTODO ROTTEGRADE.	86
MÉTODOS DE PRUEBA PARA CALIDAD DE COMPOST EN BOLIVIA.	88
CARACTERIZACIÓN DE COMPOST PLANTA TIQUIPAYA.....	89
PRECIO DE VENTA DE COMPOST (2018).....	90
COSTOS DE INVERSIÓN PLANTA TIQUIPAYA	90
CHECK LIST GENERAL DE OPERACIONES DE PLANTA DE COMPOSTAJE.....	92



INTRODUCCIÓN

Esta guía tiene la voluntad de facilitar la comprensión del proceso de compostaje y de aquellos elementos necesarios e imprescindibles para la operación de una planta de compostaje.

Pretende recoger todos los conceptos relacionados con este proceso de transformación de la materia orgánica y la forma de llevarlos a la práctica.

Está dirigida a los técnicos de municipios y empresas con responsabilidad en la operación, la información, la evaluación y la inspección de los procesos de tratamiento biológico de residuos orgánicos a través de la tecnología del compostaje, y a todos los interesados en la transformación, la valorización y el uso de la materia biodegradable.

OBJETIVOS

Los objetivos de la guía se concretan en proporcionar una base de criterios para:

- I) La identificación, incorporación y evaluación objetiva de los condicionantes del medio y del proceso para cada una de las etapas o procesos de una planta de compostaje de residuos orgánicos.
- II) La descripción y la evaluación de soluciones tecnológicas existentes para mejorar y optimizar las operaciones que configuran el compostaje de residuos orgánicos en plantas públicas y/o privadas del país.
- III) Facilitar la adecuación de la operación de las plantas del compostaje con base a un análisis de estudio de caso en consonancia a la normativa vigente.

Los inicios

Los primeros autores de tratados de agricultura, Plinio el Viejo (Gaius Plinius Secundus, 23 d. C. - 79 d. C.) y Columela (Lucius Junius Moderatus, 4 d. C. - 70 d. C.), ya mencionaban en sus obras cómo elaborar compost y la importancia de su uso.

Desde estos autores romanos hasta hoy, la transformación de la materia orgánica no ha cambiado; solo la hemos estudiado más y la hemos tecnificado para poder aprovecharla mejor. En esta guía se entiende por ciclo de materia orgánica el proceso de los fitonutrientes que pasan del suelo a cultivos que aprovechan los animales y los humanos.

El ciclo de la materia orgánica

Tradicionalmente, los sectores agrarios y ganaderos han hecho prevalecer la recuperación y la reutilización de restos vegetales, de cosechas y del estiércol de los animales para utilizarlos como abono agrícola. En estos ámbitos no se desperdician los residuos orgánicos que se producen.

En el ámbito urbano, se han articulado mecanismos de recolección selectiva de los residuos orgánicos con el fin de aprovecharlos y destinarlos hacia sistemas de tratamiento —plantas de compostaje y otras—, para así transformarlos en compost, devolver los fitonutrientes al suelo y reiniciar el ciclo.



IDEAS BÁSICAS

El compostaje es tan antiguo como la agricultura y hasta hace pocas décadas ha estado ligado exclusivamente a la filosofía de conservación de la fertilidad del suelo.

Sin embargo, hoy en día, el interés por el compostaje radica sobre todo en la necesidad de buscar soluciones a la gestión de los residuos orgánicos, recuperando los recursos en forma de **COMPOST**, producto que obtenemos del proceso de compostaje y que contribuye a la protección del suelo contra la erosión, a incrementar los niveles de materia orgánica, la mejora de la retención del agua en los suelos, etc., aspectos esenciales para la protección de un recurso tan valioso como son los suelos.

Las características más destacables del proceso de compostaje son las siguientes:

1. Reduce el volumen de residuos, facilita el almacenamiento de estos residuos, permite un mejor aprovechamiento agrícola, y más flexible, y minimiza el riesgo sanitario inherente a todas las operaciones anteriores.
2. Tiene un fundamento simple, es muy robusto y versátil, se puede aplicar a diferentes tipos de residuos orgánicos y mezclas, y a escalas de trabajo muy diversas, y requiere sistemas tecnológicos mucho o poco sofisticados.



EL PROCESO DE COMPOSTAJE

El compostaje es un sistema de tratamiento de residuos orgánicos biodegradables basado en una actividad microbiológica compleja, realizada en condiciones controladas (siempre aeróbicas y mayoritariamente termófilas). Esta genera un producto estable que se puede almacenar sin inconvenientes y que se higieniza sanitariamente.



Condiciones favorables para los microorganismos.

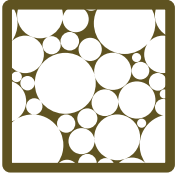
Deben crearse unas condiciones de trabajo adecuadas para asegurar:

- Una mezcla de residuos bastante esponjosa que permita una retención de agua correcta y una porosidad suficiente para facilitar la circulación de aire.
- Oxígeno (aire) suficiente.
- Un grado de humedad adecuado.
- Una adecuada temperatura.
- Un óptimo equilibrio de nutrientes y una adecuada relación de carbono disponible respecto al nitrógeno ($C_{\text{disponible}}/N$).

Las altas temperaturas que alcanza el compostaje también representan una ventaja desde el punto de vista higiénico: a partir de los 55 °C se eliminan patógenos y semillas, así como propágulos de «malas hierbas». En el proceso de higienización del material también intervienen las bacterias, los actinomicetos y los hongos, que producen productos antibióticos.

Para alcanzar estas condiciones óptimas de partida, a menudo debe recurrirse a la mezcla de residuos orgánicos, lo que nos lleva a hablar de compostaje.

Parámetros principales



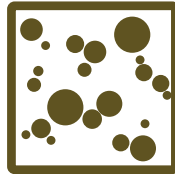
Porosidad
cerca del 30 %



Humedad
50-70 %



Temperatura
50-65 °C



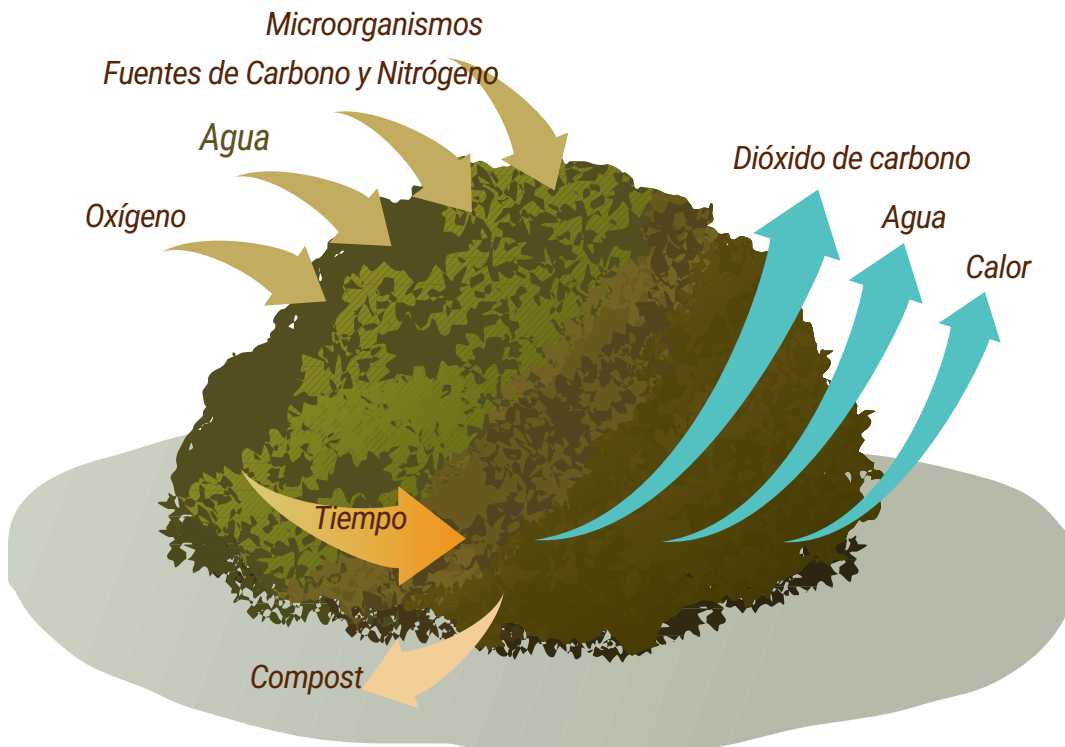
Oxígeno
15-21 %



pH
6-8



Con los
microorganismos
adecuados



Conceptos básicos

Los conceptos básicos utilizados en esta guía y que afectan el proceso de compostaje propiamente dicho —las operaciones basadas en la actividad biológica— son los siguientes:

1. Se entiende por etapa de descomposición el periodo en el que los materiales que se han de compostar contienen mucha materia orgánica biodegradable y debe asegurarse un suministro de oxígeno en el interior que sea suficiente para cubrir la demanda de los microorganismos. Por lo tanto, a efectos prácticos, la etapa de descomposición es aquella en la que es imprescindible la aireación¹ para no incurrir en anoxia. De este modo, asegurando la aireación, se optimiza la actividad microbiana y se minimiza la emisión de sustancias malolientes reducidas, de gran impacto sobre el entorno.
2. Se entiende por etapa de maduración el periodo posterior en el que ya no queda tanta materia orgánica biodegradable (por lo tanto, no hay tanto requerimiento de oxígeno) y en la que de forma espontánea ya se mantienen condiciones de aerobiosis.
3. La duración de las distintas etapas del proceso de compostaje es variable, ya que depende de la riqueza de la materia orgánica, del control que se lleva a cabo del proceso, de la calidad de la mezcla, de los sistemas tecnológicos utilizados, etc.

¹ La aireación debe ser forzada, salvo en el caso de pilas de muy pequeño tamaño, muy estructuradas o en condiciones específicas en las que la aireación natural es suficiente para aportar oxígeno a toda la masa

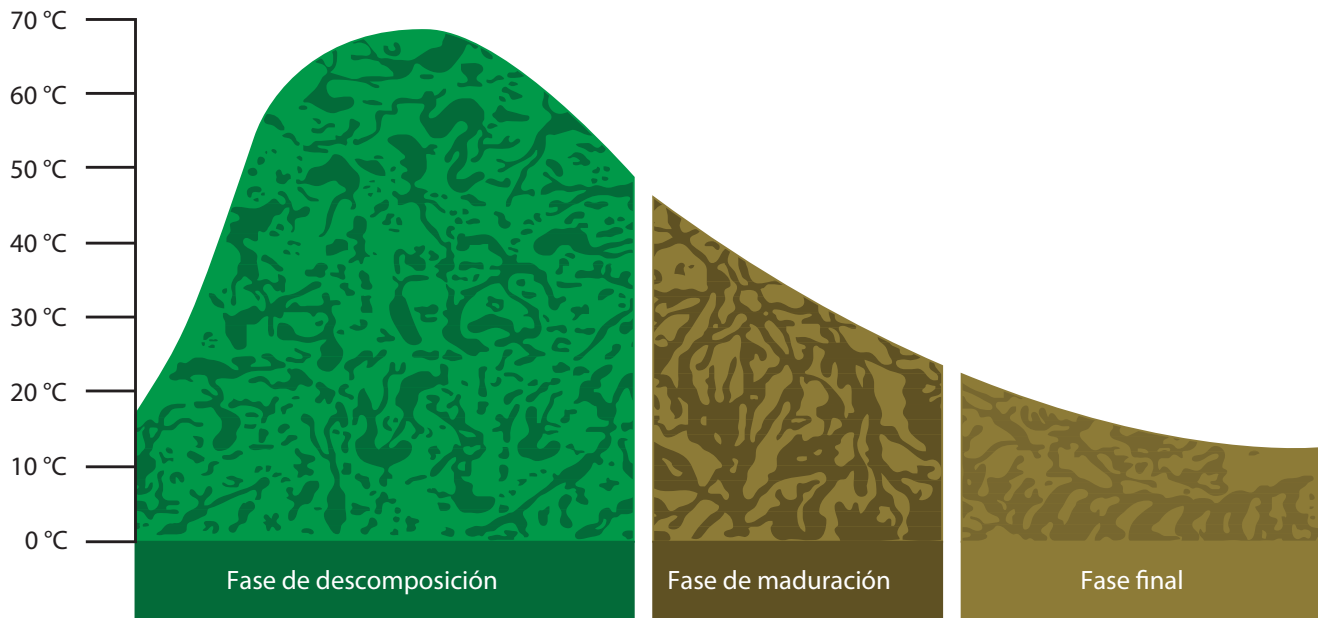


Esta guía incidirá sobre los aspectos relativos a:
La capacidad de la instalación.
La calidad del producto final: el compost.
La configuración de la instalación para tratar múltiples residuos orgánicos.

Estos conceptos se desarrollarán en los distintos capítulos de esta guía.

Evolución de la temperatura y la proporción de microorganismos a lo largo del proceso de compostaje:

Condiciones favorables para los microorganismos.





PLANTA DE
COMPOSTAJE

PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPAL DE POTOSI-PROGRAMA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS EN BOLIVIA GIRS BO-L1073.
PROYECTO "CONSTRUCCIÓN DEL COMPLEJO DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA LA CIUDAD DE POTOSÍ"

01

RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE

Esta etapa engloba todas las operaciones realizadas entre el almacenamiento inicial de los residuos orgánicos en contenedores, su recolección y transporte hacia la planta de compostaje:

1. El almacenamiento inicial de los residuos en contenedores domiciliarios o de vía pública.
2. La recolección de contenedores, o directa de los generadores, junto a los sistemas manuales o mecanizados.
3. El transporte adecuado de los residuos orgánicos y distintos tipos de vehículos.

Es muy importante seleccionar el mejor sistema de recojo ya que esto evitará sufrir costes de inversión u operación del servicio insostenibles o altos, y también minimizar el impacto ambiental en las operaciones.

FASES

ALMACENAMIENTO INICIAL DOMICILIARIO

Para esta fase son válidos diferentes contenedores (bolsas, recipientes) que minimamente se diferencien para uso exclusivo de fracción orgánica y permitan su aireación y así evitar su descomposición aneróbica.

Basureros aireados y bolsas compostables

Presenta una serie de ventajas respecto a otros sistemas. Permite la transpiración del líquido en forma de vapor que contienen los restos orgánicos. De esta forma, se evita la acumulación de lixiviados, se reduce el peso de los residuos y se optimiza la resistencia de la bolsa compostable. Asimismo, se comprueba una reducción de los olores generados por posibles fermentaciones anaeróbicas de los residuos orgánicos.

Ejemplo de juego de separación en origen para compostaje de residuos orgánicos.

1. CANASTILLO CALADO DE 10 LITROS APROX. Tienen la particularidad de que disponen de una serie de perforaciones y aberturas en las paredes y en la tapa que favorece la transpiración.

2. BOLSAS COMPOSTABLES

Las bolsas compostables se fabrican mediante polímeros orgánicos de origen vegetal, lo que garantiza su completa descomposición durante la fase de degradación de la materia orgánica a través de procesos de biodegradación o compostaje.

3. IMANTADOS

Este elemento gráfico perdurable permite identificar los residuos que se deben depositar en el contenedor verde.



¿Como saber que un polímero es orgánico?

La norma europea UNE-EN 13432:2001, Envases y embalajes. Requisitos de los envases y embalajes valorizables mediante compostaje y biodegradación. Programa de ensayo y criterios de evaluación para la aceptación final del envase o embalaje, centra su contenido en cuatro puntos principales:

1. El control de los componentes con la verificación de la ausencia de materiales pesados.
2. El umbral de la biodegradabilidad es de un 90% y 6 meses máximo.
3. La desintegración debe generarse en fragmentos de materiales inferiores a 2mm X 2mm después de 12 semanas.
4. La ecotoxicidad del humus.

Otras normas que pueden ser equivalentes a las anteriores son: ASTM D 6400/2004, americana, BNQ 9011-911/2007, canadiense, y la JBPA/2011, japonesa.

¿Que es una bolsa compostable y que otro tipo de bolsas podemos utilizar?

Son similares a las biodegradables, pero con un tiempo menor de descomposición. A nivel internacional existen sellos que diferencian estas bolsas como el usado en Belgica "Ok Compost" ú "Ok compost Home" (para compostar en casa) entre otros.

En casos donde puedan aplicarse, se pueden utilizar bolsas de papel, tocuyo o fibras o textiles orgánicos.

Las bolsas oxodegradables, fotodegradables y otras que contengan polímeros sintéticos NO PUEDEN COMPOSTARSE.

RECOLECCIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS

Para una buena recolección de los residuos, **independientemente al tipo de vehículo empleado**, es importante contar con:

1. Visibilidad de la recolección de residuos orgánicos, se refiere poner al carro recolector letreros o gigantografías que muestren que el Municipio ya realiza el reciclaje de los residuos orgánicos.
2. Cumplimiento de rutas y horarios establecidos
3. Dispositivos de colección de lixiviados, son depósitos para el lixiviado o lechada, que se genera durante el transporte en la caja o tolva, ver Fig. 2.
4. Protección adecuada de los residuos transportados, se refiere al uso de lonas o carpas para cubrir los residuos durante su transporte en recolectores con tolva (volquetas, motocargos y otros similares).
5. Dispositivos para el izaje de contenedores, se refiere a sistemas de autocargado de contenedores barriales o de mercados, los cuales por la densidad de los RSO son pesados y su cargado manual es ineficiente.
6. Frecuencia adecuada de recolección, para evitar la generación de malos olores y focos de infección por descomposición anaeróbica, una frecuencia óptima sería la de día por medio.

FIG. 1

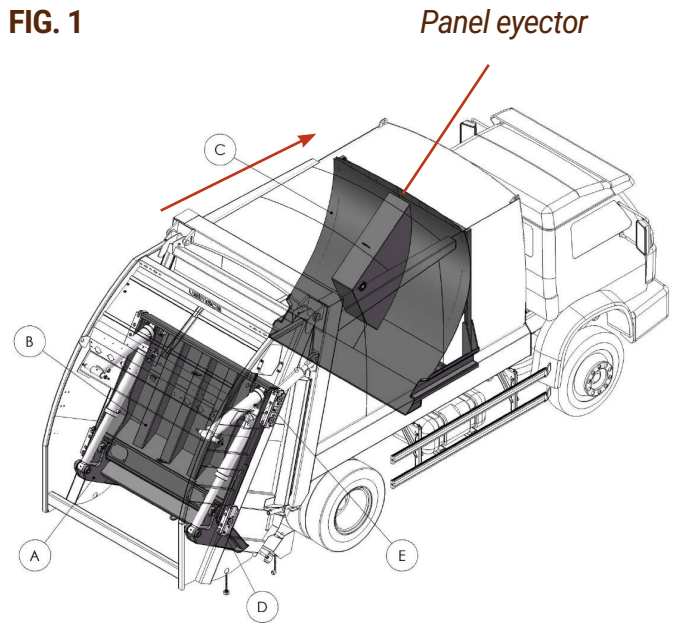
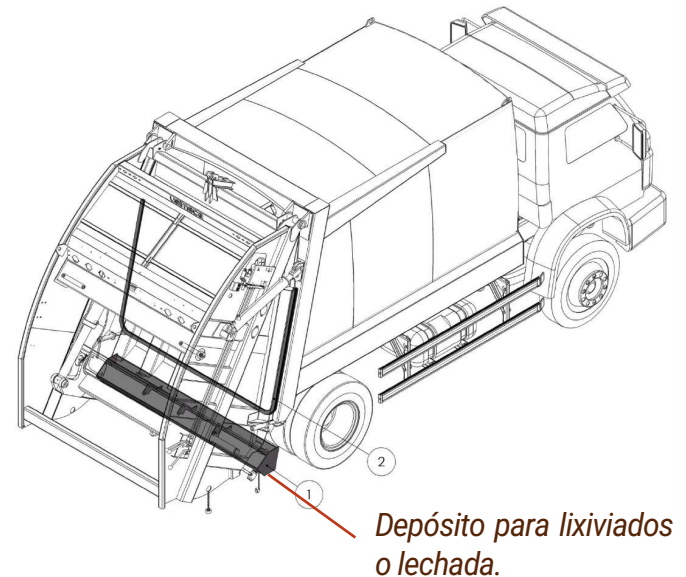


FIG. 2



Sistemas económicos de izaje de contenedores.

