



SERVICIOS DE CONSULTORÍA PARA FERTILIZANTES ORGÁNICOS EN URUGUAY

ESTUDIO DE TECNOLOGÍAS DE COMPOSTAJE

P458.00.IX.003.1

2	20/05/2016	Edición final	DH	JCM
1	09/05/2016	Segunda edición incorporando comentarios	DH	JCM
0	19/02/2016	Primera edición	DH	JCM
Rev.	Fecha		Preparado	Revisado

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. ANTECEDENTES.....	8
3. EL PROCESO DE COMPOSTAJE.....	8
3.1. Ideas básicas.....	8
3.2. El proceso de compostaje.....	9
3.3. Las condiciones del proceso.....	12
3.4. La potenciación de la actividad microbiana.....	12
3.5. Operaciones o etapas en una planta de compostaje.....	13
3.6. Residuos compostables.....	15
4. ETAPAS DEL PROCESO DE COMPOSTAJE.....	23
4.1. Recepción y almacenamiento.....	23
4.1.1. Criterios de diseño.....	24
4.1.2. Ventajas y desventajas de los tipos de zonas de descarga y almacenaje de materiales sólidos.....	25
4.1.3. Identificación de posibles problemas en esta etapa.....	28
4.2. Pretratamiento, mezcla y homogeneización.....	28
4.2.1. Estructurante.....	29
4.2.2. Equipos de preparación y mezcla del estructurante.....	31
4.2.3. Ventajas e inconvenientes de los procesos de mezcla y preparación de fracciones.....	32
4.2.4. Criterios de diseño de las zonas destinadas a pretratamiento, preparación de estructurante y mezcla.....	36
4.2.5. Zona de preparación del material estructurante.....	36
4.2.6. Identificación de posibles problemas en esta etapa.....	37
4.3. Etapa de descomposición.....	38
4.3.1. Superficie necesaria para la etapa de descomposición.....	40
4.3.2. Incorporación de líquidos.....	42
4.3.3. Criterios de diseño.....	42
4.3.4. Identificación de posibles problemas en esta etapa.....	43
4.4. Maduración.....	44
4.4.1. Condicionantes de la etapa de maduración.....	46
4.4.2. Superficie necesaria.....	47
4.5. Recuperación del estructurante y afino del compost.....	48
4.5.1. Equipos para la recuperación del estructurante y afino de compost.....	48
4.5.2. Equipos para la preparación de productos de manera granulométrica.....	49
4.5.3. Equipos de envasado.....	49
4.5.4. Criterios de diseño para la selección de alternativas.....	52
4.5.5. Identificación de posibles problemas en esta etapa.....	53
4.6. Biofiltración.....	54
4.6.1. Descripción del sistema.....	54

4.6.2. Prestaciones del sistema de biofiltrado	58
5. TECNOLOGÍAS DE COMPOSTAJE.	60
5.1. Tecnologías de compostaje y capacidades de tratamiento.....	61
5.2. Compostaje en pilas (abierto).	61
5.2.1. Proceso de volteo.	61
5.2.2. Aireación de pilas de compostaje.	64
5.3. Túneles de compostaje (cerrado o in-vessel).....	68
5.4. Tambores de compostaje por cargas (cerrado o in-vessel).	71
5.5. Tambor de compostaje en continuo (cerrado o in-vessel).	73
5.6. Compostaje en nave cerrada con volteo automático (cerrado o in vessel).	75
5.7. Silos estáticos (abierto).	78
5.8. Trincheras dinámicas (cerrado o in-vessel).	81
6. COMPARATIVA DE TECNOLOGÍAS DE COMPOSTAJE.....	82
6.1. Comparativa subjetiva.	82
6.2. Comparativa cuantitativa de tecnologías de compostaje para la realidad uruguaya.	84
6.3. Parámetros de control en plantas de compostaje.....	86
7. PREPARACIÓN DE ABONOS ÓRGANO MINERALES.	87
7.1. Caso 1: Molienda, mezcla y producto en polvo.....	88
7.2. Caso 2: Molienda de las fracciones orgánica y mineral, dosificación, mezcla y pelletización.....	90
7.3. Caso 3: Molienda de las fracciones orgánica y mineral, dosificación, mezcla y granulación automatizadas.....	92
7.4. Inversión y costes operativos.....	93
8. REFERENCIAS DE SISTEMAS DE COMPOSTAJE.	94
8.1. Propuesta de plantas en funcionamiento.....	94
8.2. Direcciones web de interés.....	97
9. DIMENSIONAMIENTO PRELIMINAR UNIDAD COMPOSTAJE GALLINAZA.....	99