Alza Contenedor Metálico – modelo Winch



Alza sin brazos, para Contenedor Metálico – modelo DI



Alza con brazos, para Contenedor Metálico y Plástico – modelo DIMP



Lifter para contenedores plásticos, (02 y 04 ruedas EURO, sin brazos), (02 y 04 ruedas EURO, con brazos), (02 y 04 ruedas EURO / AMERICANO, con brazos), o similar



Lifter para contenedores plásticos de 02 ruedas 240 - 360 litros – (AMERICANO) (EUROPEO) (EUROPEO / AMERICANO), o similar.



Tips para la recolección de residuos orgánicos.

En caso de aplicarse recolectores con sistema de compactación, previo a empezar la recolección debe de trasladar el panel eyector al fondo, así los residuos serán cargados sin compactarse, ver Fig.1.

Aplicación de volquetas para recolección de residuos orgánicos.

Emplear un camión volqueta para la recolección de residuos orgánicos, puede representar para la operación de recolección de residuos, un incremento del número de operarios (habitualmente dos en tolva y dos en piso), baja compactación de los residuos en tolva, requerimiento de ampliación de la capacidad volumetrica aumentado la altura de paredes laterales de tolva, no obstante muchos municipios de Bolivia emplean este tipo de vehículo.



Considerando que la altura de la tolva es el principal aspecto que dificulta y torna pesado el trabajo de recolección, sobretodo cuando se han implementado contenedores para el almacenamiento de residuos en mercados y otros, se pueden adicionar a la flota de recolección implementos que aligeren el trabajo y a la larga eviten costes de servicios personales:

Ubicación de contenedores en centros de abasto

Para facilitar la recolección de residuos orgánicos en centros de abasto como mercados, ferias, comedores, entre otros, se debe prestar atención a que el equipamiento de almacenamiento interno o intermedio cumpla con los requerimientos básicos que pueden ser:

1. Cerca a zonas de expendio de comidas, verduras y frutas de preferencia;
2. Que se ubiquen en zonas de facil acceso para los ayudantes de recolección y de ser posible cerca de la via por donde pasa el recolector;
3. Que en caso de estar lejos de la vía por donde circula el carro recolector se tengan un acceso libre de escaleras o se tengan ramblas;
4. Que los contenedores esten provistos de ruedas y bloqueo de las mismas que permitan una manipulacion comoda y segura;
5. Que los contenedores sean compatibles con el sistema de izaje de contenedores (lifter) que puedan tener los carros recolectores, los contenedores y sistemas de izaje estan normalizados;
6. En caso de emplear contenedores de plastico, este debe ser resistente a sustancias químicas y exposición al sol y que
7. Se debe concientizar a los y las vendedoras de los centros de abasto, sobre el correcto manejo de los contenedores y el cuidado de no introducir materiales inflamables o restos de cenizas y otros a fin de evitar incendios.



02

RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE MATERIALES

Esta etapa engloba todas las operaciones que tienen lugar entre la llegada de los materiales a la planta y el inicio de su pre tratamiento. Concretamente:

1. La recepción de los materiales destinados a compostaje.
2. La descarga de estos materiales, ya sea directamente en el punto de almacenamiento o bien en una zona intermedia desde donde se trasladarán hasta la zona de tratamiento, habitualmente con pala.
3. La identificación de los materiales y su inscripción en el registro de entradas y salidas de la instalación (día, hora, productor, código, cantidad, etc.).
4. El almacenamiento temporal de los materiales a la espera de pretratarlos, si es que la posterior etapa de pre tratamiento no se lleva a cabo justo después de la descarga.
5. La salida del transporte.

Es bastante habitual que el posterior pre tratamiento de los materiales se lleve a cabo inmediatamente después de la descarga, de tal modo que el almacenamiento temporal es innecesario.



FASES

También puede ser necesario efectuar las siguientes operaciones:

- El pesaje de los materiales recibidos.
- La preparación (tritución) de los materiales empleados como estructurantes. Esta operación se trata conjuntamente en este capítulo y en el siguiente.
- La limpieza de los camiones y sus cajas o tolvas.

La etapa de recepción es la que recibe los materiales más frescos y, por lo tanto, es la etapa en que resulta más necesario evaluar si se requiere el cerramiento.

CERRAMIENTO

Los factores que definen la necesidad o no de cerrar el área de alguna de las fases y de las operaciones complementarias ³ que configuran la operación de recepción y almacenamiento, son:

- 1) Las características de los materiales que se han de compostar. Si los residuos para procesar son de alta degradabilidad, es más adecuado el confinamiento.
- 2) El estudio previo de olores, a partir de la ubicación de la instalación, su entorno inmediato y las características de los materiales. Hay que confinar la recepción si se considera un alto riesgo de impacto por olores.
- 3) La existencia o no de almacenamiento temporal. Si no se puede procesar el material de inmediato y se ha de almacenar temporalmente, es necesario evaluar la necesidad del cerramiento en función de distintos parámetros, tales como la distancia a núcleos habitados.

³ Lleva implícito el cierre de la zona dónde se lleva a cabo la fase u operación, así como la aspiración y el tratamiento del aire extraído, si corresponde.

TIPOS DE MATERIALES

A efectos de definir la etapa de recepción y almacenamiento se distinguen dos tipos de materiales:

Residuos de baja degradabilidad (RBD)

Son los residuos orgánicos que individualmente se ven afectados por una actividad de descomposición microbiana muy escasa, ya sea porque les falta o escasea algún componente esencial para el desarrollo microbiano —agua, materia orgánica fácilmente degradable, nitrógeno o algún otro elemento esencial, etc.— o bien por presentar una acidez o una basicidad extremas. Mayoritariamente son residuos vegetales y, por una cuestión práctica, dentro de estos residuos se distingue la subcategoría de la fracción vegetal, que engloba todos los materiales de este origen con un importante componente leñoso y, por lo tanto, de lenta degradación: madera de poda, restos forestales, corteza, etc.

(No se incluyen dentro de la categoría de fracción vegetal los restos vegetales con restos de verduras o con una parte importante de césped —más del 30 % en volumen—, que son RAD.)

Residuos de alta degradabilidad (RAD)

Que son los susceptibles de ser biodegradados con facilidad. Por una cuestión práctica, dentro de la categoría de los RAD se distinguen dos subcategorías:

- Los RAD preestabilizados, cuando su materia orgánica ha sufrido ya algún tipo de tratamiento biológico antes de la llegada a la instalación de compostaje.
- Los RAD no preestabilizados, cuando lo anterior no ha sucedido.

Tabla No 1. Grupos de los materiales compostables, clasificados según su biodegradabilidad, fuente:

GRUPO	EJEMPLOS
RESIDUOS DE BAJA BIODEGRADABILIDAD	
Fracción vegetal	Madera de poda con menos del 30 % en volumen de césped Restos forestales Palés de madera natural (*) Cajas de verdura (*) Corteza
Otros RBD	Poso de café Lodo de papelera Paja Mazorcas Escobajo Aserrín / copos de madera
RESIDUOS DE ALTA BIODEGRADABILIDAD	
Prestabilizados	Lodos de PTAR ¹ de digestión anaeróbica Lodos de PTAR de digestión aeróbica Lodos de PTAR de oxidación prolongada Digestos resultantes de la digestión anaeróbica de FORM Compost fresco Estiércol viejo
No prestabilizados	FORM Restos de verduras Otros lodos de PTAR no considerados anteriormente Lodos de industria alimentaria Lodos de matadero Estiércol fresco Gallinaza Madera de poda con más del 30 % en volumen de césped Césped

Fuente: Guía práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje, ARC 2016

² En el marco de la ley 755 los lodos de PTAR con considerados residuos especiales.

Materiales de entrada

Los materiales de entrada deben ser materiales biodegradables que se hayan recolectado por separado y no han sido mezclados, combinados o contaminados con otros desechos potencialmente contaminantes, productos o materiales. Se excluyen los lodos de aguas residuales domiciliarias y los residuos municipales mixtos.

El operador de la planta se asegurará de que solo se acepten los insumos enumerados en listado de materiales de entrada, para compostaje, para tal fin, el operador deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- Presencia de una persona técnicamente calificada durante el horario de atención e inmediato control de recepción de los materiales entregados.
- Si la planta no cuenta con personal permanente, la instalación estará equipada con un sistema de cierre puerta o barrera y provisto de un letrero que indique el horario de atención y señalando que materias primas no debe entregarse fuera de los horarios de atención indicados.
- Protección de las instalaciones contra el acceso no autorizado (al menos una señal de advertencia).
- El operador de la planta debe documentar tanto el recibo como el rechazo de material junto con la fecha de entrega, tipo, masa, origen y proveedor.
- Dependiendo del tipo de materiales entregados, se debe tener cuidado para almacenar cada tipo de material por separado para que la composición deseada de un lote de compost y la calidad del compost se puede lograr (por ejemplo, para la agricultura orgánica).
- El material suministrado se considerará aceptado después del control y la descarga en compar-

timientos o áreas dedicadas en las instalaciones de la planta y con el permiso correspondiente.

- Sin el consentimiento previo del operador, no se depositará materia prima fuera del horario de recepción de materiales y, por lo tanto, no deberá considerado aceptado (deposición no autorizada).
- Documentación del área de descarga de los materiales de entrada (asignación a lotes, almacenamiento intermedio), lotes fuera de especificación.
- Documentación de medidas para reducir las emisiones de olores durante la recepción y el pretratamiento.
- El operador de la planta o la persona responsable debe documentar si los materiales entregados se almacenan temporalmente o directamente en un lote de compost.
- Las rutas de almacenamiento y tratamiento de los materiales que no se utilizan para el compostaje (por ejemplo, impurezas separadas, lotes de compost fuera de especificación, madera picada) será documentado.

Previo al proceso de tratamiento, se debe realizar el balance de masa de los materiales que ingresarán a la planta, verificar la relación 1:1 en volumen de la fracción orgánica (FORM) y la fracción vegetal (FV), para ello se debe tomar en cuenta los pesos volumétricos de los materiales al inicio y durante el proceso de tratamiento. Asimismo, debe considerar el porcentaje máximo de residuos improprios que podrían ingresar a planta, debiendo al efecto restar del valor inicial ingresado. Al final de proceso, se contabilizará la proporción en peso y volumen de: a) la reducción total de la materia orgánica producto de la descomposición y maduración, b) la proporción en del compost obtenido, c) la proporción de materiales orgánicos no descompuestos y d) la proporción de residuos o materiales improprios para disposición final, ver anexo A6.

Tabla No 2. Relación de residuos orgánicos valorizables mediante compostaje, según la codificación de la Lista Europea de Residuos.

CÓDIGO LER	DEFINICIÓN (RESIDUOS VALORIZABLES MEDIANTE COMPOSTAJE)
02	02 - RESIDUOS DE LA AGRICULTURA, LA HORTICULTURA, LA ACUICULTURA, LA SILVICULTURA, LA CAZA Y LA PESCA; RESIUOS DE LA PREPARACIÓN Y LA ELABORACIÓN DE ALIMENTOS
0201	0201 - RESIDUOS DE LA AGRICULTURA, LA HORTICULTURA, LA ACUICULTURA, LA SILVICULTURA, LA CAZA Y LA PESCA
020101	020101 LODOS DE LAVADO Y LIMPIEZA
020102	020102 RESIDUOS DE TEJIDOS DE ANIMALES
020103	020103 RESIDUOS DE TEJIDOS DE VEGETALES
020106	020106 HECES DE ANIMALES, ORINA Y ESTIÉRCOL (INCLUIDA LA PAJA PODRIDA) Y EFLUENTES, RECOGIDOS SELECTIVAMENTE Y TRATADOS FUERA DEL LUGAR DONDE SE GENERAN
020107	020107 RESIDUOS DE LA SILVICULTURA
0202	0202 - RESIDUOS DE LA PREPARACIÓN Y LA ELABORACIÓN DE CARNE, PESCADO Y OTROS ALIMENTOS DE ORIGEN ANIMAL
020201	020201 LODOS DE LAVADO Y LIMPIEZA
020202	020202 RESIDUOS DE TEJIDOS DE ANIMALES
020203	020203 MATERIALES INADECUADOS PARA EL CONSUMO O LA ELABORACIÓN
020204	020204 LODOS DEL TRATAMIENTO IN SITU DE EFLUENTES
0203	0203 - RESIDUOS DE LA PREPARACIÓN Y LA ELABORACIÓN DE FRUTAS, HORTALIZAS, CEREALES, ACEITES COMESTIBLES, CACAO, CAFÉ, TÉ Y TABACO; PRODUCCIÓN DE CONSERVAS; PRODUCCIÓN DE LEVADURA Y EXTRACTO DE LEVADURA, PREPARACIÓN Y FERMENTACIÓN DE MELAZAS
020301	020301 LODOS DE LAVADO, LIMPIEZA, PELADO, CENTRIFUGADO Y SEPARACIÓN
020303	020303 RESIDUOS DE LA EXTRACCIÓN CON DISOLVENTES
020304	020304 MATERIALES INADECUADOS PARA EL CONSUMO O LA ELABORACIÓN
020305	020305 LODOS DEL TRATAMIENTO IN SITU DE EFLUENTES
0204	0204 - RESIDUOS DE LA ELABORACIÓN DE AZÚCAR
020403	020403 LODOS DEL TRATAMIENTO IN SITU DE EFLUENTES
0205	0205 - RESIDUOS DE LA INDUSTRIA DE PRODUCTOS LÁCTEOS
020501	020501 MATERIALES INADECUADOS PARA EL CONSUMO O LA ELABORACIÓN
020502	020502 LODOS DEL TRATAMIENTO IN SITU DE EFLUENTES

CÓDIGO LER	DEFINICIÓN (RESIDUOS VALORIZABLES MEDIANTE COMPOSTAJE)
206	0206 - RESIDUOS DE LA INDUSTRIA DE PANADERÍA Y PASTELERÍA
20601	020601 MATERIALES INADECUADOS PARA EL CONSUMO O LA ELABORACIÓN
20603	020603 LODOS DEL TRATAMIENTO IN SITU DE EFLUENTES
207	0207 - RESIDUOS DE LA PRODUCCIÓN DE BEBIDAS ALCOHÓLICAS Y NO ALCOHÓLICAS (EXCEPTO CAFÉ, TÉ Y CACAO)
20701	020701 RESIDUOS DE LAVADO, LIMPIEZA Y REDUCCIÓN MECÁNICA DE MATERIAS PRIMAS
20702	020702 RESIDUOS DE LA DESTILACIÓN DE ALCOHOLES
20704	020704 MATERIALES INADECUADOS PARA EL CONSUMO O LA ELABORACIÓN
20705	020705 LODOS DEL TRATAMIENTO IN SITU DE EFLUENTES
3	03 - RESIDUOS DE LA TRANSFORMACIÓN DE LA MADERA Y DE LA PRODUCCIÓN DE TABLEROS Y MUEBLES, PASTA DE PAPEL, PAPEL Y CARTÓN
301	0301 - RESIDUOS DE LA TRANSFORMACIÓN DE LA MADERA Y DE LA PRODUCCIÓN DE TABLEROS Y MUEBLES
30101	030101 RESIDUOS DE CORTEZA Y CORCHO
30105	030105 SERRÍN, VIRUTAS, RECORTES, MADERA, TABLEROS DE PARTÍCULAS Y CHAPAS DISTINTOS DE LOS MENCIONADOS EN EL CÓDIGO 030104
303	0303 - RESIDUOS DE LA PRODUCCIÓN Y LA TRANSFORMACIÓN DE PASTA DE PAPEL, PAPEL Y CARTÓN
30301	030301 RESIDUOS DE CORTEZA Y MADERA
30310	030310 DESECHOS DE FIBRAS Y LODOS DE FIBRAS, DE MATERIALES DE CARGA Y DE ESTUCADO, OBTENIDOS POR SEPARACIÓN MECÁNICA
30311	030311 LODOS DEL TRATAMIENTO IN SITU DE EFLUENTES, DISTINTOS DE LOS ESPECIFICADOS EN EL CÓDIGO 30310
4	04 - RESIDUOS DE LAS INDUSTRIAS DEL CUERO, DE LA PIEL Y TEXTIL
401	0401 - RESIDUOS DE LAS INDUSTRIAS DEL CUERO Y DE LA PIEL
40101	040101 CARNAZAS Y SERRAJES DE ENCALADO
40107	040107 LODOS, EN PARTICULAR LOS PROCEDENTES DEL TRATAMIENTO IN SITU DE EFLUENTES, QUE NO CONTIENEN CROMO
40199	RESIDUOS NO ESPECIFICADOS EN OTRA CATEGORÍA: RESIDUOS DE CURTICIÓN VEGETAL DE PIEL (VIRUTAS) QUE NO CONTIENEN CROMO

CÓDIGO LER	DEFINICIÓN (RESIDUOS VALORIZABLES MEDIANTE COMPOSTAJE)
402	0402 - RESIDUOS DE LA INDUSTRIA TEXTIL
40220	040220 LODOS DEL TRATAMIENTO IN SITU DE EFLUENTES DISTINTOS DE LOS MENCIONADOS EN EL CÓDIGO 40219
40221	RESIDUOS DE FIBRAS TEXTILES NO PROCESADAS
19	19 - RESIDUOS DE LAS INSTALACIONES PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS, DE LAS PLANTAS EXTERNAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA PREPARACIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DE AGUA PARA USO INDUSTRIAL
1905	1905 - RESIDUOS DEL TRATAMIENTO AERÓBICO DE RESIDUOS SÓLIDOS
190501	190501 FRACCIÓN NO COMPOSTADA DE RESIDUOS MUNICIPALES Y ASIMILADOS
190502	190502 FRACCIÓN NO COMPOSTADA DE RESIDUOS DE PROCEDENCIA ANIMAL O VEGETAL
1906	1906 - RESIDUOS DEL TRATAMIENTO ANAERÓBICO DE RESIDUOS
190603	190603 LICORES (DIGESTOS) DEL TRATAMIENTO ANAERÓBICO DE RESIDUOS MUNICIPALES
190604	190604 LODOS DE DIGESTIÓN DEL TRATAMIENTO ANAERÓBICO DE RESIDUOS MUNICIPALES
190605	190605 LICORES (DIGESTOS) DEL TRATAMIENTO ANAERÓBICO DE RESIDUOS ANIMALES (SALVO LAS EXCEPCIONES PREVISTAS EN EL REGLAMENTO 1069/2009) Y VEGETALES
190606	190606 LODOS DE DIGESTIÓN DEL TRATAMIENTO ANAERÓBICO DE RESIDUOS ANIMALES Y VEGETALES
1908	1908 - RESIDUOS DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES NO ESPECIFICADOS EN OTRA CATEGORÍA
190805	190805 LODOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS
20	20 - RESIDUOS MUNICIPALES (RESIDUOS DOMÉSTICOS Y RESIDUOS ASIMILABLES PROCEDENTES DE LOS COMERCIOS, INDUSTRIAS E INSTITUCIONES), INCLUIDAS LAS FRACCIONES RECOGIDAS SELECTIVAMENTE
2001	2001 - FRACCIONES RECOGIDAS SELECTIVAMENTE (EXCEPTO LAS ESPECIFICADAS EN EL SUBCAPÍTULO 1501)
200108	200108 RESIDUOS BIODEGRADABLES DE COCINAS Y RESTAURANTES
200138	200138 MADERA QUE NO CONTIENE SUSTANCIAS PELIGROSAS (*)
2002	2002 - RESIDUOS DE PARQUES Y JARDINES (INCLUIDOS LOS RESIDUOS DE CEMENTERIOS)
200201	200201 RESIDUOS BIODEGRADABLES
2003	2003 - OTROS RESIDUOS MUNICIPALES
200302	200302 RESIDUOS DE MERCADOS
200304	200304 LODOS DE FOSAS SÉPTICAS

Fuente: Guía práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje, ARC 2016

ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS

Zonas de descarga y de almacenamiento temporal y equipos.

La zona de descarga y de almacenamiento de los materiales que participarán en el compostaje, así como los equipos de vaciado del almacenamiento temporal, deben permitir los siguientes aspectos generales

1. Adaptación a las características (humedad, pastosidad, granulometría, etc.) de los materiales que se pretende tratar o versatilidad ante la posibilidad de recibir materiales muy diversos.
2. Capacidad adecuada a los volúmenes que se han de manipular y tratar.
3. Facilidad de operación y mantenimiento, con un énfasis especial en la limpieza.
4. Protección frente a la lluvia, ya sea porque esta puede alterar desfavorablemente las características de los materiales —dificultades para manipularlos o en el posterior desarrollo del proceso de compostaje— o porque no se busque incrementar la generación de lixiviados.
5. Posibilidad de cerrar o aislar los residuos susceptibles de generar malos olores y de adaptar sistemas de extracción y tratamiento del aire.