ANEXO I – COMPARATIVA CUALITATIVA TECNOLOGÍAS DE COMPOSTAJE PARA UNA CAPACIDAD DE 20.000 102

ANEXO II – COMPARATIVA CUALITATIVA TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN DE ABONOS ORGANOMINERALES PARA UNA CAPACIDAD DE 30.000 T/A..... 106

Índice de Figuras

Figura nº. 1. Operaciones/Etapas en una Planta de Compostaje	14
Figura nº. 2. Desfibradora o chipeadora de fracción vegetal	31
Figura nº. 3. Efecto chimenea	39
Figura nº. 4. Vista general biofiltros cerrados con relleno inorgánico en una planta de tratamiento de RSU	55
Figura nº. 5. Vista general biofiltro con relleno orgánico	55
Figura nº. 6. Volteadoras autopropulsadas en pilas	62
Figura nº. 7. Volteadoras de arrastre	62
Figura nº. 8. Volteadoras de meseta, automotriz y de arrastre	64
Figura nº. 9. Esquema túnel de compostaje	68
Figura nº. 10. Zona de carga y descarga de túneles de compostaje	69
Figura nº. 11. Túneles dinámicos zona de entrada de la volteadora	71
Figura nº. 12. Tambores de compostaje por cargas	72
Figura nº. 13. Tambores de compostaje en continuo	75
Figura nº. 14. Volteadora sobre carro, detalle y esquema	76
Figura nº. 15. Tornillos sobre carro	77
Figura nº. 16. Volteadora sobre carro residuos agropecuarios	78
Figura nº. 17. Silo estático con cubierta de lona	79
Figura nº. 18. Silo estático sin cubierta de lona y detalle de canalizaciones de aireación	80
Figura nº. 19. Trinchera dinámica con volteadora en nave abierta	81
Figura nº. 20. Esquema casos fabricación abonos órgano minerales	88
Figura nº. 21. Molino de martillos	89
Figura nº. 22. Pelletizadoras de baja capacidad	91
Figura nº. 23. Granuladores de disco	91
Figura nº. 24. Esquema de planta de preparación de abonos órgano minerales	92
Figura nº. 25. Esquema de unidad compostaje gallinaza	101
Figura nº. 26. Balance de materia estándar planta compostaje agropecuarios	103

Índice de Fichas

Ficha nº. 1. Ventajas e inconvenientes de los tipos de zonas de descarga y/o almacenaje de materiales sólidos	26
Ficha nº. 2. Ventajas e inconvenientes de los procesos de mezcla y preparación de las fracciones	33
Ficha nº. 3. Parámetros de higienización	40
Ficha nº. 4. Ventajas e inconvenientes de los equipos de recuperación de estructurante y afino de compost	50
Ficha nº. 5. Ventajas e inconvenientes de los diferentes tipos de solera para ventilación forzada	66
Ficha nº. 6. Comparativa cualitativa tecnologías de compostaje	83
Ficha nº. 7. Comparativa cuantitativa tecnologías de compostaje	85
Ficha nº. 8. Parámetros de control operativo planta de compostaje	86
Ficha nº. 9. Tabla resumen inversión y costes operativos planta de producción abonos órgano- minerales	93
Ficha nº. 10. Propuesta de plantas en funcionamiento con sus datos principales	96
Ficha nº. 11. Comparativa cualitativa tecnologías de compostaje	104

1. INTRODUCCIÓN.

El presente estudio se corresponde con el Entregable nº 2 del contrato con Biovalor correspondiente a Servicios de Consultoría sobre Fertilizantes Orgánicos en Uruguay el cual consiste en:

“Descripción y caracterización de tecnologías para la producción de fertilizantes orgánicos, enmiendas orgánicas y fertilizantes orgánico minerales”.

Las tecnologías que se han considerado en la descripción tecnológica para el tratamiento de residuos agro industriales son:

- Compostaje en pilas.
- Pilas estáticas con aireación forzada.
- Compostaje in-vessel o encapsulado.
- Tecnologías para la preparación de fertilizantes orgánico-minerales.

Las tecnologías del compostaje propiamente dichas, ocupan el corazón del proceso de cualquier planta pero el resto de etapas asociadas tienen una gran influencia en el correcto funcionamiento del proceso de compostaje (recepción del residuo a tratar, mezcla de fracciones, afino del compost, almacenaje, etc.), siendo además comunes (o casi enteramente comunes) a todas las tecnologías que se analizan en el presente documento.

Por ese motivo, el presente informe incluye en primer lugar una descripción de las etapas que configuran una planta de compostaje incluyendo los aspectos más importantes de cada una de ellas, analizando posteriormente las distintas tecnologías existentes para el proceso de compostaje propiamente dicho y finalmente las tecnologías para pasar de un compost a un abono órgano mineral.

En la parte final del informe se recoge una comparativa cualitativa de los procesos de compostaje adaptados para la realidad uruguaya y posteriormente una tabla con los datos principales para cada configuración y que los Términos de Referencia enumeran como sigue:

- Descripción de los procesos y sus etapas incluyendo un diagrama de flujo con inputs, outputs y subproductos. Descripción de las instalaciones principales, equipamiento, entradas, suministros auxiliares, subproductos (sólidos, líquidos y gaseosos), productos, etc.
- Parámetros para el monitoreo y control de cada etapa del proceso.
- Ventajas y desventajas de cada una de las tecnologías.
- Tres ejemplos reales de plantas en funcionamiento para cada tipo de tecnología en la que se incluye la siguiente información:
 - . Localización y año de entrada en funcionamiento.
 - . Tipo de residuos mezclado y procesado.
 - . Capacidad de proceso de la planta.

- . Requerimientos de espacio incluyendo el almacenamiento del residuo de entrada, los subproductos y los productos finales.
- . Consumos (energía, agua, etc.).
- . Balances de materia y energía.
- . Recursos humanos necesarios.
- . Costes de inversión y operación.
- . Fotografías.

Dado que, tal y como se ha indicado, existen partes del proceso que son comunes a todas las tecnologías de compostaje, se ha realizado un esquema para una planta de compostaje estándar analizando posteriormente las tecnologías de compostaje propiamente dichas y las de preparación de órgano-minerales facilitando los datos consignados anteriormente.

En primer lugar debe indicarse que una instalación de compostaje va más allá de la propia tecnología de compostaje la cual aplica a dos etapas operativas de proceso (descomposición y maduración) siendo el resto de etapas igual de importantes y a la vez independientes en gran medida de la tecnología elegida para el llevar a cabo el proceso de compostaje en sí mismo.

Adicionalmente se ha tratado en el presente documento de presentar el compostaje fundamentalmente desde un punto de vista operativo, y no tanto académica, atendiendo al hecho de que si bien es una tecnología con mucha experiencia a nivel mundial está en un momento de iniciar su aplicación en el Uruguay y por tanto, se considera más importante resaltar aspectos operativos y no académicos.

Esta situación ha hecho que se enfoque el contenido de información de una manera ligeramente diferente a lo establecido por los TdR agrupando aquella información que aplica de forma genérica a una instalación tipo de compostaje independientemente de la propia tecnología.

A continuación se recoge en qué parte del informe se puede encontrar la información solicitada.

- Descripción de la tecnología de compostaje incluyendo un diagrama de proceso:

Todo el capítulo 3 del presente informe desarrolla unos conceptos básicos asociados al proceso de compostaje que es imprescindible conocer para un mejor entendimiento de este tipo de instalaciones.

En el capítulo 3.5 se incluye la Figura nº 1 que recoge un diagrama de proceso de una instalación de compostaje. Dicho diagrama es válido para todas las tecnologías de compostaje que se recogen en el presente informe cambiando únicamente lo encuadrado en el diagrama como Compostaje.

El documento describe las etapas preliminares al propio compostaje así como las etapas posteriores, las cuales son independientes o lo son en gran medida respecto de la tecnología de compostaje que se elija.

En todo el capítulo 5 se recoge la descripción de las tecnologías de compostaje analizadas.

Por tanto, no se ha realizado un diagrama de flujo para cada una de las tecnologías sino un diagrama de aplicación a todas ellas.

- Descripción de las instalaciones, equipamiento, entradas, salidas, subproductos, productos, rechazos.

La descripción de las instalaciones de una planta de compostaje se recoge en el Capítulo 4, y con un mayor detalle en cuanto a las tecnologías de compostaje en el Capítulo 5.

El resto de parámetros que se solicitan se recoge para una serie de combinación de tecnologías en el capítulo 6.2.

- Parámetros para monitorear y controlar cada proceso y etapa.

Se ha dedicado el capítulo 6.3 a la recopilación de los principales parámetros a controlar en cada una de las etapas de compostaje (no solo el propio compostaje sino toda la instalación).