Zona de descarga.

1. El área de descarga debe estar provisto de zonas claramente identificadas, la descarga se realizará en horarios de funcionamiento de la planta.
2. No se permitirá la descarga de grandes cantidades RAD's que excedan la capacidad de silos o compartimentos.
3. La descarga debe realizarse preferentemente en playas o fosos de piso vaciado.



Zona de Almacenamiento previo.

A efectos de evitar la generación de olores, no debe almacenarse RAD's sin previo mezclado con fracción vegetal-estructurante.

Antes del pretratamiento se deben almacenar restos de poda, fracción vegetal (FV), triturado o sin triturar.

Asimismo la fracción FORM-FV ya mezclada podrá almacenarse temporalmente en silo previo a su remisión a área de descomposición.

Características de las áreas de descarga y su operación.

Una vez realizadas las operaciones de inspección y registro en el área de recepción, se debe descargar por separado las siguientes fracciones:

Residuo sólido orgánico (RSO), Fracción vegetal (FV) o poda y ocasionalmente Estiércol y Rúmen.

Las áreas de descarga de los diferentes residuos se definen de la siguiente manera:

1. FV: Superficie o Silo grande, no necesariamente impermeabilizada pero si compactada. Esta zona también suele incorporar el espacio dedicado a su preparación/trituración. Por lo tanto, se pueden encontrar tres espacios bien delimitados:
 - La recepción y el almacenamiento del material tal como llega.
 - Su preparación/trituración.
 - El almacenamiento del material triturado.
2. RSO: superficie impermeabilizada de H°A° con canales o drenajes para captación de lixiviados.
3. Rúmen: Superficie impermeabilizada con canales de drenaje para lixiviados.

Cuando el volumen de generación de lixiviados es un problema para la operación de la planta debe considerarse construir cubiertas de las áreas de descarga.

Tanto los drenajes pluviales como los de colección de lixiviados deben ser limpiados temporalmente, asimismo todos los sistemas de bombeo y recirculación de aguas de proceso deberán ser mantenidos.

Limpieza de los vehículos de transporte

1. En caso de que esté previsto compostar residuos de alta degradabilidad, es necesario disponer de una zona pavimentada donde se pueda llevar a cabo la operación de limpieza y desinfección de vehículos, contenedores o cajas.
2. Si entre los residuos de alta degradabilidad para compostar pudiera haber subproductos de origen animal, se debe disponer de una zona de limpieza diferenciada del resto de las instalaciones.
3. Las características de la zona de limpieza (aire libre, cubierta, confinamiento, etc.) deben ser las mismas que se requieran para la zona de descarga.
4. Las aguas de lavado se deben recoger y gestionar conjuntamente con el resto de lixiviados generados en la planta. Por lo tanto, conviene utilizar equipos de lavado de alta presión con bajo consumo de agua.



Pesaje

Tabla No 3. Necesidad de báscula en las instalaciones de compostaje:

MATERIAL PARA COMPOSTAR	Capacidad de tratamiento nominal		
	< 1.000 t/año	1.000-6.000 t/año	> 6.000 t/año
Fracción vegetal	Exenta	Exenta	Exenta
Estiércol	Exenta	Exenta	Báscula
Resto de residuos de baja y alta degradabilidad	Exenta	Báscula	Báscula

Fuente: Guía práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje, ARC 2016

Se pueden considerar exentas de esta obligación cuando en el proyecto queda plenamente justificado que se puede llevar a cabo la operación en básculas externas sin causar molestias a los vecinos o dificultar el tráfico. Siempre debe justificarse el peso con algún medio físico (por ejemplo, mediante ticket de báscula). Para cumplir con este equipamiento de planta existen alternativas económicas como las basculas camioneras portátiles:



El registro de pesaje debe contener al menos el detalle de cada ingreso de camión, placa, conductor, tara de camión, peso de los materiales transportados, ruta de procedencia, hora y fecha. Estos registros deben ser correctamente sistematizados y archivados para contar con un registro histórico válido para el cumplimiento de los objetivos de tratamiento y otros.

Duración y capacidad máximas del almacenamiento temporal

El almacenamiento de los residuos de baja degradabilidad:

- No puede superar los noventa días cuando, por efecto de la actividad microbiana, haya riesgo de incendio (en el caso de la fracción vegetal) o de pérdida de calidad para ser compostados.
- Puede tener una duración ilimitada si no existen estos riesgos.

El almacenamiento de los residuos de alta degradabilidad:

- No puede superar los tres días en caso de que más de un 80 % de su peso sean RAD preestabilizados, y las veinticuatro horas en el resto de casos. Por lo tanto, en esta segunda situación, los materiales deben pretratarse el mismo día en que lleguen a la instalación.
- La capacidad de almacenamiento no puede superar el triple de la capacidad diaria de tratamiento prevista para la instalación. Se considera esta capacidad máxima para afrontar situaciones de emergencia que se puedan producir.



- Solo en el caso excepcional de los pocos RAD que no sufren transformaciones apreciables durante el almacenamiento, la duración de este almacenamiento puede llegar a los quince días, con una capacidad acorde con esta duración.

(Habitualmente, este hecho se debe a la falta de humedad. Como ejemplos podemos citar la gallinaza seca, el purín o el lodo de PTAR desecados térmicamente.)

- El tipo de almacenamiento elegido debe permitir una gestión FIFO (first in-first out) para evitar que queden restos de material acumulados durante periodos excesivos de tiempo o bien debe establecerse un protocolo de explotación que deje el almacenamiento vacío con la periodicidad definida anteriormente.
- El tiempo de almacenamiento de un residuo líquido con características de RAD se considera equivalente al tiempo de retención, es decir, la relación entre el volumen del depósito y el volumen medio de líquido que se prevé que entre cada día a la instalación.



PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPAL DE SACABA - COMPLEJO DE TRATAMIENTO DE JARK'A LOMA

03

PETRAMIENTO: MEZCLA Y HOMOGENEIZACIÓN

A fin de que el compostaje sea factible y se desarrolle correctamente, es necesario que el conjunto de parámetros que afectan al proceso se mantenga dentro de los rangos de valores considerados ideales.

Dado que pocos materiales susceptibles de ser compostados presentan unas características compatibles con estos valores, a menudo debe recurrirse a la preparación de mezclas con materiales complementarios entre sí para lograr mezclas que se aproximen lo máximo posible —por encima o por debajo— a los valores ideales.

La etapa de pretratamiento (mezcla u homogeneización) consiste en la operación de mezclar diferentes materiales para obtener una mezcla con:

1. Una porosidad que permita la circulación del aire por el interior y la retención del agua.
2. Una estructura que mantenga esta porosidad en el apilamiento en el que se debe llevar a cabo el proceso de compostaje.
3. Una humedad y un pH adecuados a la actividad microbiana.
4. La proporción de materia orgánica biodegradable suficiente para que el proceso se pueda iniciar y completar.
5. Una relación C/N que minimice las pérdidas de nitrógeno o que permita que este elemento no sea un factor limitador del proceso.
6. Unos contenidos mínimos de otros elementos esenciales para los microorganismos, a fin de que no sean un factor limitador.



Tabla No 4. Variables del proceso de compostaje y rango óptimas de los materiales o mezclas.

VARIABLE	RANGO	UNIDADES
Humedad	50-70	%
Porosidad ^a	25-35	%
C/N	25-35	Tanto por uno
N/P	< 10	Tanto por uno
pH	6,0-8	–
Materia orgánica	> 40	% sms
^a En caso de que la etapa de descomposición se desarrolle de forma estática, al menos al principio, la porosidad debe situarse en la parte superior del rango propuesto. Si se efectúa una descomposición dinámica —con frecuente movimiento del material durante la primera parte de esta etapa—, la porosidad se puede situar en los valores inferiores del rango.		

Fuente: Guía práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje, ARC 2016

La operación de mezcla permite también deshacer y homogeneizar los materiales gruesos, con lo que se aumenta la superficie de ataque microbiano.

Parámetros básicos

En este capítulo se recogen los requisitos del proceso de compostaje respecto al material destinado a tratamiento:

1. **Porosidad.** Se requiere una porosidad adecuada que permita la circulación del aire por el interior y la retención de agua, ya que sin esta porosidad:
 - No es factible el suministro de oxígeno y, por lo tanto, el proceso aeróbico inherente al compostaje.
 - No es factible (o se dificulta) el control de la tem-

peratura.

2. **Estructura.** Los poros deben estar presentes en el conjunto de la masa, se han de mantener durante todo el proceso, deben estar interconectados y tienen que presentar unas dimensiones apropiadas para permitir la circulación de aire y de agua, así como la retención de parte de esta agua.
3. **Equilibrio nutricional y energético.** Es necesario para evitar:
 - Que la actividad microbiana quede limitada por falta de alguno de los elementos esenciales (nitrógeno, potasio, etc.) o por la fuente energética (la materia orgánica degradable).
 - Que durante el proceso se pierda algún elemento (esencialmente nitrógeno) que pueda estar en exceso.
4. **Superficie de interfaz suficiente** para facilitar el ataque microbiano y el intercambio de gases o de agua.

La homogeneización consiste en la mezcla de los RSO, FV y producto ruminal. La proporción de la mezcla típica es de 1:1 en volumen de la RSO más producto ruminal y FV. El rúmen de matadero, se utilizará ocasionalmente y en proporción que no supere el 20% de la mezcla, siempre y cuando no supere la humedad de saturación. Una mayor proporción de rúmen en la mezcla, genera conflictos por emisión de olores considerable. La cantidad de fracción vegetal debe ser la mínima necesaria para garantizar los intersticios dentro la pila por los que circulará el aire.

FASES

El pretratamiento se puede considerar constituido por tres fases:

1. La **premezcla**: agregación primaria y habitualmente incompleta de los constituyentes de la mezcla que se destinará a compostaje, en las proporciones necesarias. A menudo se lleva a cabo en el mismo momento de la descarga, y en otros casos queda incorporada a la posterior fase de mezcla u homogeneización propiamente dicha.
2. La **mezcla** u homogeneización propiamente dicha: la agregación más íntima de los constituyentes de la mezcla conseguida con equipos específicos.
3. El **almacenamiento** de la mezcla preparada, en caso de que no se dirija directamente o con rapidez (el mismo día de la preparación) a la zona destinada a la posterior etapa de descomposición.

Y tres operaciones complementarias:

1. La preparación del material estructurante: su trituración al tamaño adecuado.
2. La humectación, si el material o la mezcla que se ha de compostar no presenta la humedad adecuada, al menos para iniciar el compostaje. Los líquidos aportados deben proceder esencialmente de la propia instalación, y, solo en determinados casos, del exterior.
3. La eliminación de impropios gruesos: es una operación casi específica del compostaje de FORM y consiste en la eliminación (manual o mecánica) del máximo número posible de impropios para no ensuciar o contaminar el material que se ha de compostar. Cabe señalar que:
 - En esta etapa de pretratamiento se suelen retirar los impropios de mayor tamaño.
 - La eliminación de impropios puede continuar en posteriores etapas del proceso de compostaje.



Operaria de la planta de compostaje en Tiquipaya extrayendo material del homogenizador.

LOS ESTRUCTURANTES Y SUS CARACTERÍSTICAS.

Los materiales complementarios que otorgan o mejoran la porosidad o la estructura del residuo destinado a compostaje se denominan estructurantes. Suelen ser materiales vegetales con una proporción bastante elevada de componentes leñosos —restos de poda triturados, astilla, corteza, etc.— y se acostumbra a identificar con el nombre genérico de fracción vegetal (FV).



Se entiende por estructura de un material o de una mezcla la capacidad que tiene un apilamiento suyo para mantenerse sin compactar excesivamente —sin perder demasiada porosidad— por su propio peso.

Tabla No 5. Características de diferentes estructurantes

TIPO		% materia seca	% materia orgánica	Densidad Aparente (kg/l)	Densidad Real (Kg/l)	% porosidad
Corteza 8-15 mm	Media	67,06	88,87	0,29	1,32	78,69
	Máximo	80,10	96,89	0,58	1,45	84,41
	Mínimo	52,43	56,30	0,21	1,25	55,68
	Casos	20,00	20,00	20,00	20,00	19,00
Corteza 8-15 mm recirculada	Media	59,42	61,85	0,49	1,35	63,22
	Máximo	72,60	65,30	0,58	1,45	77,29
	Mínimo	52,43	56,30	0,33	1,29	55,68
	Casos	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Astilla	Media	82,61	87,50	0,27	1,43	81,04
	Máximo	88,90	90,00	0,32	1,47	85,31
	Mínimo	79,20	85,00	0,22	1,42	77,67
	Casos	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Madera de poda nueva	Media	69,75	86,16	0,25	1,36	81,60
	Máximo	90,89	95,37	0,33	1,58	89,24
	Mínimo	51,65	73,13	0,15	1,22	74,98
	Casos	14,00	14,00	13,00	14,00	13,00

Fuente: Guía práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje, ARC 2016

Las relaciones estructurante/residuo en volumen, inferiores a 1 solo son posibles cuando el residuo ya tiene cierta porosidad, aunque insuficiente, y la función del primero es mejorarla. Cuando al residuo que se ha de compostar le falta porosidad, la proporción volumétrica estructurante/residuo siempre debe ser superior a 1, y en la práctica normalmente se debe superar la relación 2/1.

Las mezclas de los distintos residuos orgánicos con el material estructurante se efectuarán manteniendo una proporción volumétrica mínima para asegurar la correcta homogeneización.

Tabla No 6. Proporción volumétrica mínima aceptable de estructurante para el dimensionamiento de la instalación.

RESIDUO	Relación Vol. Estructurante/residuos (V_e/V_r)	
	Etapa de descomposición	
FORM	Estática	Dinámica
Lodos y otros materiales pastosos	4/1	2/1

Fuente: Guía práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje, ARC 2016

Tabla No 7. Materiales complementarios, los parámetros y sentido de su actuación

MATERIAL	Residuo	Porosidad Estructura	Relación C/N	pH	Humedad	Materia orgánica fácilmente biodegradable
Agua	No	No	No	No	↑	No
Lixiviado del mismo proceso	Sí	No	No	No	↑	↑ (poco)
Lodo de papelera	Sí	No	↑	No	↓	No
Poso de café	Sí	No	↑	No	No	↑
Paja	No	↑	↑	No	↓	↑
Purín	Sí	No	↓	No	↑	↑ (poco)
Urea	No	No	↓	↑	No	No
Sulfato ferroso	No	No	No	↓	No	No
Carbonato cálcico o cal	No	No	No	↑	Sí (cal)	No

Fuente: Guía práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje, ARC 2016

OTROS MATERIALES COMPLEMENTARIOS

Son aquellos que mejoran alguna o algunas de las características de la mezcla que, además de la porosidad y la estructura, son esenciales para que el compostaje se desarrolle correctamente: la humedad, el pH, la relación C/N, etc. Ya se han definido anteriormente.

Estos otros materiales complementarios no modifican necesariamente la porosidad o la estructura de la mezcla; si la modifican, no es su rasgo más distintivo.

Finalmente, cabe señalar que algunos de estos materiales complementarios no son residuos, sino materias primas.

ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS

Equipos de preparación del estructurante

Los estructurantes habitualmente empleados en el proceso de compostaje se preparan a partir de materiales vegetales: madera de poda, restos forestales, corteza, etc. A la hora de elegir el equipo para preparar este tipo de estructurantes conviene valorar los siguientes aspectos:

- Capacidad de trabajo adecuada a los volúmenes que se han de preparar y al tamaño de la fracción vegetal que se debe manipular.



Tipo: Trituradoras de troncos y ramas a martillos y cuchillas

Diámetro Max.: 10 cm

Capacidad Max. Salida: 4 a 5 m³/h

Potencia: 12,5 a 15 cv

Accionamiento: Eléctrico, Motor a gasolina, Toma fuerza de Tractor.



Tipo: Chipeadora de disco

Diámetro Max.: 30 cm

Capacidad Max. Salida: 6 a 10 t/h

Potencia: 66 a 142 HP

Accionamiento: Motor a diésel, Toma fuerza de Tractor.

- Granulometría adecuada del producto resultante.
- Versatilidad en el tamaño del producto que se desea obtener y facilidad para modificar este tamaño.
- Capacidad para eliminar metales en caso de que la materia prima los contenga (por ejemplo, clavos en palés).
- Comportamiento (resistencia) ante los posibles impropios que pueda contener la materia prima.
- Comportamiento ante el ramaje largo y delgado, y materiales fibrosos.

A continuación algunos ejemplos de equipos típicos para la preparación de FV, según la capacidad de tra-

tamiento.



Tipo: Chipeadora Móvil a tambor.

Diámetro Max.: 75 cm (madera suave), 56 cm (madera dura)

Capacidad Max. Salida: hasta 220 m³/h

Potencia: 480 HP (Implemento de camión)

Accionamiento: Toma fuerza de camión, Toma fuerza de Tractor (para su alimentación requiere de una Grúa Pulpo).

Las características de los equipos corresponden a modelos específicos, los cuales pueden seleccionarse para aplicaciones móviles o fijas,

distintos tipos de terrenos (ruedas, orugas), tipo de accionamiento entre otros.

Equipos de Mezcla y Homogeneización

A la hora de escoger el equipo de mezcla u homogeneización conviene valorar los siguientes aspectos:

1. Su capacidad de tratamiento, que debe ajustarse al diseño de la instalación.
2. La inversión y el coste de funcionamiento. Así, las plantas de pequeñas dimensiones habitualmente deben recurrir a la adaptación de equipos pensados para otras funciones, como esparcidores de estiércol o unifeeds.
3. Su adaptación a una alimentación en continuo o en discontinuo.
4. La posibilidad de incorporar líquidos.
5. La capacidad de homogeneizar (triturar) residuos gruesos (de tipo FORM), si es que hubiera que tratar este tipo de materiales.
6. Que sean equipos cerrados o que se puedan confinar en pequeños recintos, de modo que se puedan incorporar sistemas para extraer los gases que se desprendan durante la mezcla. Esto es de gran interés en caso de tener que manipular residuos que huelen mal; estos requerirían recintos cerrados con extracción y tratamiento de aire si la operación se llevara a cabo con equipos abiertos.
7. Que sean equipos móviles o fijos.
8. Que sean autónomos o que requieran otros elementos para su funcionamiento (acometida eléctrica, grupos electrógenos, toma de fuerza de tractores).
9. La facilidad para limpiar los equipos, en caso de

que haya que tratar alternativamente distintos residuos que no es conveniente mezclar.

10. En este caso, que sean versátiles y acepten los diferentes residuos.
11. Que lleven incorporado un sistema de pesaje.
12. Su capacidad para abrir bolsas, en caso de que el residuo que se deba tratar sea FORM y no se disponga de equipos específicos para esta función.



Minicargador de ruedas alimentando el Homogenizador, planta de compostaje municipal de Tiquipaya.

A continuación mostramos los equipos mas usados para la homogeneización de FORM y FV, de acuerdo a capacidad de la planta:



Tipo: Mezcladora (unifed) Vertical de 1 sinfín, móvil.
Cap. Max.: 5 m³
Potencia: 33 kW (tractor)
Accionamiento: Toma fuerza de Tractor.
Otros: Con cuchillas para desmenuzando de materiales.



Tipo: Mezcladora Horizontal de doble sinfín, móvil.
Cap. Max.: 16 m³
Potencia: 75 cv (tractor)
Accionamiento: Toma fuerza de Tractor
Otros: Con cinta de descarga desplegable y unidad hidráulica.



Tipo: Mezcladora Horizontal de triple rotor, estacionario.
Cap. Max.: 15 m³
Potencia: 160 kW (motor eléctrico)
Accionamiento: Motor eléctrico.
Otros: Compatibilidad para planta automatizada.

Sinfín (auger)



Las características de los equipos corresponden a

modelos específicos, los cuales pueden seleccionarse para aplicaciones móviles o fijas, aplicación de aditivos entre otros. Incorporación de líquidos

Cuando el grado de humedad de los materiales o mezclas que deban compostarse sea inferior a los valores deseables para el desarrollo del proceso, se debe incorporar agua o residuos acuosos, tales como los lixiviados generados por el propio compostaje.

Solo se aceptará la entrada de líquidos externos (agua, residuos líquidos, etc.) a una instalación de compostaje si:

- La instalación no dispone de suficientes recursos hídricos propios.
- Está justificado por el correspondiente balance hídrico del proceso.

En el caso de los residuos orgánicos líquidos, una planta de compostaje puede aceptar una cantidad de residuos orgánicos líquidos hasta un máximo del 10 % respecto a su capacidad de tratamiento.

La planta de compostaje debe efectuar un balance hídrico y disponer de fracción vegetal o materiales absorbentes orgánicos suficientes para poder realizar las mezclas adecuadas y no generar más lixiviados de los que se podrían producir sin la entrada de estos materiales. Los residuos orgánicos líquidos se almacenarán en depósitos específicos, pero nunca en las balsas o depósitos de lixiviados o de aguas pluviales. La adición de los residuos orgánicos líquidos solo se puede llevar a cabo durante la fase de descomposición, y en cualquier caso nunca después de haber superado la fase de higienización.

Ejemplo de proceso de homogeneización de materiales, caso Planta de Tiquipaya:

1. Se realizan todas las conexiones de toma fuerza del tractor agrícola y las mangueras hidráulicas del homogeneizador para el funcionamiento,

(el personal debe estar capacitado para la operación de la maquinaria y su mantenimiento).

2. Hacer el calentamiento de las maquinas por unos 15 minutos.
3. Registrar hora inicio de homogeneización.
4. Para empezar a homogeneizar, el tractor agrícola debe estar acelerado por encima de 20 km/h.
5. Cargar con el minicargador el material al homogeneizador, con las proporciones adecuadas de mezcla, de: 1:1 en volumen, es decir 1 m³ de RSO y 1m³ de poda o dicho de otra forma, una pala de minicargador de RSO más rúmen y una pala de minicargador de poda triturada.
6. Observar el nivel de humedad, que debe estar en torno al 40% - 60% de humedad, en caso necesario se añade agua a la tolva de homogeneización hasta obtener una humedad adecuada. (Normalmente se riega 5 minutos a cada preparación, con un caudal de 1 l/s).
7. Se homogeniza por un tiempo de entre 5 a 10 minutos aproximadamente.
8. El control de la operación es visual y se basa en la experiencia del operario.
9. Registrar peso en balanza de homogeneizador, volumen, proporciones del material que se cargó, número de lote.
10. Vaciar el material al minicargador y trasladar a plataforma de descomposición.



**COMPLEJO DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS EL ALTO-PROGRAMA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS EN BOLIVIA GIRS BO-L1073.
PROYECTO "IMPLEMENTACIÓN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DE EL ALTO"**

04

DESCOMPOSICIÓN

La etapa de descomposición es la fase del proceso de compostaje en la que se produce la descomposición biológica de las moléculas más fácilmente degradables con una liberación de energía que conlleva el aumento de la temperatura del material y la evaporación de parte del agua contenida en este material, y con una disminución inicial del pH por formación de ácidos orgánicos.

La fase de descomposición se caracteriza por la reducción del peso y del volumen, la estabilización parcial y la higienización del material, gracias al mantenimiento de un ambiente óptimo para el desarrollo de los microorganismos.

Al tratarse de la etapa biológicamente más activa, se deben controlar cuidadosamente las condiciones de trabajo para evitar:

1. **Temperaturas excesivas.** Para evitar temperaturas demasiado elevadas hay que airear, remover o regar el material convenientemente.
2. **Condiciones anaeróbicas.** Para evitar que aparezcan las condiciones anaeróbicas (falta de oxígeno) se debe reponer adecuadamente el oxígeno consumido.
3. **Pérdidas innecesarias de nitrógeno en forma de NH_3 .** Para evitar estas pérdidas hay que minimizarlas compostando materiales biodegradables que presenten una relación de nutrientes C/N adecuada.



Mujeres operarias de Cochabamba conformando las pilas de descomposición

CONFORMACIÓN DE PILAS

En esta etapa el material mezclado debe derivarse a plataforma de descomposición para ser apilado en hileras o pilas justamente, para este trabajo se requiere que el espacio este limpio, el sistema de tuberías de ventilación forzada destaponado y con una cama o colchón de astilla gruesa ya preparados.

Ejemplo de proceso de conformación de Pilas, caso Planta de Tiquipaya:

1. Formar una capa de material grueso como filtro encima las tuberías para que no exista taponamiento con materiales finos, de preferencia astillas del proceso de picado.
2. Con el minicargador de ruedas, trasladar el material homogeneizado a la plataforma de descomposición para conformar la pila, estas pilas deben de tener un ancho de 2,5 m, un alto de 1,8 m y un largo de 15 m.
3. Una vez terminada la conformación de la pila colocar el código de registro, que nos permitirá controlar e identificar su día, mes y año que se conformó la pila.
4. Mientras se conforma la pila se realiza el riego (Si el riego se ha realizado correctamente en el proceso de homogeneización, no haría falta regar más)



Para el cálculo de la superficie de la zona de descomposición se deben tener en cuenta determinados factores como el volumen de residuos por tratar semanalmente, la duración del proceso en esta fase, la proporción de estructurante y los espacios necesarios (espacio entre pilas, espacios de maniobra).

La superficie necesaria (no se incluye la superficie que requiere el movimiento de la maquinaria o la instalación de los equipos complementarios), en metros cuadrados, se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$S_d = Q_d * (V_m/M_r) * (1 \text{ año} / 52 \text{ semanas}) * t_d * (1/CC_d)$$

Donde:

Sd = superficie necesaria para la etapa de descomposición.

Qd = capacidad de diseño de la instalación, equivalente a la capacidad nominal de la instalación Qn (toneladas de residuo que se prevé tratar anualmente), multiplicado por el factor de seguridad 1,10.

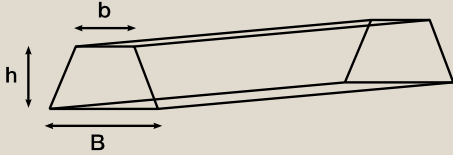
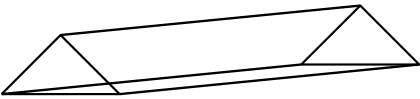
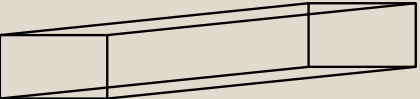

Vm/Mr = volumen en metros cúbicos que resulta de la

mezcla del residuo con los diferentes estructurantes y otros materiales complementarios en las proporciones definidas, referido a cada tonelada de residuo por tratar.

td = duración, en semanas, que requiere la etapa de descomposición.

CCd = capacidad de carga o volumen en metros cúbicos del material o mezcla para compostar que es posible acumular por cada metro cuadrado de superficie, de acuerdo con la opción tecnológica elegida para esta etapa.

Tabla No 8. Ejemplos de cálculo de la capacidad de carga (CC d).

SECCIÓN	FORMA DE LA PILA	AREA DE LA SECCIÓN
Trapezoidal		$S = (B + b)/2 \cdot h$
Triangular		$S = (B \cdot h)/2$
Rectangular		$S = (B \cdot h)$
Semicircular		$S = (\pi \cdot (B/2)^2)/2$

Fuente: Guía práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje, ARC 2016

Cuando la etapa de descomposición esté constituida por diferentes fases sucesivas —por ejemplo, porque haya un cribado para eliminar impropios gruesos o un reagrupamiento del material a media etapa—, la superficie necesaria se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$S_d = Q_d \times (1/52) \times [(V'_m / Mr \times t' d \times (1/CC'd) + (V''_m / Mr \times t'' d \times (1/CC''d) + \dots)]$$

Donde los parámetros se refieren a cada una de las sucesivas fases.

En caso de que la etapa de descomposición se lleve a cabo sin protección contra la lluvia —sin cubierta convencional o de geotextil—, la superficie resultante de los cálculos anteriores se debe incrementar obligatoriamente en un 15 %. La razón de esta exigencia es disponer de un espacio de seguridad para poder prolongar la duración de la etapa cuando, debido a continuas lluvias, el paso del aire se interrumpa temporalmente y, en consecuencia, el proceso se detenga.

El valor obtenido según las fórmulas anteriores se debe corregir de acuerdo con la gestión prevista para los materiales en la etapa. Hay que tener en cuenta que parte de la superficie será inhábil, puesto que 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.

La zona de giro de la volteadora y el desplazamiento del material que algunos de estos equipos provocan también inutilizan parte de la superficie. Asimismo, en ocasiones hay que dejar espacios de separación entre materiales en diferente estadio de descomposición, ya sea porque no interesa que estén en contacto o bien para permitir la actuación de las volteadoras.

La superficie total necesaria para la etapa es el resultado de integrar en el espacio real la S_d obtenida según el cálculo y las consideraciones anteriores: por ejemplo, número de pilas, espacio de separación entre sí, espacio para el giro de la volteadora, espacio de seguridad respecto a los pilares (en caso de que los hubiera), etc.

Parte de la superficie es inhábil, puesto que 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.

Objetivos ha alcanzar en la etapa de Descomposición.

La máxima degradación de la materia orgánica mediante un proceso aerobio, es decir con aireación forzada por la base mediante tuberías y ventiladores que permita oxigenar el material a descomponer para lo cual se debe controlar los parámetros de temperatura, oxigenación y humedad de manera que estén dentro los rangos aceptables para una óptima descomposición de la mezcla.

La higienización del material, lograr alcanzar los primeros días una temperatura de la mezcla de 60 a 70°C, al final de la etapa se tiene que disponer de un material higienizado y con un grado de humedad adecuado, para poder arrancar inmediatamente la posterior etapa de maduración.



La fase de descomposición intensiva incluye la higienización térmica para proporcionar la reducción necesaria de patógenos humanos, animales y vegetales. Así como también semillas de malezas. Durante la fase de descomposición intensiva, se garantizarán las condiciones óptimas para los procesos de descomposición. La descomposición intensiva puede tener lugar en sistemas cerrados o abiertos y con o sin aireación forzada. El contenido mínimo de agua debe ser ≥ 45 a 55% y el valor de pH debe ser aproximadamente 6 a 8.

Tabla No 9. Rangos de temperatura-tiempo comúnmente aplicados en normativa y estándares de compostaje.

SISTEMA DE COMPOSTAJE	TEMPERATURA	TIEMPO
Sistemas Abiertos	>55 °C	10 días
	>60 °C	3 Días
Sistemas Cerrados	>60 °C	3 Días

Fuente: NBR 9074:2021

¿La etapa de descomposición de (RAD) requiere de aireación forzada?

Sí. La aireación forzada permite que se garantice el aporte de aire (O_2) suficiente para satisfacer las necesidades de la actividad microbiana del proceso y se minimicen las emisiones de olores molestos.

Esta aireación se puede efectuar por impulsión o por aspiración; el volteo puede ser un complemento, pero por sí solo no es suficiente.

Excepto en situaciones en que se garantice la aireación natural.

Duración de la etapa de descomposición

Si se compostan exclusivamente **residuos de baja degradabilidad (RBD)**:

- Se suele considerar conjuntamente la duración de las etapas de descomposición y maduración.
- La duración mínima para el conjunto de las dos etapas no se puede precisar, ya que depende de las características de los materiales o mezclas de materiales (porcentaje de MO degradable, relación C/N, etc.), pero de entrada se fija en un mínimo de seis meses. En consecuencia, si la duración base que se plantee en el proyecto es inferior a este valor, se han de justificar los motivos (adición de compuestos nitrogenados para adecuar la relación C/N, trituración muy intensiva para favorecer el ataque microbiano, aireación forzada, etc.).

Si se compostan **residuos de alta degradabilidad (RAD)** :

Más del 80 % de la masa de los RAD se ha preestabilizado	2 semanas
Más del 20 % de la masa de RAD no se ha preestabilizado	4 semanas

La duración base de la etapa de descomposición se debe ir incrementando en los siguientes casos:

- Si la ventilación del proceso no permite asegurar el control de la temperatura y no se recircula el aire caliente.
- Si se desarrolla bajo cubierta de geotextil impermeable y transpirable.
- Si no se ha querido incorporar mezcladora u homogeneizador en el pretratamiento, a pesar de que las características de los materiales que se debían compostar lo hacían recomendable.

La duración preestablecida según los criterios anteriores se puede revisar si, una vez que esté en funcionamiento la instalación, se constata que, a partir de un momento determinado, el nivel de estabilidad alcanzado por el precompost garantiza que se ha reducido su peso y volumen, su fermentabilidad y su poder odorífero.

Descripción de proceso de descomposición, caso Planta de Tiquipaya:

Plataforma de descomposición

La planta de compostaje municipal, cuenta con una plataforma impermeabilizada con concreto de aproximadamente de 18,7 m. x 15,60 m., con una pendiente del 3% hacia la parte posterior con la finalidad de capturar todo el lixiviado que se genera en la descomposición, y que están conectados a un canal donde se conducen a dos depósitos en la parte posterior de la plataforma.

Método de compostaje

El método de compostaje es el sistema abierto, donde los residuos orgánicos a compostar se disponen en pilas o hileras que cuentan con el sistema de aireación forzada.

Dimensiones de la pila

La plataforma de descomposición está diseñada para 6 pilas donde las dimensiones están dadas y alberga un volumen promedio de 88,3 m³ de RSO por pila.

- Ancho de 2,5 m
- Alto de 1,8 m
- Largo de 15 m.

Sistema de aireación forzada

La planta de compostaje municipal cuenta con un sistema de aireación forzada que a través de este sistema, las pilas en descomposición se mantienen estáticas y la aireación para el aporte de oxígeno se produce mediante un sistema mecánico de ventilación. El sistema de ventilación está instalado en la base de las pilas y consta de un sistema de tuberías perforadas conectadas a un sistema de ventiladores que soplan aire.



Turbinas centrifugas para ventilación forzada de pilas de compost

Para la oxigenación de las pilas se tiene instalados dos ventiladores, cada ventilador alimenta a tres pilas mediante un sistema de tuberías principales de 4", en la base de cada pila se tiene instaladas tres tuberías de 2 ½" de Ø, con perforaciones de 7 mm de Ø, cada 40 cm a lo largo de los 15 m, estas tuberías vienen instaladas en un canal de 10 x 10 cm., donde no dificulta la circulación del minicargador ni se dañan las tuberías. Los ventiladores están automatizados para su funcionamiento con frecuencia de 10 minutos encendidos y 15 minutos apagado durante las 24 horas del día.

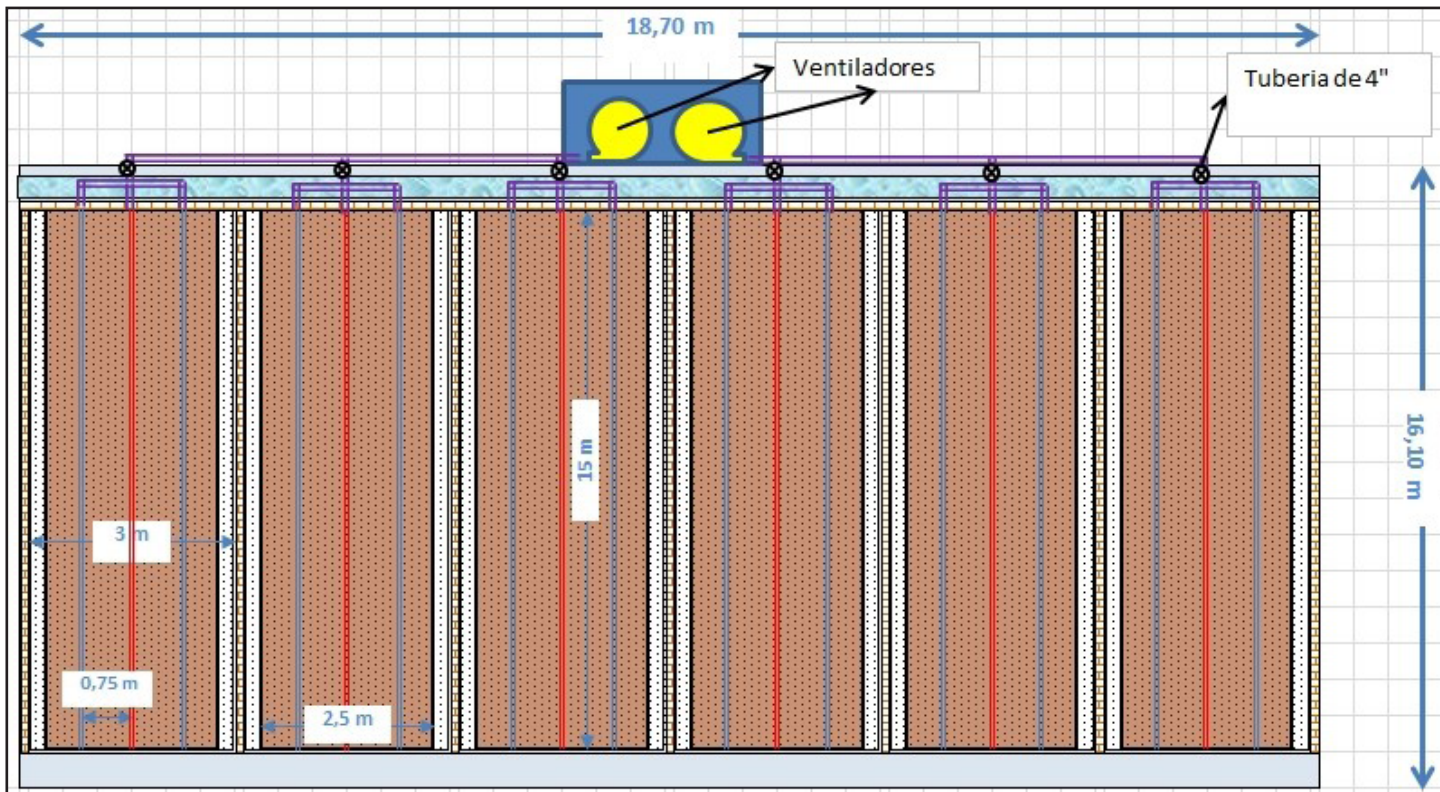


Fig. 3 Sistema de ventilación forzada Planta Tiquiapaya



Fig. 4 Conexión de distribución típica

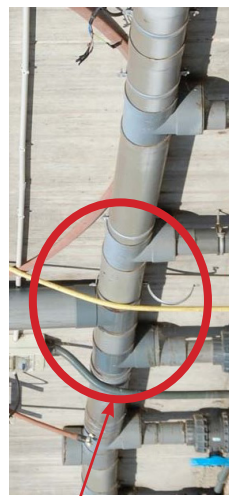


Fig. 5 Conexión adecuada.

Nótese que en la Fig. 3, no tiene una conexión de distribución de aire adecuada, siendo esta de tipo ramificada, y con muchos accesorios que provocan pérdidas en el sistema, en la Fig. 4 se observa una conexión más simple y típica para la ventilación forzada, otro aspecto importante es la ubicación de las turbinas que deben situarse en el centro de la zona a ventilar y sin tener un conducto alineado Fig. 5.

Duración en etapa de descomposición

El tiempo en etapa de descomposición dura de 5 a 6 semanas, en este tiempo se realizan los controles de los siguientes parámetros:

- Día en que se inicia la formación de la pila.
- Materiales que constituyen la pila y en qué proporción.
- Días en que se ha regado la pila, tipo de agua y volumen utilizado.
- Observaciones sobre los lixiviados generados.
- Evolución de la temperatura, concentración de oxígeno, humedad y reducción del volumen a lo largo del proceso.

Control de Temperatura:

Se usa un termómetro de varilla, la temperatura se controla por lo menos dos veces por semana en varios puntos de la pila y en diferentes profundidades.

1. Tomar tres puntos en cada lado de la pila y dejar una señal para realizar las lecturas posteriores en los mismos puntos (recomendable un punto cada 5 o 6 metros de pila).
2. Introducir el termómetro de varilla en los puntos fijados a diferentes profundidades: en la base (1.5 m), en el medio (0.9 a 0.75 m) y en la parte superior (0.3 a 0.25 m).
3. Esperar al menos un minuto hasta que el termómetro se estabilice y hacer lectura del reloj del termómetro.
4. Registrar en una planilla de registro su código, número de pila, fecha, hora, profundidad y temperatura.
5. Las temperaturas medias semanales se transcribirán gráficamente a la hoja de seguimiento de temperatura de la pila.

Normalmente, la temperatura aumenta muy rápidamente la primera semana hasta lograr valores superiores a los 65°C, los cuales se tienen que mantener aproximadamente unas horas para higienizar el material.



Al final de la fase de descomposición las temperaturas bajan de los 55°C. Al final de todo el proceso de compostaje las temperaturas son inferiores a 40°C.

Humedad:

El material a compostar es constantemente humedecido de forma homogénea.