- Ventajas e inconvenientes de cada tecnología.

Se recogen en el Capítulo 6.1.

- Tres ejemplos reales de plantas en funcionamiento.

Se recogen en el Capítulo 8.1.

Adicionalmente se recogen en el Capítulo 8.2. links a páginas webs de proveedores de tecnología, equipos y/o sistemas asociados a las plantas de compostaje

Adicionalmente se han incluido en el presente estudio otros aspectos que si bien no eran específicamente solicitados en los TdR se han considerado importantes desde el punto de vista del desarrollo de los trabajos y su aplicabilidad en la realidad uruguaya, como son:

- Qué residuos son susceptibles de ser compostables en base al catálogo de residuos de DINAMA.
- Aplicación del compostaje para la realidad uruguaya y más concretamente las pequeñas explotaciones agropecuarias.
- Direcciones de interés en relación con el equipamiento a utilizar en las plantas e instalaciones de compostaje.

2. ANTECEDENTES.

Se han considerado los siguientes documentos de referencia:

1. Guía de los Tratamientos de las Dejaciones Ganaderas. Centro UdL-IRTA. Área de Ingeniería Ambiental (12/2004).
2. Guía de Técnicas de Gestión Ambiental de Residuos Agrarios. Centro UdL-IRTA. Laboratorio de Ingeniería Ambiental (2004).
3. Condiciones para el Compostaje “in situ” de residuos ganaderos sólidos. **Agència de Residus de Catalunya** (2007).
4. Guía de soporte para el diseño y la explotación de Plantas de Compostaje. **Agència de Residus de Catalunya** (2005).
5. Estudio de tecnologías de tratamiento de residuos sólidos urbanos. Plan de Infraestructuras de Cataluña (2008).

3. EL PROCESO DE COMPOSTAJE.

3.1. Ideas básicas.

El compostaje es un proceso tan antiguo como la propia agricultura y hasta no hace mucho tiempo estaba ligado exclusivamente a la conservación de la fertilidad del suelo. Hoy en día, el interés del compostaje recae sobre todo en la necesidad de buscar soluciones a la gestión de residuos orgánicos (de manera muy importante la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y/o agropecuarios), sin olvidar que en la mayoría de los casos el producto que resulta tiene como destino final el suelo.

Dos de las principales características más remarcables del compostaje son:

1. Reduce el volumen de residuos, facilita su almacenamiento, permite un mejor y más flexible manejo (o su eliminación si no es apto para un uso agrícola) y minimiza el riesgo sanitario inherente a todas las operaciones anteriores.
2. Tiene unos fundamentos muy simples, es un proceso muy robusto y versátil, de manera que se puede aplicar a muchos tipos de materiales y mezclas, a escalas de trabajo muy diferentes y empleando equipamiento poco o nada sofisticados.

Es interesante remarcar que el compostaje tiene la dualidad de generar un producto que puede servir como abono o enmienda orgánica por sí solo, o ser materia prima en el elaboración de abonos órgano-minerales, pero a la vez es un sistema que permite la reducción de volumen (y peso) de residuos orgánicos producidos en instalaciones agropecuarias.

Esta dualidad lo hace especialmente interesante para el generador del residuo ya que se evita tener que hacer otro tipo de tratamientos para su eliminación a la vez que permite valorizar un residuo al convertirlo en compost.

En el caso de la fabricación de abonos órgano-minerales el uso de residuos como aportación de N, P, K a la fracción orgánica (pudiendo ser un ingreso económico para el operador al eliminarlos y/o tratarlos) frente al uso de fertilizantes químicos (con un coste) marcará la diferencia para que el proceso resulte interesante económicamente hablando.

3.2. El proceso de compostaje.

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

El producto del proceso o compost:

1. Es habitualmente utilizable como abono, enmienda o sustrato en agricultura o jardinería.
2. Ocasionalmente puede ser inapropiado para usos agrícolas, es lo que en ocasiones recibe el nombre de compost gris o estabilizado.

Las condiciones de desarrollo del proceso y el control que este requiere son los mismos con independencia de cuáles son los usos y los destinos de los productos obtenidos.

La organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en su informe “Manual de Compostaje del Agricultor, experiencia en América Latina” define en su capítulo 3 el proceso de compostaje y las fases del mismo desde un punto de vista académico. Del mencionado capítulo extraemos a continuación la división entre fases del proyecto ya que tiene influencia en cómo se ha enfocado el presente informe.