Se consideran niveles óptimos de humedad del 40% al 60%.

Para proceder a medir el grado de humedad de una pila, se realizara lo siguiente:

1. Tomar un número de muestras, a varias profundidades de la pila (semejantemente al número de medidas realizadas para obtener la temperatura de la pila)
2. Homogeneizar adecuadamente para obtener una muestra representativa, como mínimo 2 kg.

3. Se usa un laboratorio y se aplica el método gravimétrico, que consiste en el secado de una cantidad de muestra conocida, a 105°C durante 24 horas.

Independientemente de esta metodología se recurre a una inspección visual táctil del grado de humedad de las pilas, que se efectuará cotidianamente, para poder corregir, el grado de humedad de las pila. Una prueba muy eficiente para comprobar rápidamente la humedad de la pila en el lugar, es la llamada “prueba del puño”, la cual consiste en:

- Coger el material de compostaje y presionarlo con la mano.
- Si tiene una humedad correcta, no tiene que caer ninguna gota de agua, pero al abrir el puño, el material tiene que quedar unido y formando un material compacto.
- Si al apretar con la mano no sale ninguna gota de agua y al abrir la mano se deshace el material, significa que le falta humedad y se debe regar la pila con agua limpia o se puede reutilizar el lixiviado generado en el proceso.
- Al apretar con la mano sale o chorrea agua, significa que está muy húmedo.

El control del grado de humedad para cada pila se transcribe, con una frecuencia semanal, a la hoja de registro y seguimiento de cada pila.

Oxigenación

El equipo utilizado es un oxímetro, los niveles de concentración de oxígeno deben estar siempre por encima del 10%, nunca niveles inferiores al 5% de oxígeno. Si acontece esta situación, inmediatamente se sube la oxigenación con el ajuste del sistema de ventilación. El control de oxigenación al igual que el control de la temperatura se realiza como mínimo dos veces por semana de la mayoría de las pilas, se tiene una

tabla de registro de temperatura y oxigenación para cada una de las pilas.

La media semanal de oxigenación se transcribe gráficamente a la hoja de seguimiento de oxigenación de la pila.

El control de oxigenación es el siguiente:

1. Tomar por lo menos tres puntos en cada lado de la pila (seis puntos por pila) y dejar una señal para realizar lecturas en los mismos puntos.
2. Revisar el equipo que este succionando aire.
3. Introducir la varilla del equipo a la pila, abrir la succión de aire y verificar que esté succionando aire, una vez introducido la varilla en la pila.
4. Encender el equipo lector y conectar a la varilla ya introducida.
5. Presionar la bomba de succión unas 3 a 4 veces y hacer la lectura. Se tomará como válido el valor de las lecturas de oxígeno estabilizadas.

La evolución de las medidas efectuadas de oxígeno se transcriben gráficamente a la hoja de seguimiento de la pila.



Control de proceso y registro.



Las siguientes medidas y datos de control de proceso se registrarán diariamente (junto con la fecha):

- Mediciones de temperatura durante la higienización,
- Determinación del contenido de agua (por ejemplo, medición, prueba de puño),
- Riego,
- Volteo,
- Aireación,
- Temperatura ambiente
- Cualquier otra medida, como cubrir con lona térmicas, cribado.
- Olor

Fuente:NB69024:2022

SISTEMAS TECNOLÓGICOS

Los sistemas tecnológicos de compostaje son muy variados. Además, para cada uno de estos sistemas de compostaje el mercado ofrece una gran diversidad tecnológica. Resumidamente, estos sistemas se pueden clasificar como sigue:

Según el movimiento y la disposición del material durante la etapa:

- Sistemas estáticos: pilas, trincheras o canales (con paredes laterales que contienen el material), pilas extendidas (sin estas paredes), reactores de tipo túnel.
- Sistemas dinámicos: pilas, trincheras, pilas extendidas o canales volteados periódicamente, reactores rotativos.

Según el tipo de equipos de volteo:

- De pilas.
- De pilas extendidas.
- De canales.
- Reactores cilíndricos.

Según la ventilación forzada (con recirculación de aire caliente o sin ella):

- Impulsión, aspiración o con alternancia.
- Continua (con variación de caudal o sin ella) o discontinua.

Según el tipo de control de la ventilación:

- Temporizada o de caudal variable.
- Para asegurar niveles mínimos de oxígeno.
- Para controlar la temperatura de la masa.
- Integrando varios factores.

Según la solera pavimentada (de hormigón o similar):

- Perforada de tipo spigot o picholín.
- Perforada de tipo plenum.
- Tubos perforados sobre el pavimento.
- Tubos perforados en zanjas realizadas en el pavimento.
- Tubos perforados embebidos en un material grueso y poroso (grava, corteza, astilla, etc.).

Según la ubicación y nivel de control de proceso:

- Al aire libre sin ningún tipo de protección para la lluvia.
- Al aire libre con cubierta
- Nave cerrada.
- Reactores (túneles, boxes, tambores rotativos, reactores verticales, etc.).
- Otros.



CAPACITACION EN COMPOSTAJE, PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPAL DE MALLASA LA PAZ, AGENCIA DE RESIDUOS DE CATALUNYA-GAMLP, 2022.

05

MADURACIÓN

Durante la etapa de maduración, en la parte final del proceso de compostaje, se generan mayoritariamente compost estables, de características similares a las sustancias húmicas del suelo, a partir de los compost producidos en la anterior etapa de descomposición.

En esta etapa de maduración, la descomposición de materia orgánica, aunque existe, tiene mucha menos importancia, por lo que no hay ni un consumo elevado de oxígeno ni una gran liberación de energía. Por ello, la temperatura de la masa durante la etapa debería ir disminuyendo gradualmente.

Debido a la menor actividad microbiana, esta etapa es mucho menos crítica que la precedente y no requiere un control tan exhaustivo de las condiciones de trabajo. De todos modos, en la práctica conviene estar atento y actuar para evitar las siguientes situaciones:

Temperaturas demasiado elevadas, que pueden ralentizar o inhibir la actividad microbiana. Para evitarlas, al igual que en la etapa de descomposición, es necesario ventilar, remover o regar el material convenientemente.

Sequedad excesiva, que, además de potenciar el fenómeno del calentamiento excesivo del material descrito anteriormente, ralentiza o detiene la actividad microbiana, por lo que al final de la etapa se obtienen materiales menos maduros de lo que sería esperable y deseable. Para evitar esta sequedad es necesario llevar a cabo una buena gestión de los riegos y un



buen control de la humedad del material en maduración.

LA AIREACIÓN FORZADA EN LA ETAPA DE MADURACIÓN

Una gestión adecuada del compostaje a lo largo de la etapa que nos ocupa, con la consiguiente disminución sustancial de la actividad de descomposición, debería garantizar que en la etapa de maduración no sea necesaria la aireación forzada.

En determinados casos, cuando haya disminuido notablemente la porosidad del material que entra en maduración, o bien cuando los apilamientos sean muy grandes y de alturas elevadas, como por ejemplo grandes pilas extendidas, silos o trincheras, es recomendable un sistema de aireación forzada que favorezca la oxigenación y la evacuación de calor del material en maduración.

La etapa de maduración se puede subdividir en dos fases, con aireación forzada y sin ella, y con cambio de ubicación del material.

En cualquier caso, el objetivo principal es alcanzar un adecuado nivel de madurez del compost.

DURACIÓN DE LA ETAPA DE MADURACIÓN

Si se compostan exclusivamente **residuos de baja degradabilidad (RBD)**:

- Se suele considerar conjuntamente la duración de las etapas de descomposición y maduración. Esta duración conjunta de ambas etapas es de seis meses, en función de las características de los materiales, tal como ya se ha comentado en el anterior apartado sobre la etapa de descomposición.

Si se compostan **residuos de alta degradabilidad (RAD)**:

- La duración mínima de la etapa de maduración es de seis semanas.
- Esta duración, preestablecida en el criterio anterior, se puede revisar, tanto al alza como a la baja, una vez la instalación esté en funcionamiento y se pueda comprobar el tiempo real que requiere el compost para alcanzar los criterios establecidos (véase el anexo A.1, «Parámetros de estabilidad»).
- En cualquier caso, y para prevenir una hipotética necesidad de tener que revisar al alza la duración de la etapa, es muy recomendable sobredimensionar ligeramente esta duración y, por lo tanto, la superficie que se dedique a la etapa de maduración. También es recomendable para aquellas situaciones en las que el proceso haya sufrido alguna incidencia y el material no alcance la estabilidad necesaria al final del periodo habitual de maduración.

SUPERFICIE NECESARIA

Para el cálculo de la superficie de la zona de maduración se debe considerar la cantidad/volumen de residuos que provienen de la fase de descomposición, las operaciones de reagrupación de materiales procedentes de la fase de descomposición, la capacidad de carga del material por unidad de superficie, la duración del proceso en esta fase y los demás espacios necesarios.

La superficie necesaria (no se incluye la superficie que requiere el movimiento de la maquinaria o la instalación de los equipos complementarios), en metros cuadrados, se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$S_m = Q_d \cdot (V_{pc}/M_r) \cdot (1 \text{ año}/52 \text{ semanas}) \cdot t_m \cdot (1 +) \cdot (1/CC_m)$$

Donde:

S_m = superficie mínima necesaria, en metros cuadrados, para la etapa de maduración.

Q_d = capacidad de diseño de la instalación, equivalente a la capacidad nominal de la instalación Q_n (toneladas de residuo que se prevé tratar anualmente), multiplicado por el factor de seguridad 1,10.

V_{pc}/M_r = volumen en metros cúbicos de precompost que entra a madurar después del cribado o del reagrupamiento, referido a cada tonelada de residuo tratado (véanse los ejemplos de cálculo de la tabla siguiente).

t_m = duración, en semanas, que requiere la etapa de maduración.

CC_m = volumen de material en metros cúbicos que es posible acumular por cada metro cuadrado de superficie destinada a la etapa de maduración, de acuerdo con la opción tecnológica elegida para esta fase.

Tabla No 10. Ejemplo de cálculo de relación precompost a maduración / residuo tratado.

TIPO DE RESIDUO	PARÁMETRO ID	FORM	LODO DE PTAR	RESTOS VEGETALES	UNIDADES	CALCULO
Densidad aparente del residuo	d	0,6	1,0	0,3	kg/L	
Proporción residuo/ estructurante en la mezcla inicial	RV	2,00	0,25	-	m³/m³	$V_{\text{estructurante}} / V_{\text{residuo}}$
Proporción estructurante/ residuo en la mezcla inicial	1/RV	0,5	4,0	0,0	m³/m³	$V_{\text{residuo}} / V_{\text{estructurante}}$
Reducción de volumen al efectuar la mezcla inicial	RM	0,95	0,8	1	tanto por uno	$V_{\text{mezcla inicial}} / (V_{\text{residuo}} + V_{\text{estructurante}})$
Reducción de volumen durante la etapa de descomposición	RD	0,65	1,00	0,4	tanto por uno	$V_{\text{precompost}} / V_{\text{mezcla inicial}}$
Reducción de volumen en el cribado previo a la maduración (recuperación de estructurante o eliminación de improprios)	RC	0,88	0,12	1	tanto por uno	$V_{\text{precompost cribado}} / V_{\text{precompost no cribado}}$

Fuente: Guía práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje, ARC 2016

Cuando la etapa de maduración se lleva a cabo en sucesivas fases, efectuando cribados o reagrupamientos, el cálculo es el siguiente:

$$S_m = Q_d \cdot (1 \text{ año} / 52 \text{ semanas}) \cdot [(V'_{pc} / M_r) \cdot t_m' \cdot (1 + \Delta') \cdot \dots \dots (1 / CC_m') + (V''_{pc} / M_r) \cdot t_m'' \cdot (1 + \Delta'') \cdot (1 / CC_m'') + \dots]$$

Donde:

S_m y Q_d tienen el significado indicado anteriormente. V'_{pc} / M_r , V''_{pc} / M_r , ... = volúmenes en metros cúbicos de precompost que empieza a madurar o continúa madurando después de cada uno de los cribados o reagrupamientos, referidos a cada tonelada de residuo tratado.

t_m' , t_m'' , ... = duraciones, en semanas, de las sucesivas subfases de la etapa de maduración ($t_m' + t_m'' + \dots$), que serán iguales a la duración total de la etapa de maduración.

Δ' , Δ'' , ... = los incrementos de la duración de las sucesivas subfases.

El valor obtenido según las fórmulas anteriores se debe corregir de acuerdo con la gestión prevista para los materiales en la etapa. Hay que tener en cuenta lo siguiente:

- Parte de la superficie será inhábil, dado que debe estar libre para recibir nuevo material para su maduración o estará ocupada por otro material ya madurado y pendiente de ser trasladado a la zona destinada a su almacenamiento.
- El uso de volteadora también inutiliza una parte de la superficie: la zona que se requiere para el giro de la propia volteadora y el espacio que ocupa el desplazamiento del material que algunos de estos equipos provocan.
- Asimismo, en ocasiones hay que dejar espacios de separación entre materiales en diferente estadio de maduración, ya sea porque no interesa que estén en contacto o bien para permitir la actuación de las volteadoras.

LA INCORPORACIÓN DE LÍQUIDOS

La incorporación de líquidos durante la etapa de maduración puede ser necesaria para que el precompost:

- Sea demasiado seco, ya desde el inicio, para permitir una actividad microbiana adecuada.
- Se seque demasiado por la propia actividad microbiana de la etapa de maduración.

Para estas situaciones deben preverse equipos que permitan el aporte de agua. A continuación destacamos algunos aspectos importantes desde la perspectiva de esta etapa:

- Es del todo recomendable emplear aguas limpias.
- **No está permitido emplear lixiviados y residuos líquidos para el riego en la maduración.**
- En cambio, sí que se permite el uso de aguas pluviales sucias, siempre que se gestionen aparte de los lixiviados.

La aplicación de un líquido aprovechando la actuación de un equipo de volteo es muy apropiada si se dispone de este equipo.



CONTROL DEL PROCESO



La maduración sigue inmediatamente después de la fase de descomposición intensiva. La degradación es complementada por procesos de transformación que forman nuevas sustancias húmicas complejas en temperaturas de menos de 40 ° C.

Durante la maduración, se debe tener cuidado de:

- Prevenir las condiciones anaeróbicas causadas por la humedad excesiva o la compactación como función de la estructura y altura de la hilera (por ejemplo, girando según se requiera).
- Evitar que se seque.
- Reducir las emisiones de polvo durante la manipulación (ajuste a un contenido de agua óptimo, limpieza apropiada de caminos).
- Prevenir la reinfección resultante de la introducción de gérmenes patógenos procedentes de materias primas de lotes de materiales aún no higienizados.
- Prevenir la introducción de semillas (prevenir la vegetación en las pilas de compost).
- La documentación de maduración debe incluir una documentación de lote que registre el riego, volteo, aireación, cualquier otra medida, como cubrir con lona térmica, cribado, etc.

Fuente:NB69024:2022

EJEMPLO DE CASO: PLANTA TIQUIPAYA

Plataforma de maduración

La plataforma de maduración no es impermeabilizada, porque el material generará poco lixiviados.

Vaciado y traslado de material a maduración

Una vez completada las seis semanas en proceso de descomposición, se realiza el vaciado y traslado de las pilas de descomposición al área de maduración, donde permanecen otra 5 a 6 semanas con volteos semanales.

Máquina y equipo:

La maquinaria empleada en esta etapa, es la siguiente:

- Minicargador frontal para traslado y volteos.
- Equipo de bomba de agua y manguera

Registro del vaciado y traslado

Se registrar código, número de pila, día, volumen vaciado y traslado de la pila y se coloca letrero de identificación desde descomposición hasta la etapa del cribado para identificar la pila.

Riego en maduración

Al momento de vaciado y traslado del material se observa el nivel de humedad, que debe estar entre 40 a 50% de humedad, si el material está seco se riega con agua limpia a medida que el material está siendo retirado al área de maduración.

Es aconsejable regar en la primera semana y no así en las últimas semanas de maduración, para que al final tenga que llegar con una humedad adecuada para tamizado 30 - 40% de humedad.

Volteos en etapa de maduración

En esta etapa de producción debe realizarse los volteos, un volteo por semana como mínimo, hasta llegar a etapa de tamizado o cribado, con la finalidad de homogeneizar y airear las pilas. Los volteos también dependerán del estado de humedad del material.



Minicargador de ruedas conformando pilas de maduración

SISTEMAS TECNOLÓGICOS

Las alternativas tecnológicas para la etapa de maduración son las mismas que las de la precedente etapa de descomposición. Sin embargo, dado que la etapa de maduración no requiere un control tan exhaustivo de las condiciones de trabajo, se suelen emplear las alternativas más simples, pilas extendidas o silos.

Por la propia definición de la etapa, la maduración debería tener asegurada la oxigenación de forma espontánea.

No obstante, bien por la disposición que se dé al apilamiento o bien porque la porosidad del material es insuficiente, en ocasiones debe recurrirse a la aireación forzada para alcanzar niveles suficientes de oxígeno o, también, para evitar excesivos aumentos de la temperatura de la masa.

En cualquier caso, son sistemas de aireación sencillos, con menos puntos de inyección de aire y menor caudal que los necesarios en la etapa de descomposición.

En cuanto a los cargadores o palas empleados para el transporte de material es recomendable emplear y adquirirlos con cucharón especial para materiales de baja densidad como es el caso de los residuos orgánicos, esto permitirá una mayor productividad de la planta.



EQUIPOS PARA EL VOLTEO DE PILAS DE COMPOSTAJE (DESCOMPOSICIÓN Y



MADURACIÓN)

Tipo: Volteadora tipo remolque

Ancho Max. de pila: 2,7 m

Alto Max. de pila: 1,25 m

Capacidad Max. Volteo: Hasta 600 m³/h

Potencia: 30 cv (tractor)

Accionamiento: Toma fuerza de Tractor.

Tipo: Volteadora tipo remolque con sistema de irrigación

Ancho Max. de pila: 2 m

Alto Max. de pila: 1,5 m

Capacidad Max. Volteo: sd

Potencia: 60 HP (tractor)

Accionamiento: Toma fuerza de Tractor.

Tanque: 750 l, riego por gravedad sin bomba.

Tipo: Volteadora autopropulsada.

Ancho Max. de pila: 5 m

Alto Max. de pila: 2,2 m

Capacidad Max. Volteo: 4000 m³/h

Potencia: 242 kW

Accionamiento: Motor a diésel.

Otros: Sistema de control electrónico,



Otros: cabina climatizada y mandos tipo Joystick.

Tipo: Digestor aerobio con volteo automático sobre carro, en nave cerrada.

Altura Max. de meseta: 2 m

Área de 1 Reactor: 168 m de largo x 26 m de ancho

Capacidad Max. Volteo (3 reactores): 45 ton/h

Accionamiento: Motores eléctricos.

Otros: Control automatizado.



OPERACION INTENSIVA DE LA PLANTA DE COMPOSTAJE MUNICIPAL DE TIQUIPAYA-COCHABAMBA, 2025.

06

POST TRATAMIENTO

Se llama etapa de post tratamiento al conjunto de operaciones que, opcional o necesariamente, deben llevarse a cabo una vez finalizada la etapa de maduración, con los siguientes objetivos:

1. Recuperar el estructurante en caso de que la mezcla compostada todavía lo contenga e interese recuperarlo.
2. Separar los impropios que el compost generado pueda contener, por no haberse eliminado anteriormente.
3. Mejorar las características físicas del estructurante recuperado (fundamentalmente, eliminar impropios) para poder reutilizarlo en nuevos ciclos de compostaje.
4. Obtener un compost de una granulometría determinada.
5. Obtener unos productos para comercializar con unas características químicas o físicas determinadas, ya sea mezclando diferentes compost o bien mezclándolos con abonos minerales, arenas, tierras vegetales, etc.
6. Ofrecer unas determinadas presentaciones del producto.

El material estructurante que se reutiliza en nuevos ciclos de compostaje se denomina habitualmente reciclado.



Algunas Áreas de aplicación típicas y los sectores de mercado para compost son:

- Agricultura y horticultura cultivada en el suelo
- Horticultura
- Jardinería
- Suelo de macetas y medios de cultivo
- Paisajismo y producción de césped
- Restauración y recuperación de tierras

Fuente:NB69024:2022

FASES

El post tratamiento puede estar constituido por las siguientes operaciones, dependiendo de los materiales compostados:

1. La recuperación del estructurante, mediante un cribado.
2. La eliminación de impropios del compost, en caso de que lo contenga.
3. El acondicionamiento del estructurante recuperado o reciclado.
4. La preparación de mezclas para comercializar.
5. La preparación de unos productos para comercializar con unas granulometrías determinadas.
6. Su expedición o comercialización.
7. La duración de estas operaciones depende evidentemente de los volúmenes de material que se han de manipular y de la capacidad de los equipos elegidos.

CONFINAMIENTO DE ESTA OPERACIÓN

En principio, los materiales que se manipulan en la etapa de post tratamiento no deben generar malos

olores. Por tanto, no es necesario confinarlos, aunque hay algunas situaciones en las que habría que tomar medidas de prevención contra los malos olores.

1. Las operaciones que conforman el post tratamiento:

- Se deben desarrollar a cubierto en caso de que se trate de equipos fijos.
- Se deja a criterio del promotor llevarlas a cabo a cubierto o al aire libre si los equipos son móviles.

2. Otro aspecto que debe tenerse en cuenta es el hecho de que algunos de los materiales manipulados en esta etapa, como el compost, presentan una granulometría muy fina y son fácilmente arrastrados por el viento. Por lo tanto, se ha de valorar la conveniencia de incorporar medidas correctoras, tales como:

- Disponer barreras físicas, como muros, mallas de plástico, pantallas vegetales, microaspersión localizada, etc.
- Carenar los elementos de cribado y transporte (trommels, cribas vibratoras, transportadores de banda, etc.).
- Posponer las operaciones (cribados, descargas, etc.) que, en condiciones meteorológicas adversas, incrementen de forma apreciable la emisión de polvo.

MATERIALES RESULTANTES DEL POST TRATAMIENTO

Como resultado de las diferentes operaciones que configuran la etapa de post tratamiento se obtienen una serie de materiales que hay que tratar y almacenar adecuadamente.

Estos materiales son:

1. El **compost** y los productos que se derivan de este compost de diferentes granulometrías, así como fertilizantes y enmiendas obtenidos al mezclar el compost con otros materiales ajenos al proceso de compostaje. Todos estos productos, a granel o ya envasados, deben almacenarse hasta su comercialización o hasta que lleguen a su destino final.

2. El **estructurante**:

- Es el recirculado, es decir, la totalidad o la frac-



ción del estructurante recuperado que se reutilizará en nuevos ciclos de compostaje.

- La fracción o las fracciones del estructurante que no presentan las características adecuadas para su reutilización se consideran habitualmente rechazo y se tratan como tal.
3. Los **rechazos**. Dado que los rechazos se envían, habitualmente, fuera de la instalación, se puede valorar la conveniencia de almacenarlos en los propios contenedores en los que deban ser trasladados.

CRIBADO

Durante el proceso de compostaje es necesario, para algunos materiales, realizar un cribado en el transcurso de las etapas de descomposición o de maduración, o bien al final de estas etapas, para eliminar parte de los impropios de gran tamaño que puedan estar presentes en el material o para recuperar parte del estructurante de la mezcla que se está compostando.

Razones para cribar

Impropios

Si el material que se ha de compostar contiene impropios, conviene separarlos tanto como sea posible y cuanto antes mejor. De este modo se reducirá:

- La superficie que se ha de destinar a las posteriores etapas del proceso.
- El desgaste de equipos, instalaciones, pavimentos, etc.
- El riesgo de obtener un producto final con una elevada concentración de contaminantes o de impurezas.

Estructurante

El interés de la recuperación del material estructurante reside en su incidencia económica (costos de

operación), en el volumen y la facilidad de recuperación de este material y, por último, en la reducción de la superficie destinada a etapas posteriores al cribado.

El volumen recuperable depende de lo siguiente:

- La degradación que sufre el estructurante utilizado (astilla, madera de poda, etc.) en el transcurso del proceso. Por lo tanto, la duración que requiere este proceso también es un factor que debe considerarse.
- El tamaño del estructurante y su relación con el paso de malla de la criba utilizada.
- Si se trata de procesos dinámicos o estáticos, ya que los procesos dinámicos tienen más tendencia a deshacer el estructurante.

Las características de los materiales separados –reciclado o impropios– dependen del momento en que se lleva a cabo la operación. Así, los rasgos diferenciales de los materiales recuperados a medio proceso de compostaje respecto a los recuperados al final de la etapa de maduración son los siguientes:

1. Una humedad superior, lo que minimiza la problemática del polvo, pero que, cuando es excesiva, puede causar frecuentes atascos en las cribas.
2. El estructurante recuperado o los impropios separados pueden contener restos adheridos del material/residuo que deba compostarse aún no completamente estabilizado.

EJEMPLO DE CASO: PLANTA TIQUIPAYA

El objetivo de esta operación es conseguir fracciones muy definidas:

1. Un compuesto el más libre posible de impropios.
2. Un material reciclante también muy limpio que

pueda reutilizarse cómo estructurante a ser mezclado con los RSO a compostar.

Maquinaria y equipo

- Minicargador frontal
- Mesa Vibratoria para tamizar.
- Zaranda en forma de "A"
- Trinche
- Palas
- Equipo de seguridad

Personal

Para el cribado se requiere de dos personas que golpean o vibran la zaranda para facilitar el tamizado del material y un operador de minicargador.

- 2 obreros de apoyo
- 1 Operador de la Minicargador.

Humedad

El material a tamizar debe contener una humedad de entre 30 a 40%, el control es visual.

- Si el material a cribar es demasiado seco se genera excesivo polvo, es difícil de controlar y operar.
- Si el material a cribar está demasiado húmedo se atascan rápidamente en la malla de cribar y no se separa correctamente, habrá menos fino que grueso.

Identificación y registro

Hasta llegar a esta etapa se mantiene la plaqueta de identificación para poder registrar e identificar la pila.

En etapa del cribado se registrarán lo siguiente:

- Código de la pila (nº de pila)
- Día, mes y año de cribado del material
- Cantidad de material que ha llegado a esta etapa

- Cantidad obtenida de compost fino.
- Cantidad de material grueso que se separa
- Cantidad de impropios que se separa.

Cribado

En la planta de compostaje municipal se obtienen 2 tipos de calidades de tamizado o cribado uno es un tamizado grueso esta se obtiene utilizando la zaranda en forma de "A" y el otro tamizado es el fino que se obtiene utilizando una mesa vibratoria para tamizar el compost.

Procedimiento para tamizar en la zaranda en "A"

- Con la pala del minicargador se desmonta la pila de la zona de maduración que ya cumplió con el tiempo establecido y se descarga al tamizador.
- En el cribado la malla que se utiliza es de 2,5 mm de luz, el cual separa dos tipos de materiales, uno fino y limpio que es conducido a almacén de compost y otro grueso del cual se va separando manualmente con ayuda de trinchas, los materiales impropios (plásticos, piedras, metales y otros) que se enviará a disposición final y el material grueso limpio que no se ha descompuesto se reutilizara nuevamente como recirculado.
- El recirculado ya limpio vuelve a homogeneización como estructurante e inoculante.
- Después de cada operación de cribado se procede a la limpieza de toda el área de trabajo, traslado de los impropios y mantenimiento de la zaranda.



una malla intercambiable con una dimensión de luz de 7mm y otra de 10 mm, que separa dos tipos de materiales uno fino por un lado de la mesa y por otro lado otro grueso que volverá al proceso de descomposición.

- Acomodar la maquina vibradora en la zona de tamizado, esta debe estar limpia y despejada de tal forma que nos permita un trabajo eficiente.
- Verificar la máquina, observar el estado de las poleas y partes vibratorias de la misma, si fuera necesario engrasar y colocar aceite.
- Encender y empezar a alimentar sobre la tolva compost, para que empiece a tamizar, esta alimentación debe de ser lenta para que el tamizado sea efectivo.
- Al estar en funcionamiento se podrá observar el tamizado el cual se tendrá que estar al pendiente de amontonar el compost cernido retirándolo al

lugar donde se almacenara, por otro lado el producto grueso del cernido, con ayuda de una carretilla al final de la mesa , debe ser retirada para su utilización.

ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS

Equipos de preparación del recirculado

Los equipos utilizados en la recuperación del estructurante son cribas de diferentes tipos: estáticas inclinadas, rotativas, vibrantes, de estrella, etc. A la hora



de elegir el equipo apropiado conviene valorar los siguientes aspectos:

1. Capacidad de trabajo adecuada a los volúmenes que han de manipular.
2. Facilidad para cambiar la luz de la criba, si lo requiere el proceso industrial.
3. Eficacia con materiales de humedades variables.
4. Facilidad para limpiar los equipos.
5. Capacidad para acoplar sistemas, pasivos o activos, de retención o eliminación de polvo.

Equipos para la separación de impropios

Los equipos de separación de impropios se basan en aprovechar una o varias de las características de estos materiales: granulometría, densidad, humedad, superficie específica, características electromagnéticas, etc. A la hora de elegir el equipo adecuado interesa valorar los siguientes aspectos:

1. Capacidad de trabajo apropiada a los volúmenes que deban manipularse.
2. Eficacia en el tratamiento de materiales con distintos parámetros de humedad.
3. Facilidad para limpiar los equipos.
4. Capacidad para acoplar sistemas, pasivos o activos, de retención o eliminación de polvo.

Equipos de mezcla

A la hora de elegir el equipo de mezcla, ya sea para mezclar diferentes compost o bien para mezclar estos compost con fertilizantes minerales, arenas, tierras vegetales, etc., conviene valorar los siguientes aspectos:

1. Su capacidad de tratamiento, que debe ajustarse al diseño de la instalación.
2. Su versatilidad, en caso de que esté prevista la preparación de una amplia gama de productos.
3. La facilidad para limpiarlo, en caso de que sea necesario manipular alternativamente materiales diferentes.

Equipos de envasado

En esta operación se pueden utilizar:

1. Ensacadoras manuales.
2. Ensacadoras automáticas.
3. Equipos de llenado a granel (big bags).

Los sistemas de alimentación que complementan estos equipos de envasado deben adecuarse a las características de los materiales que se han de manipular: granulometría, humedad, etc.



07

ALMACENAMIENTO Y OPERACIONES COMPLEMENTARIAS

ALMACENAMIENTO DE COMPOST

Se denomina etapa de almacenamiento de compost





al periodo comprendido entre el final de las etapas productivas y su salida de la instalación.

Se necesita un tiempo mínimo de almacenamiento para poder dar respuesta a las siguientes situaciones:

- La estacionalidad en la demanda.
- Las emergencias logísticas.
- La trazabilidad de los productos producidos.
- El control o la reducción de la incidencia del polvo y u dispersión.

FASES

El almacenamiento se puede considerar constituido por las siguientes operaciones:

1. El transporte de los materiales desde el post tratamiento.
2. El almacenamiento propiamente dicho.
3. La expedición de los productos.

En ocasiones, y siempre que no sea necesario someter el compost a algún post tratamiento, se puede llevar a cabo el almacenamiento en el mismo lugar donde se realiza la maduración del producto, como una continuación natural de esta etapa: esta situación se da, sobre todo, en el compostaje de lodos o de estiércol. En este caso, los criterios que deben aplicarse en el diseño del almacenamiento son los que se definen en la etapa de maduración. Un ejemplo de esta situación podría ser el siguiente caso:

1. En un compostaje de lodos, se recupera todo el estructurante posible antes de la etapa de maduración o a media etapa.
2. El precompost cribado se apila en la zona de maduración, que en estas circunstancias debe disponer obligatoriamente de ventilación forzada, tanto para oxigenar la masa como para evacuar

el calor generado.

3. Cuando ya no se requiere la ventilación, puede darse por terminada la etapa de maduración (habitualmente, a las seis semanas) y, sin mover el material de lugar, comienza el almacenamiento propiamente dicho.

DURACIÓN

1. La capacidad de almacenamiento para un **compost maduro** destinado a usos agrícolas o en la jardinería debe ser suficiente para acopiar la producción de, al menos, dos meses.
2. La capacidad de almacenamiento para un **compost fresco** también apto para la agricultura es de dos semanas, para poder cubrir cualquier contingencia logística que impida expedirlo. Este producto, por sus características, no puede almacenarse durante un periodo de tiempo más largo, por el riesgo de generar malos olores. Por ello, toda instalación de compostaje que pretenda pro-



ducirlo debe coordinarse con otra instalación que puntualmente pueda completar su maduración en aquellos periodos en los que no hay demanda agrícola.

3. La capacidad de almacenamiento de un compost no apto para usos agrícolas es de dos semanas, para poder cubrir cualquier contingencia logística que impida expedirlo.
4. En aquellos casos en que se hagan coincidir sobre el mismo espacio las etapas de maduración y de almacenamiento, la duración es, evidentemente, la suma de las duraciones de cada una de las etapas.

CARACTERÍSTICAS DEL ALMACÉN

1. No es necesario confinar la etapa de almacenamiento, ya que los productos que llegan al almacén deben estar estabilizados y no existe ningún motivo para que generen malos olores.
2. La solera del almacén puede ser de tierra compactada, siempre que ello no dañe la calidad de los productos almacenados.
3. El almacén puede estar cubierto o no. A la hora de tomar la decisión se debe tener en cuenta:
 - Si la lluvia puede dañar o no la calidad del producto final: si está envasado o no, si se comercializa en peso o en volumen, si está destinado a depósito controlado (donde tendrá un precio por unidad de masa) o a aprovechamiento energético (donde se pagará según su poder calorífico), etc.
 - El dimensionamiento y el coste de las balsas o depósitos de recogida de aguas pluviales sucias, dado que las aguas pluviales desaguadas del almacén y de los viales que les dan servicio tendrán esta calificación.
4. Otro aspecto que cabe tener en cuenta es el hecho de que los productos almacenados suelen ser bastante secos y la mayoría tienen una gra-

nulometría muy fina. Por lo tanto, si no están envasados pueden ser fácilmente arrastrados por el viento. Por ello, debe valorarse la conveniencia de establecer medidas correctoras, tales como barreras físicas, o evitar el movimiento del material cuando haga viento.

El compost estabilizado y maduro debe almacenarse:

- Ya sea en superficies impermeabilizada con drenaje + colección de agua de lluvia y lixiviado, o
 - A campo abierto, considerando precipitación pluvial y licencia ambiental (si es necesario cobertura con lona térmica o bajo techo para evitar la lixiviación de nutrientes, prevención de anegamiento).
 - Garantizando las condiciones de almacenamiento y previniendo los riesgos de reinfección del compost
- La documentación de almacenamiento deberá cubrir al menos los siguientes datos:
- Designación de área(s) de almacenamiento





Código de lote no ambiguo y declaración de lote (s) de compost
Registros sobre la cantidad y los clientes o la utilización para fines propios.

ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS

1. El almacenamiento debe ser múltiple o ha de estar debidamente compartimentado cuando tenga que dar servicio a distintos productos, para poder asegurar su calidad y trazabilidad.
2. Las zonas destinadas al almacenamiento deben disponer de una solera con la pendiente adecuada para recoger las aguas pluviales desaguadas y las del sistema de conducción hasta la balsa de almacenamiento correspondiente.
3. El almacenamiento debe estar cubierto o no, en función de que el agua de lluvia pueda dañar la calidad del producto o complique la gestión en su destino final.
4. El agua de lluvia que caiga directamente sobre las zonas de almacenamiento (en caso de que estén descubiertas) se considera agua pluvial sucia y se debe conducir hasta la balsa o depósito de

Fuente: NB600216

almacenamiento correspondiente a estas aguas.

5. En caso de que los productos se almacenen en envases impermeables, las aguas pluviales colectadas pueden considerarse aguas limpias.
6. Por la misma razón, el diseño de la etapa debe evitar que la concentración de polvo en la atmósfera de la zona de trabajo sea excesiva y que se creen atmósferas explosivas debido a este polvo.

INSTALACIONES Y EQUIPOS COMPLEMENTARIOS

Las plantas de compostaje, según su capacidad, deben disponer de la totalidad o de parte de las instalaciones y equipos complementarios:

1. Edificios de servicio.
2. Báscula.
3. Área de Vermicompostaje
4. Balsas o depósitos de recolección de lixiviados, de aguas pluviales limpias y de aguas pluviales



sucias.

5. Sistemas de tratamiento de los aires exhaustos.
6. Sistemas de eliminación de polvo.
7. Zona perimetral de seguridad.
8. Depósitos de combustibles.
9. Equipos de limpieza de camiones, maquinaria e instalaciones.
10. Equipos e instalaciones contra incendios.
11. Estación meteorológica automática.

EDIFICIOS DE SERVICIO

Las instalaciones de compostaje requieren habitualmente los siguientes equipamientos y edificaciones:

1. De servicio a los trabajadores (vestuarios, comedor, aseos, etc.).
2. Para contener los sistemas de control del proceso, el laboratorio y las oficinas.
3. Para controlar las entradas y salidas de materiales.
4. Aparcamiento de la maquinaria móvil.
5. Taller de mantenimiento.
6. Aparcamiento de vehículos privados.

En la siguiente tabla se indican las instalaciones de compostaje que deben disponer de un pequeño laboratorio en planta con los reactivos, instrumentos y equipos que permitan determinar los parámetros mínimos que requiere el control de calidad de los materiales destinados a compostaje y los productos obtenidos.

Tabla No 11. Necesidad de laboratorio en las instalaciones de compostaje

Materialdestinadoacompostaje	Capacidad de tratamiento Nominal		
	<1000 t/año	1000-6000 t/año	>6000 t/año
Fracción vegetal	Recomendable	Obligatorio	Obligatorio
Estiércol	Recomendable	Recomendable	Obligatorio
Restos de RAD y RBD	Exento	Obligatorio	Obligatorio

A continuación se detallan estos parámetros mínimos y los equipos de laboratorio necesarios. El laboratorio en planta debe disponer de sondas portátiles de temperatura y de determinación de oxígeno en la atmósfera interna de los materiales, con independencia de que los sistemas de control de las etapas de descomposición y de maduración ya las posean.

Tabla No 12. Parámetros mínimos para laboratorio en planta.

Parámetro(s)	Equipo(s)
pH	pH-metro
Salinidad	Conductímetro
Contenido en materia seca	Estufa y balanza
Contenido en materia orgánica (opcional, pero deseable)	Horno de mufla y balanza
Grado de madurez. Por su simplicidad, se recomienda el método Rottegrade	Vasos Dewar y termómetros
La densidad aparente y la porosidad, si se prevé que la instalación trate mezclas de materiales (por ejemplo, residuo estructurante)	Balanza

Cuando se pretende certificar la calidad del compost, deben de determinarse mas parámetros a través de su método de ensayo, estos se detallan en el anexo A3

ÁREA DE VERMICOMPOSTAJE

Esta área opcional permite la producción de humus de lombriz aplicando la lombricultura, otro método para tratar **residuos orgánicos sólidos no maduros**.

El área de la lombricultura en la compostera, es un área cubierta y protegida, por tanto su construcción debe de evitar el ingreso de roedores, hormigas, luz solar directa, y viento, toda vez que es el lugar donde se crían lombrices rojas californianas en cajas, cunas o camas (recipiente); (ejemplo de dimensiones: 1,20 m de ancho por 9 m de Largo con una altura de 0,60 m de alto), el recipiente a su vez debe estar cubierto e impermeabilizado. El área además debe contar con puertas de ingreso y pasillos entre cunas, como también un sistema de recolección de lixiviados. Es muy importante mantener cubierto el recipiente para evitar la exposición a la luz y cuidar la entrada de oxígeno al recipiente.

Del proceso de vermicompostaje

La alimentación para la crianza de lombrices empieza con una cama llena hasta un cierto nivel con comida de compost inmaduro, papel o cartón picado (no impreso), hojas humedecidos, y se siembran a las lombrices en su interior, este alimento es adecuado para empezar la crianza.

Las lombrices no se alimentan directamente de los restos de alimentos depositados, si no de los microorganismos que proliferan en su degradación.

Las lombrices pueden proliferar y desarrollarse tanto con una dieta variada como si las alimentamos únicamente de restos de café, pero es mejor que sea variado. Se podrá observar lo que les gusta más o menos. Es muy aconsejable **triturar los restos o darle los alimentos en trozos pequeños** para facilitar su descomposición, de esta forma, producirán el humus mucho antes.