“Según la temperatura generada durante el proceso, se reconocen tres etapas principales en un compostaje, además de una etapa de maduración de duración variable. Las diferentes fases del compostaje se dividen según la temperatura, en:

1. **Fase Mesófila.** El material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4.0 o 4.5). Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días).
2. **Fase Termófila o de Higienización.** Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores

temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina.

Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. En especial, a partir de los 60 °C aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, y otros factores

Esta fase también recibe el nombre de fase de higienización ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* Igualmente, como se verá en el capítulo 3.4, esta fase es importante pues las temperaturas por encima de los 55°C eliminan los quistes y huevos de helminto, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar a un producto higienizado.

3. Fase de Enfriamiento o Mesófila II. Agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista. Al bajar de 40 °C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración.

4. Fase de Maduración. Es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.”

Tomando como base la definición de fases académica que se recoge en el informe de la FAO, y estando básicamente de acuerdo en la definición que efectúa, en el presente informe se agrupan las etapas de compostaje, **desde un punto de vista operativo**, en dos:

- **Fase de descomposición:** incluye las etapas anteriores mesófila, termófila y las primeras etapas de enfriamiento.
- **Fase de maduración:** incluye la etapa de enfriamiento y la de maduración.

El presente informe realiza la comentada agrupación de etapas, ya que operativamente la primera etapa de descomposición se considera terminada cuando la temperatura de la masa compostable comienza a bajar después de haber alcanzado temperaturas por encima de los 60 ° C durante unos días lo que garantiza la higienización del compost.

Así el Documento de Trabajo de la Unión Europea sobre Biowaste 2º Draft establece las siguientes condiciones para que se establezca la higienización del compost tal y como se muestra en el Capítulo 4.3. del presente documento.

Realizar una comprobación de mantenimiento de la temperatura durante un período determinado resulta muy accesible y hace que esta manera de distinguir las fases resulte muy fácil desde el punto de vista operativo y permite seguir las recomendaciones que se presentan en el presente informe de una manera sencilla siempre pensando en que será un sistema de tratamiento de residuos con una importante repercusión en el sector agropecuario en Uruguay en los próximos años.

Siguiendo la mencionada filosofía operativa, los conceptos básicos que afectan al proceso de compostaje propiamente dicho (operaciones basadas en la actividad biológica) son:

1. Entender por **etapa de descomposición** todo aquel periodo en el que los materiales a compostar contienen mucha materia orgánica biodegradable y no se puede asegurar de manera *espontánea* un suministro de oxígeno en su interior suficiente para cubrir la demanda de los microorganismos. Por tanto, a efectos prácticos, la etapa de descomposición será aquella en la que resulta imprescindible la ventilación forzada para que el proceso no sea anóxico. De esta manera se optimizará la actividad microbiana y se minimizará la emisión de sustancias con malos olores de gran impacto sobre el entorno. Adicionalmente, y no menos importante, se consigue en esta etapa la **higienización** del material al alcanzar las temperaturas más altas de todo el proceso de compostaje.
2. Entender por **etapa de maduración** el periodo posterior en el que ya no queda tanta materia orgánica biodegradable (por tanto, no hay tanto requerimiento de oxígeno) y en la que de manera espontánea ya se mantienen las condiciones de aerobiosis. Por tanto, a efectos prácticos la etapa de maduración será aquella en la que la **ventilación forzada** no acostumbra a ser necesaria, si bien en ocasiones se implemente este tipo de ventilación.
3. La duración de la **etapa de descomposición** será variable y dependerá de:
 - La riqueza en materia orgánica fácilmente biodegradable de los materiales a compostar.
 - El control que se ejerce sobre el proceso desde la perspectiva de la optimización de la actividad microbiana: control de temperatura dentro de unos márgenes adecuados y temperatura uniforme en toda la masa. Así por ejemplo, los reactores de compostaje cerrados (in-vessel) con recirculación de aire caliente y capacidad de ventilación suficiente para controlar la temperatura requerirán menor tiempo de descomposición que un reactor abierto que utilice aire o que no tenga capacidad de ventilación para controlar la temperatura.
 - La cantidad de mezcla, cuando se deban compostar varios materiales, y la homogeneización del material a compostar, cuando este sea grueso. Estas actuaciones facilitan el ataque microbiano y reducen en consecuencia la duración de la etapa.