Tabla No 13. *Residuos orgánicos para lombricultura*

ADECUADOS	NO ADECUADOS
<ul style="list-style-type: none"> • Restos de comida (sin grasas ni lácteos) • Restos de vegetales (evitar cebolla) • Restos de frutas (evitar cítricos) • Bolsas de té, mate, café, yerba mate 	<ul style="list-style-type: none"> • Restos de jardín • Carne y pescado en exceso suponen un aporte de proteínas que se degradan a amonio y varían la conductividad del medio. • Lácteos, huesos y alimentos grasos. • Plantas y frutas enfermas. • Cenizas o aserrín de madera tratada.

Para mayor detalle revisar la cartilla COMPOSTAJE Y LOMBRICULTURA DOMICILIARIO 2da. versión 2018 del Ministerio de Medio Ambiente y Agua.

ZONA PERIMETRAL

Las plantas de compostaje deberán disponer de una valla perimetral que delimite toda la instalación, incluidos los almacenamientos de todo tipo de residuos y de los productos finales obtenidos. Esta valla tiene por finalidad:

- Evitar la entrada no controlada de personas y animales.
- Facilitar el control de entradas y salidas de material.
- Evitar la entrada de vehículos fuera de horas de trabajo.

La valla perimetral debe tener una altura mínima de 2 m, contados desde la cota del pavimento.

Las plantas de compostaje deberán cumplir las disposiciones establecidas por la normativa vigente sobre medidas de protección de incendios forestales. Las disposiciones actuales se recogen en la siguiente tabla.

Tabla No 14. *Medidas que las instalaciones de compostaje deben aplicar para evitar incendios forestales*

Medidas
Una zona de seguridad de 10 m hasta las masas forestales, que se contará desde la valla perimetral o desde los puntos definidos como de almacenamiento o de proceso.

BALSAS O DEPÓSITOS DE PLUVIALES O LIXIVIADOS

Los lixiviados de compostaje

Definición.

Son los líquidos que generan los RAD y los RBD (salvo las fracciones vegetales que pueden emplearse como estructurante) que se pretenda compostar, ya sea en la recepción, en el almacenamiento, en las operaciones de premezcla y mezcla o durante las etapas de descomposición o de maduración. También se consideran lixiviados las aguas pluviales que se recojan de los siguientes puntos, siempre que estén descubiertos:

- De las zonas de almacenamiento temporal del estructurante recuperado (recirculado).
- De las zonas de descarga de los RAD y los RBD (excepto las fracciones vegetales nuevas), de su premezcla y de su mezcla/homogeneización.
- De las zonas destinadas a las etapas de descomposición y de maduración de los materiales anteriores.
- De las zonas destinadas a las etapas de descomposición y de maduración de las fracciones vegetales, cuando se haya incorporado algún RAD, RBD o solución nitrogenada para favorecer el desarrollo del compostaje.
- De los viales que dan servicio inmediato a todas estas zonas, es decir, cuando las ruedas de los vehículos puedan tener contacto directo con el material (residuo, mezcla, precompost, etc.).

- De los biofiltros descubiertos.

Gestión

Los lixiviados se deben recoger y almacenar, y se han de gestionar con alguna de las siguientes alternativas:

- Utilizarlos en el riego de la etapa de descomposición, pero siempre antes de una fase termófila de higienización.
- Tratarlos en una depuradora de la propia instalación.
- Transportarlos a instalaciones externas que estén autorizadas para el tratamiento de estos residuos.

También se gestionan como lixiviados las aguas de lavado de camiones.

Asimismo, los efluentes de la instalación de tratamiento de las aguas sanitarias de la instalación pueden gestionarse como lixiviados.

Aguas pluviales sucias

Definición

Son las procedentes de todas las zonas de trabajo descubiertas de la instalación, incluidos los viales, y que no se han mencionado expresamente en el punto anterior.

Concretamente, se aplica esta calificación a las aguas de escorrentía de las zonas de post tratamiento que estén descubiertas.

También reciben esta consideración las recogidas en las zonas destinadas a la recepción, la trituración y el almacenamiento de las fracciones vegetales que pueden emplearse como estructurantes. Asimismo, son consideradas aguas pluviales sucias las procedentes de las etapas de descomposición, maduración y post-tratamiento de las fracciones vegetales con caracte-

rísticas para su empleo como estructurantes, siempre que NO se haya añadido ningún RAD, RBD o solución nitrogenada para favorecer el proceso de compostaje.

Gestión

En principio, las aguas pluviales sucias deben gestionarse igual que los lixiviados. Ahora bien, si se recogen separadamente, las aguas pluviales sucias se pueden utilizar para el riego en las siguientes situaciones:

- En cualquier momento de las etapas de descomposición o de maduración, si bien es muy recomendable su empleo antes de una fase termófila que permita higienizarlas.
- Si provienen del biofiltro, siempre que las aguas no huelan mal.

Cuando el riego no pueda consumir todas las aguas pluviales sucias se procederá del siguiente modo:

- Deben ser exportadas de la instalación a través de un gestor autorizado.
- Se pueden utilizar para el riego de suelos agrícolas, siempre previo cumplimiento del reglamento en materia de contaminación hídrica de la ley No. 1333.

Las aguas pluviales limpias

Definición

Son todas aquellas que no han estado en contacto directo con residuos ni con pavimentos sucios: aguas de cubiertas o de viales fuera de las zonas de trabajo.

Gestión

Se pueden verter directamente al cauce público o recogerse para uso de la propia instalación, en especial para el riego de la etapa de maduración —si el proceso lo requiere—, del biofiltro o del ajardinamiento, o bien para mantener las reservas contra incendios.

Alternativas tecnológicas

El almacenamiento se puede realizar indistintamente en balsas o depósitos, siempre estancos. Los depósitos cerrados son preferibles para la contención de lixiviados, dado que es más fácil el control de los malos olores, que se lleva a cabo mediante la aspiración de los gases de su atmósfera interior y la conducción hacia un sistema de tratamiento del aire.

Sin embargo, las balsas abiertas también se pueden adaptar para la recogida de lixiviados que huelan mal si:

- Se complementan con equipos de aireación superficial del líquido.
- Se cubren con una cúpula y se aspiran los gases del interior de esta cúpula para conducirlos al sistema de tratamiento.
- Se complementan con sistemas naturales de depuración: plantas acuáticas, cañaverales, etc.

El almacenamiento de los lixiviados y las aguas pluviales sucias debe efectuarse por separado o conjuntamente, en función de que el sistema de tratamiento o reutilización previsto para estas aguas sea, respectivamente, individual o conjunto.

Solo hay que recoger las aguas pluviales limpias cuando tengan una utilidad dentro de la instalación, como la reserva contra incendios o el riego de la zona de maduración, el biofiltro o el ajardinamiento.

SISTEMA DE TRATAMIENTO DE GASES

En algunas de las operaciones que configuran el proceso de compostaje completo se pueden emitir gases malolientes, nocivos o ambas cosas a la vez. Para estas situaciones se debe disponer de sistemas de recogida o tratamiento de estos gases antes de que lleguen a la nave de trabajo o al exterior de la instalación, tanto por cuestiones de seguridad, salud laboral o medioambientales como para evitar molestias al vecindario. En este apartado se aborda la descripción de estos sistemas diseñados para la eliminación o la reducción/minimización de estos gases.

A la hora de elegir un sistema de tratamiento/eliminación de los gases generados en las instalaciones de compostaje se tendrán en cuenta los siguientes condicionantes:

1. Las características químicas de los gases contenidos en la atmósfera por tratar. Aunque la composición de los aires que se han de tratar suele ser muy compleja, a partir de los materiales destinados a compostaje y las condiciones en que se desarrollará el proceso es fácil prever si existirán o abundarán alguno de los siguientes tipos de compuestos:
 - Amoniaco, que se genera en el compostaje de materiales o mezclas con bajas relaciones C/N, como los lodos de PTAR.
 - Ácidos orgánicos, sulfuro de hidrógeno y sulfuros orgánicos, que aparecen cuando en alguna parte del proceso no se ha conseguido mantener las condiciones aeróbicas propias del compostaje.
 - Otros compuestos orgánicos volátiles (compuestos azufrados, compuestos aromáticos, terpenos, aldehídos, cetonas, alcoholes, ésteres, etc.).

2. El caudal y la concentración de olor del aire por tratar.

Habitualmente se presentan dos situaciones:

- Caudales bajos con elevada concentración, que corresponden a gases del proceso (tolvas de almacenamiento, operación de mezcla, gases procedentes de la etapa de descomposición, etc.).
 - Caudales elevados de baja concentración, que suelen proceder de la renovación de la atmósfera de las naves de trabajo.
 - Suele ser muy favorable —económicamente y por su eficiencia en la eliminación de olores— tratar por separado estos dos tipos de aires.
1. El espacio disponible. Algunos sistemas de tratamiento son muy compactos y otros, en cambio, requieren mucha superficie.
 2. Los requerimientos de agua.
 3. El consumo eléctrico.
 4. Los requerimientos de otros combustibles (gas natural, gasóleo, etc.).
 5. La generación de subproductos o residuos por parte del sistema de tratamiento de gases, que posteriormente se deben eliminar o tratar, lo que no siempre es posible, fácil o económico: agua de limpieza de los gases, soluciones ácidas o básicas, carbón activado gastado, relleno de biofiltro degradado, etc.
 6. El tiempo de arranque. Los sistemas de tratamiento biológico requieren un periodo de tiempo antes de alcanzar su máxima efectividad.
 7. La fiabilidad ante los cambios de calidad del aire por tratar. En general, los sistemas químicos suelen presentar una robustez superior.
 8. La necesidad de mantenimiento. Todos los sistemas requieren mantenimiento, con mayor o menor frecuencia. Por lo tanto, deben preverse sistemas alternativos que permitan continuar tratando el aire durante estas operaciones, en caso de que falle el suministro de reactivos o por averías.

9. La complejidad del sistema. Algunos sistemas de tratamiento requieren personal especializado para su funcionamiento y mantenimiento, mientras que otros son muy simples.

Los sistemas más comunes de tratamiento/eliminación de los gases molestos (malos olores) o posiblemente nocivos generados en las plantas de compostaje se describen a continuación. Cabe destacar que habitualmente la máxima efectividad se consigue con la actuación de diferentes sistemas dispuestos en serie o bien tratando por separado los aires de diferentes concentraciones y caudales.

1. **Lavadores húmedos (scrubbers).** Estos equipos ponen en contacto el aire por tratar con agua sola o con sustancias químicas disueltas.
2. **Lavadores secos.** El aire que se ha de tratar circula por una cámara que contiene un relleno inorgánico impregnado de productos químicos. Estos reaccionan con las sustancias olorosas y las inactivan.
3. **Biofiltro.**

Consiste en un reactor con dos cámaras:

- La primera actúa como distribuidora del aire por tratar.
- La segunda está rellena de un material poroso sobre el que se instala una variada población de microorganismos. La actividad de estos microorganismos destruye los compuestos malolientes contenidos en el aire por tratar, que se hace circular a través del relleno.

Este material puede ser:

- Biodegradable. Lo más habitual son los materiales forestales (corteza, madera de poda, astilla, etc.) precompostados o inoculados (normalmente con compost maduro). Son baratos, aunque presentan el inconveniente de que se degradan con el tiempo y se deben reponer o sustituir, pero tienen la ventaja de que, una vez agotados, se suelen reutilizar en la propia instalación.

- Inerte (sintético o inorgánico), con inóculo. Es más caro, pero su vida útil es mucho más larga.

4. Biofiltro percolador

El biofiltro percolador actúa de forma similar al biofiltro convencional, pero se diferencia en que el relleno es siempre de un material no biodegradable y a través de él recircula continuamente una solución acuosa.

5. Oxidación térmica

Consiste en la oxidación en hornos a altas temperaturas —entre 350 y 400 °C con la ayuda de catalizadores y entre 650 y 800 °C sin catalizadores— de los compuestos orgánicos en el aire por tratar, que se convierten en CO_2 , H_2O , SO_2 y N_xO .

6. Adsorción

Consiste en hacer circular el aire que se ha de tratar a través de un material sólido adsorbente —carbón activo, gel de sílice, zeolitas, óxidos metálicos— que retiene en su superficie las sustancias olorosas.

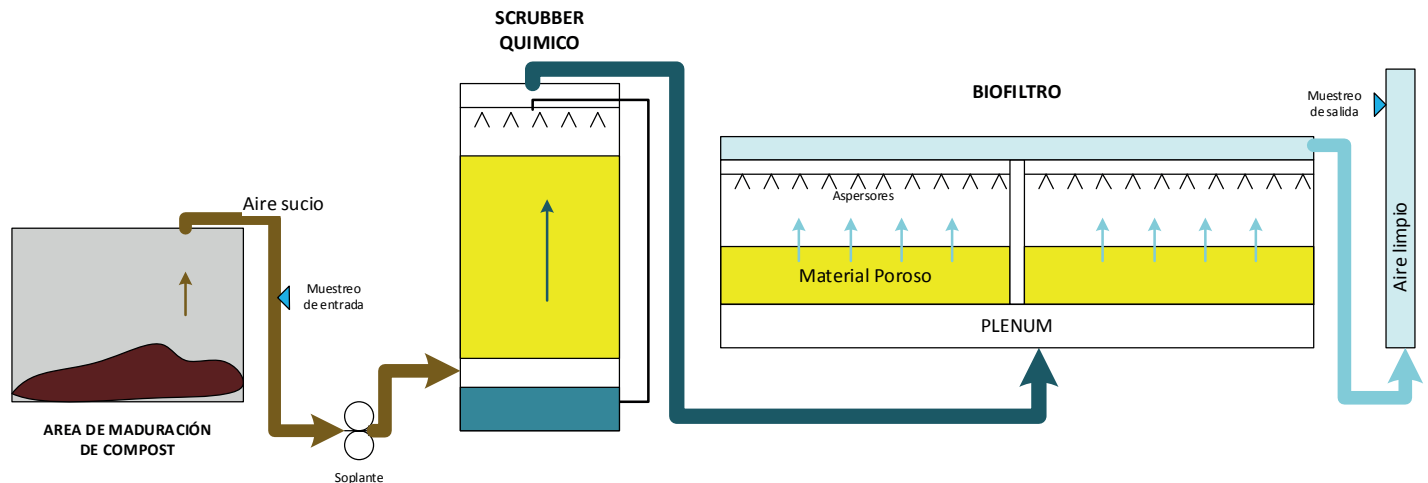
7. Modificadores de olores

Son sustancias que, al ser dispersadas en el aire por tratar utilizando agua o aire como vehículo, anulan los efectos de los compuestos que generan malos olores, que están presentes por diferentes vías.

8. Condensación

La condensación elimina las sustancias malolientes contenidas en el aire por tratar enfriándolas, mediante un intercambiador de calor, por debajo de su temperatura de condensación.

Diagrama de flujo de proceso de tratamiento de aire de naves industriales de compostaje.



SISTEMAS DE ELIMINACIÓN DE POLVO

Con el fin de asegurar buenas condiciones de seguridad y salud laboral, deben extremarse las precauciones para evitar la generación de polvo. A tal efecto, deben considerarse, entre otros aspectos, los siguientes:

1. El control de la humedad en los diferentes productos y procesos.
2. La utilización de equipos carenados.
3. La construcción de protecciones contra el viento.

Sin embargo, algunos equipos casi siempre generan polvo: cribas, mesas densimétricas, etc.

En estos casos, es recomendable la aspiración y la recogida del aire a través de ciclones o filtros de mangas.

Asimismo, conviene que estos sistemas de recogida tengan vaciados en continuo –por ejemplo, mediante transportadores de tornillo sin fin o transportadores de banda–, y que incorporen el polvo separado a los materiales con características similares, habitualmente el compost.

INSTALACIONES CONTRA INCENDIOS

El riesgo de incendio en las instalaciones de compostaje es muy elevado, ya que:

- Se manipulan materiales orgánicos y a menudo secos, con una alta carga de fuego: la fracción vegetal, el material a medio proceso si no se corrige adecuadamente su humedad, el compost generado, algunos rechazos, etc.
- Durante el proceso se alcanzan temperaturas

relativamente altas que se pueden elevar hasta inflamar determinados materiales si el proceso no se controla correctamente.

Por lo tanto, en el diseño de toda instalación de compostaje se deben considerar:

- Implantaciones que minimicen los efectos de los incendios en caso de que se produzcan y que eviten la necesidad de medidas contra incendios excesivamente complejas y costosas.
- Medidas contra incendios.





23-XII-1960

Agència de Residus de Catalunya

Agència Catalana de Cooperació al Desenvolupament

**RECICLAR ES FACIL
NO TODO ES BASURA**

"Trabajando Obedeciendo al Pueblo Gestión María Patricia Arce"

1kg
PESO NETO.



HUMUS DE LOMBRIZ 100% NATURAL
ABONOS ORGÁNICOS PARA LA AGRICULTURA SOSTENIBLE
PROYECTO IMPLEMENTADO POR LA ALCALDÍA MUNICIPAL DE VINTO
TELEFONOS: 4260150 - 73791901

08

ANEXOS

A1 PARÁMETROS DE ESTABILIDAD Y MADUREZ DEL COMPOST

La estabilidad y la madurez son parámetros importantes de la calidad (Wu et ál., 2001) y se utilizan amplia e indistintamente para referirse al compost, pero cabe destacar las diferencias entre ambos términos para interpretar los resultados analíticos, procedentes de metodologías muy diversas, que puedan indicar la bondad del proceso que lo ha producido. Además, normalmente no están regulados como índices de calificación del material. Cabe considerar si la madurez y la estabilidad son términos independientes o si se entrelazan. De hecho, se puede afirmar que la madurez y la estabilidad no son parámetros por sí mismos, sino que se trata de calidades de los materiales que se evalúan a través de varios parámetros que se pueden medir por distintas metodologías y expresar de diferente modo.



Tabla No 15. *Métodos para determinar la Estabilidad y Madurez del Compost*

CUALIDAD	PARÁMETROS	METODOLOGÍAS
ESTABILIDAD	Medición de T	Test de autocalentamiento
	Consumo de O ₂	IRD
		IRE
		SOUR
	Consumo de CO ₂	TMC
		TMG
MOR-MOD, Nhd	GE	
MADUREZ	GRADO DE HUMIFICACIÓN	Ácidos húmicos
		Ácidos fúlvicos
		Relaciones
	FITOTOXICIDAD	N. amoniacal
		Índice de Germinación

Leyenda:

GE: grado de estabilidad

IRD: índice respirométrico dinámico

IRE: índice respirométrico estático

SOUR: tasa de consumo específico de oxígeno

TMC: tasa de mineralización complementaria

TMG: tasa de mineralización global

MOR: materia orgánica resistente

MOD: materia orgánica degradable

Aplicando el método de Autocalentamiento y el ensayo Rottegrade, se tienen los siguientes rangos y sendas categorías de estabilidad para compost:

Tabla No 16. Estabilidad por temperatura , método Rottegrade.

Tª (°C)	Grado de estabilidad (Rottegrade)	Descripción
0 – 10°C	V	Muy estable
10 – 20°C	IV	Moderadamente estable
20 – 30°C	III	Material todavía en descomposición
30 – 40°C	II	Producto inmaduro, joven o muy activo
> 40°C	I	Fresco o crudo, recién mezclado

El contenido en N del material que se composta es el factor principal para conseguir temperaturas termófilas de proceso que garanticen higienización y eliminación de semillas viables. Favorece también la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.

La eliminación de patógenos depende de la temperatura máxima que se alcance y del tiempo que se mantenga.

- Salmonella, eliminada a temperaturas > 55°C
- Escherichia coli , fuerte reducción a temperaturas entre 60 - 65°C. Las condiciones de proceso son desfavorables para ellas.
- Enterococcus , sensibles a temperaturas entre 58 - 68°C. Anaerobias facultativas.
- Helminthes, sus huevos se inactivan a temperaturas entre 55 - 60°C durante varias horas

A2 DIMENSIONAMIENTO DE LAS BALSAS DE LIXIVIADOS Y AGUAS PLUVIALES

Dimensionamiento de balsas y depósitos de lixiviados en instalación cubierta

En general, para calcular la capacidad de una balsa o depósito de lixiviados, se puede considerar aproximadamente un valor del 5 % (0,05 m³/ t) del volumen de residuos en proceso, teniendo en cuenta la humedad de los residuos que se han de tratar. Para realizar un cálculo aproximado del volumen de la balsa de lixiviados se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen balsa (m}^3\text{)} = [\text{Qfo (t/año)} \times 6 \text{ (semanas)} \times 0,05 \text{ (m}^3\text{/t)} \times 1,3] / 52 \text{ (semanas/año)}$$

Qfo = capacidad de tratamiento de fracción orgánica sin computar el material estructurante (t/año).

Dimensionamiento de balsas, depósitos de aguas pluviales o lixiviados instalación descubierta

En general, para calcular la capacidad de una balsa o depósito de aguas pluviales sucias, se puede considerar como criterio general que la capacidad mínima de la balsa debe ser suficiente para poder retener las aguas pluviales correspondientes a una precipitación máxima en 24 horas, para un periodo de retorno de diez años (lluvia máxima 24 h). En la mayoría de casos, los valores oscilan entre 50 y 120 L/m².

Fórmula de cálculo del dimensionamiento de una balsa o depósito de aguas pluviales:

$$\text{Capacidad (m}^3\text{)} = [\text{superficie de la instalación (m}^2\text{)} \times \text{lluvia máxima 24 h (L/m}^2\text{)} \times \text{Fs}] / 1.000 \text{ (L/m}^3\text{)}$$

Fs = factor de seguridad. Este factor se aplica para aumentar la capacidad de la balsa de retención de aguas pluviales sucias y se relaciona con la pluviometría anual media del siguiente modo:

Fs = 1,25, si la pluviometría anual media es inferior a los 600 mm.

Fs = 1,50, si la pluviometría anual media es superior a los 600 mm.

A3 MÉTODOS DE PRUEBA PARA CALIDAD DE COMPOST.

Tabla No 17. Métodos de prueba para calidad de compost en Bolivia.

PARÁMETROS DE PRUEBA	MÉTODO CEN TC 223	MÉTODO CEN TC 400 HORIZONTAL	NB RELACIONADA
Parámetros generales			
pH	EN 13037	EN 15933	NB 747
Conductividad Eléctrica	EN 13038	EN 15937	
Contenido de Agua	EN 13040	EN 15934	NB 745
Contenido de Materia Seca	EN 13040	EN 15934	
Contenido de Materia Orgánica	EN 13039	EN 15935	NB 751
Nutrientes	CEN TC 223	CEN TC 400 Horizontal	
N (total)	EN 13654-1 (sólido)	EN 16168/16169	NB 748:1996
P (total)	EN 13650	EN 16174/EN 16170/EN 171	
K (total)	EN 13650	EN 16174/EN 16170/EN 171	
Mg (total)	EN 13650	EN 16174/EN 16170/EN 171	
Parámetros Biológicos			
Semillas de Maleza	-	EN TS 16201	
Contaminantes Físicos			
Impurezas	-	EN TS 16202	
Contaminantes Químicos			
Pb	EN 13650	EN 16174/EN 16170/EN 171	NB 329031:2008
Cd	EN 13650	EN 16174/EN 16170/EN 171	NB 329031:2008
Cu	EN 13650	EN 16174/EN 16170/EN 171	
Cr	EN 13650	EN 16174/EN 16170/EN 171	NB 329031:2008
Ni	EN 13650	EN 16174/EN 16170/EN 171	
Zn	EN 13650	EN 16174/EN 16170/EN 171	NB 329031:2008
Hg	ISO 16772	EN 16174/EN 16170/EN 171	
Aspectos de Higiene			
Salmonellae	ISO 6579	CEN/TR15215-1,CEN/TR15215-2,CEN/TR15215-3	

A4 INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA PLANTA TIQUIPAYA

ANÁLISIS DE COMPOST

El producto final fue analizado en el Laboratorio de Suelos y Aguas de la facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarías Forestales y Veterinarias de la Universidad Mayor de San Simón del Departamento de Cochabamba, los resultados de este análisis físico-químico **muestran un abono con balance de nutrientes óptimo**, por otro lado, una muestra de compost de la planta de compostaje municipal fue llevada a Barcelona España, a través de la Agencia de Residuos de Catalunya para ser analizada y testada en laboratorios acreditados, obteniéndose resultados de indicadores de C/N, % N, % P, % K, similares a los del compost producido de la mancomunidad la Plana en Catalunya, y que de acuerdo al Real Decreto Español 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes, **el compost producido en la planta de compostaje municipal de Tiquipaya es de clase "A"** y que en Catalunya sería aplicable a agricultura ecológica certificada. Igual clase B y C (atendiendo a criterios de dosificación) pueden aplicarse a agricultura pero no sería certificable como agricultura orgánica.

Tabla No 18. *Caracterización de compost
Planta Tiquipaya*

ANÁLISIS	RESULTADOS
Materia Seca	47,1 % s.m.f
Ph	7,93 Uph
Conductividad Eléctrica	2,58 Ds/m
Materia Orgánica	53,6 % s.m.s
Nitrógeno	2,15 % s.m.s
Fósforo	0,68 % s.m.s

ANÁLISIS	RESULTADOS
Potasio	1,18 % s.m.s
Calcio	3,99 % s.m.s
Magnesio	0,81 % s.m.s
Hierro	1,35 % s.m.s
Cadmio	< 0,50 mg/kg s.m.s
Cobre	38,4 mg/kg s.m.s
Níquel	10,1 mg/kg s.m.s
Plomo	9,1 mg/kg s.m.s
Zinc	136 mg/kg s.m.s
Mercurio	< 0,40 mg/kg s.m.s
Cromo	< 10,0 mg/kg s.m.s
Relación C/N	12,5
Madures	22 °c
Ácidos Húmicos	6,4 % s.m.s
Ácidos Fúlvicos	6,7 % s.m.s
E.Coli	<10 u.f.c./g
Salmonela	0 P/A 25g
Cromo	9,6 mg/kg s.m.s
Mercurio	<0,33 mg/kg s.m.s
Cadmio	<0,04 mg/kg s.m.s

VENTA DE COMPOST

En la planta de compostaje Municipal el compost producido se comercializa a personas particulares que generalmente ya conocen los beneficios del producto, o bien son aportantes de materia orgánica para la compostera.

El compost es vendido en dos calidades y estas son:

Tabla No 19. Precio de venta de Compost (2018)

ÍTEM	Descripción		Precio (Bs.)
1	Fino	qq	20,00
		m ³	200,00
2	Grueso	qq	15,00
		m ³	120,00

El cliente particular previo a la compra debe solicitar un comprobante de liquidación extendida y autorizada por el Técnico Responsable de Planta o por las oficinas de GIRS Municipal, luego con ese comprobante de autorización se dirige hasta las oficinas de Recaudaciones de la Alcaldía y paga el precio por la compra del compost, la alcaldía emite una Boleta de pago, con la cual el cliente podrá recoger el compost.



Otros Usuarios

1. Unidades Municipales

El compost es utilizado para la mezcla de sustratos, producción de plantines, plantación, reforestación, como también al cuidado de los parques y jardines del Municipio, este abono es utilizado como elemento esencial para el prendimiento, crecimiento de las plantas empleadas en áreas verdes.

2. Beneficiarios de Donación de Abono

La donación de abono a todo beneficiarios es previa solicitud escrita, y solamente se la realiza una única vez, este compost es donado para trabajos de reforestación de áreas verdes de alguna urbanización, de una OTB, como también Unidades Educativas que manejen Huertos Escolares, asociaciones de productores de flores, verduras y hortalizas entre otros.

COSTOS DE INVERSIÓN

Tabla No 20. Costos de Inversión Planta Tiquipaya

DESCRIPCIÓN	COSTO (Bs.)
GRAN TOTAL	1.733.113,00
INFRAESTRUCTURA	219.856,00
EQUIPO Y MAQUINARIA	1.513.257,00
DESGLOSE INFRAESTRUCTURA	
Instalación de cerco perimetral	4.320,00
Construcción de vivienda	13.470,00
Construcción de modulo educativo	18.263,00
Construcción de 2 plataformas (1Recepcion y Homogeneización. 2 para almacenamiento de compost fino)	19.900,00
Construcción de área de impermeabilización de aireación forzada + laterales	30.000,00
Instalación de sistema de control automatizado	1.800,00

DESCRIPCIÓN	COSTO (Bs.)
Instalación de energía eléctrica	1.200,00
Instalación eléctrica para sopladores	3.886,00
Instalación de agua y saneamiento	2.130,00
Material para cerco perimetral de la planta de compostaje	13.157,00
Material para construcción modulo	44.075,00
Material prefabricados para platabanda de descomposición	29.999,98
Compra de material eléctrico para área de descomposición	6.773,20
Compra de tuberías para área de descomposición	30.882,00
DESGLOSE EQUIPO Y MAQUINARIA	
Minicargador frontal	382.800,00
Homogeneizador móvil	304.708,00
Trituradora de ramas	382.800,00
Tractor agrícola	385.723,00
Tamizador	7.000,00
Equipos y accesorios	35.233,00
Herramientas	5.843,00
Equipo auxiliares	9.150,00

A5 CHECK LIST CALIDAD DE OPERACIÓN DE PLANTAS DE COMPOSTAJE

Como guía para el control interno o externo de la calidad de la operación, se utilizará esta lista de verificación. Si las preguntas se contestan con "sí" se cumplen los requisitos para una buena práctica operacional. Si alguna pregunta no se contesta afirmativamente, se debería hacer observaciones adicionales.

Tabla No 21. *Check list general de operaciones de Planta de Compostaje*

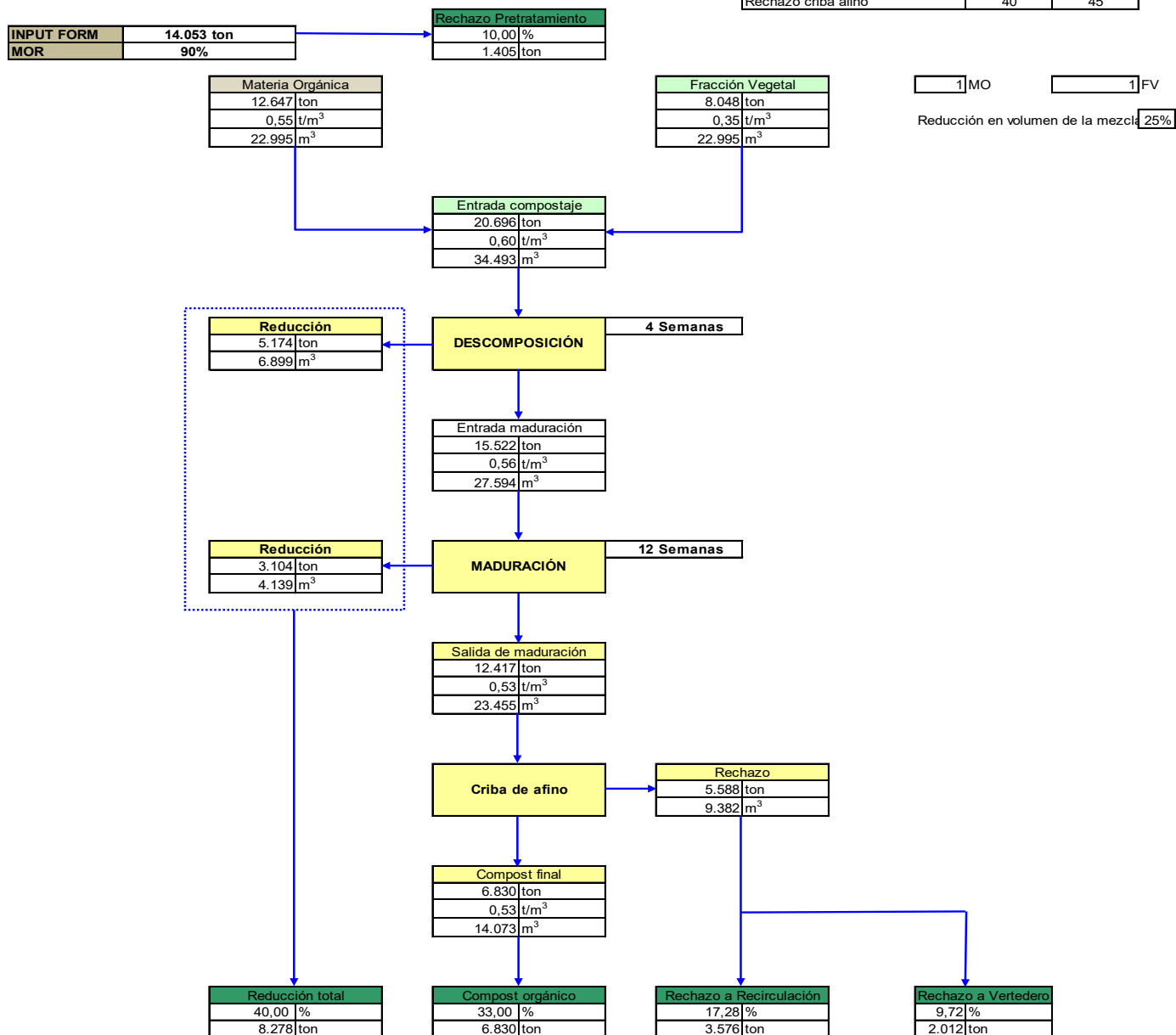
PREGUNTA	Sí	Observación
<i>Información general sobre la planta</i>		
¿Es debidamente cerrada o protegida?		
¿Tiene en la entrada un cartel donde se menciona el nombre de la empresa, horas o apertura, etc. número de teléfono?		
¿Existe un plan de operación de la planta elaborado en los últimos 3 años?		
¿Las áreas de almacenamiento y recepción están claramente delimitadas?		
<i>Tráfico y áreas de compostaje</i>		
¿Las áreas de tráfico están demarcadas y señalizadas?		
¿Todas las áreas de compostaje están pavimentadas?		
¿Las vías internas y áreas son suficientes para la capacidad permitida de compostaje?		
¿Todas las aguas de salida de compostaje, son suficientemente recolectadas, despachadas o removidas?		
¿Todas las aguas de escorrentía de las áreas de tráfico, son suficientemente recolectadas, despachadas o removidas?		
<i>Equipos, instalaciones y personal</i>		
¿Está disponible la maquinaria necesaria para la carga de trabajo?		
¿Los operadores portan EPP's dispositivos de seguridad (por ejemplo, máscara de polvo, filtro de aire para el cargador de la rueda)?		
¿Se limpia periódicamente la planta?		
¿Existe una oficina de documentación y administración?		
¿El personal es entrenado con regularidad y de forma adecuadamente en tareas específicas (por ejemplo, habilidades de compostaje, habilidades de regulación del proceso)?		
¿Se asignan claramente responsabilidades (p. ej. control de calidad, higiene)?		
¿El personal tiene control médico regular?		
¿Se informa al personal sobre seguridad y salud ocupacional?		
<i>Aspectos de aseguramiento de la calidad</i>		
¿Existe un control de calidad de proceso adicional y de una organización independiente de control?		
¿Hay un diagrama de flujo del proceso de compostaje?		
<i>Entrega y aceptación de materiales de entrada</i>		

PREGUNTA	Sí	Observación
¿En caso de Plantas con capacidad mayor a 10 t/día, Hay una báscula controlada?		
¿Es funcional el control de materiales de entrada?		
¿Se tiene claro los criterios de aceptación?		
¿Se documentan diariamente el origen, el tipo y la cantidad de los materiales entregados?		
Almacenamiento y procesamiento de materiales de entrada		
¿Hay un área designada de almacenamiento con piso adecuado?		
¿Se procesa diariamente el material de entrada que no es apto para almacenamiento (por ejemplo, residuos de mataderos y de mercados)?		
¿El material de entrada que es adecuado para el almacenamiento (por ejemplo, madera de troncos) se almacena por separado con fines de mezclado?		
En caso de avería, ¿existe suficiente capacidad de almacenamiento y capacidad de respaldo (por ejemplo, en otras plantas)?		
¿El área de almacenamiento está limpia y cuenta con drenaje para colección y canalización de lixiviados?		
Acondicionamiento del material de entrada y acumulación de la pila de compostaje		
¿Se mezclan correctamente los diferentes materiales de entrada y es la función de procesamiento aceptable?		
Existen instrucciones para la composición del material (p. ej.)		
¿Mezcla de materiales, humedad, estructura-estabilidad)?		
Monitoreo y mantenimiento de registros		
¿Regularmente se mantiene un registro de la operación?		
¿Los lotes están claramente identificados y separados?		
¿El lote está clasificado y documentado (por ejemplo, designación de carga, fecha)?		
¿Se trazan los diferentes flujos en la documentación?		
¿Hay instrucciones con respecto al número de volteos, y estos se cumplen?		
¿Los termómetros utilizados están calibrados? Indique fecha de última calibración		
¿Los protocolos de temperatura / tiempo son accesibles y controlables?		
¿Los protocolos de temperatura / tiempo se ajustan a las normativas nacionales / europeas (como ABP)?		
¿Son los siguientes aspectos registrados en el diario operacional?		
- Temperatura durante la desinfección		
- Duración de la fase de higienización		
- Número de volteos durante la fase de desinfección		
¿Se toman medidas para prevenir el olor?		

PREGUNTA	Sí	Observación
¿Si hay un Biofiltro este funciona bien?		
¿Se registran y describen las emisiones impactantes (por ejemplo, emisiones de polvo, gaseosas o líquidas)?		
¿Está prohibida la contaminación cruzada de los residuos biológicos tratados y no tratados (no hay doble uso de los cargadores de ruedas)?		
Almacenamiento de los productos		
¿El producto de venta ha sido tamizado (tamaño de partícula)?		
¿El rechazo contaminado de cribado (> 5% de contaminación) se reutiliza como material estructural o se desprende del proceso?		
¿El rechazo contaminado de cribado (> 5% de contaminación) se desprende del proceso?		
¿Se realizan otras mediciones mediante el cribado (por ejemplo, una pantalla más fina) en caso de contaminación con impurezas (> 0,2% en el compost terminado)?		
¿El almacenamiento está separado del material de entrada y procesamiento?		
¿Existen áreas designadas para los diversos productos y son esos productos debidamente marcados?		
¿Cuál es la cantidad y el paradero de los materiales impropios y residuales?		
¿Los productos están protegidos de agua (cubierta)?		
¿Los productos están protegidos de las semillas que vuelan y contra el acceso de aves?		
Toma de muestras		
¿Las muestras son tomadas por personal independiente?		
¿La cantidad de muestras demandadas anualmente se distribuye por igual?		
¿El laboratorio es reconocido por IBMETRO?		
¿Los certificados recientes de ensayo están disponibles en la planta y satisfacen la demanda?		
¿Se mantiene un protocolo específico para la toma de muestras?		
Certificación de producto		
¿La certificación es de conformidad con las regulaciones nacionales y del IBNORCA?		
¿La declaración cumple con los resultados de la prueba?		
¿Hay instrucciones específicas para el uso del producto incluidas en la declaración?		
Entrega del producto		
¿Hay registros completos de los productos entregados en un año?		
¿Hay instrucciones para evitar que los productos que no están en línea con la certificación hayan sido vendidos?		
¿Hay instrucciones de cómo manejar productos que no están en línea con la declaración?		

A6 BALANCE DE MASA TIPICO DE COMPOSTAJE

Separación compostaje	Volumen (%)	Masa (%)
Reducción descomposición	20	25
Reducción maduración	15	20
Rechazo criba afino	40	45



A7 BIBLIOGRAFÍA

1. PROTOCOLO DE OPERACIÓN PLANTAS DE COMPOSTAJE, MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA, RED DE COMPOSTAJE DE BOLIVIA, GOBIERNOS MUNICIPALES DE TIQUIPAYA Y VINTO. 2016
2. GUÍA PRÁCTICA PARA EL DISEÑO Y LA EXPLOTACIÓN DE PLANTAS DE COMPOSTAJE, AGENCIA DE RESIDUOS DE CATALUÑA, 2016.
3. ESQUEMA DE NORMA CALIDAD DE COMPOST (OPERACIÓN Y PRODUCTO), MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA, RED DE COMPOSTAJE BOLIVIA, 2018.
4. GUÍA PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS (<http://www.mmaya.gob.bo/redcompostaje/files/biblioteca/04%20GUIAS%20MANUALES/201%20Gu%C3%ADa%20para%20el%20Aprovechamiento%20de%20Residuos%20S%C3%B3lidos%20Org%C3%A1nicos.pdf>)
5. CARTILLA COMPOSTAJE Y LOMBRICULTURA DOMICILIARIA 2DA. EDICIÓN, MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA, RED DE COMPOSTAJE BOLIVIA, 2018.



**MINISTERIO DE
DESARROLLO PRODUCTIVO,
RURAL Y AGUA**



**Dirección: Av. Mcal. Santa Cruz, Edif. Centro de
Comunicaciones La Paz, piso 16, 17 y 20**



**+591 (2) 2184444,
Línea gratuita: 800101585**



www.produccion.gob.bo



**Agència de
Residus de
Catalunya**