En cualquier caso, se esperan períodos que irían desde las 3 a las 4 semanas de duración.
4. La duración de la **etapa de maduración** (sobre todo si no se incorpora aireación forzada) será en principio fija y en torno a las 6-8 semanas.
5. La **etapa de descomposición** no necesariamente se debe desarrollar en su totalidad en el mismo lugar y/o reactor. Puede por tanto, estar constituida por sucesivas fases, todas ellas con ventilación forzada.

6. Lo mismo se puede decir de la etapa de maduración, si bien y como ya se ha indicado, no es imprescindible que exista ventilación forzada.

3.3. Las condiciones del proceso.

Cuando se plantea el proceso de compostaje se debe procurar mantener como mínimo las siguientes condiciones:

1. Favorecer al máximo las condiciones adecuadas al desarrollo de los microorganismos.
2. Siempre que sea posible y cuando el compost tenga un destino agrícola, conservar los nutrientes que serán requeridos por los vegetales y que están presentes en los residuos a compostar.
3. Evitar problemas ambientales y molestias.

3.4. La potenciación de la actividad microbiana.

Los aspectos que se deben controlar para favorecer la actividad de los microorganismos son los siguientes:

1. El equilibrio entre el contenido de agua y aire del material a compostar. Dado que el compostaje es un proceso aerobio, el material o las mezclas a compostar han de ser suficientemente porosos como para que el O₂ acceda a toda la masa a compostar. La bibliografía recoge que las mezclas óptimas para la actividad microbiana son aquellas que presentan una porosidad en el entorno del 30 %. Si el material es demasiado húmedo, los poros estarán ocupados por agua lo que hará que el material esté mal oxigenado. Pero si el material es demasiado seco, entonces la actividad microbiana también se resiente por falta de agua. En definitiva, debe haber un equilibrio entre el agua y el aire, si bien es difícil establecer valores de referencia ya que siempre depende del material a compostar. Como valores orientativos se podría indicar que la humedad del material o de la mezcla que se composte debe encontrarse entre un 50 y un 70 %, El contenido de O₂ en las zonas internas del material conviene que no baje nunca del 10 % si no se quiere que quede afectada la actividad microbiana.
2. El pH inicial debe encontrarse entre 6 y 8 para posibilitar el desarrollo de un rango amplio de microorganismos.
3. Un buen equilibrio de nutrientes particularmente de Carbono y Nitrógeno. La bibliografía menciona que los valores de la relación C/N recomendables al inicio del proceso deben encontrarse entre 25 y 35 en los materiales más descomponibles de la mezcla que se composte. Con algunos materiales estas relaciones pueden ser difíciles de conseguir. Debe remarcar que relaciones superiores también permiten el proceso pero su velocidad es muy inferior, y que las relaciones más bajas deben evitarse, si es

posible, por que favorecen las pérdidas de N por volatilización en forma de NH_3 y obligan a complejos sistemas de recogida/tratamiento de gases.

4. Asegurar una población microbiana inicial. En la mayoría de materiales ya existe esta población microbiana y por tanto la utilización de inóculos comerciales no tiene sentido prácticamente nunca. Así, cuando el proceso no se desarrolla correctamente, casi siempre suele ser por causa de uno de los factores anteriores que impiden el desarrollo de los microorganismos más que de la falta de los mismos.
5. La temperatura, que es una consecuencia del proceso. La descomposición aerobia de la materia orgánica contenida en la fracción orgánica despende una gran cantidad de energía, lo que provoca que el propio material se caliente. A medida que la temperatura varía, cambian los tipos de microorganismos que actúan. De esta manera, durante el proceso de compostaje se da una sucesión de microorganismos, con funciones diferentes y efectos sobre los componentes de los materiales que se compostan. El intervalo de temperatura más adecuado para la participación de un mayor número de microorganismos se encuentra entre 45 y 55°C, si bien es necesario que toda la masa logre durante un cierto tiempo temperaturas más elevadas para que se higienice.

3.5. Operaciones o etapas en una planta de compostaje.

Se distinguen las siguientes operaciones o etapas (ver **Figura nº 1**) en una planta de compostaje.

1. Transporte desde el lugar de la generación del material o residuo a la Planta de Compostaje, solo por lo que respecta a su incidencia sobre las vías de comunicación inmediatas de acceso a la instalación.
2. Recepción y almacenaje en la instalación.
3. Proceso de pretratamiento (mezcla y homogeneización).
4. Etapa de Descomposición (suele coincidir con el proceso de higienización).
5. Etapa de Maduración.
6. Post-tratamiento o afino del compost.
7. Almacenamiento.
8. Operaciones complementarias.

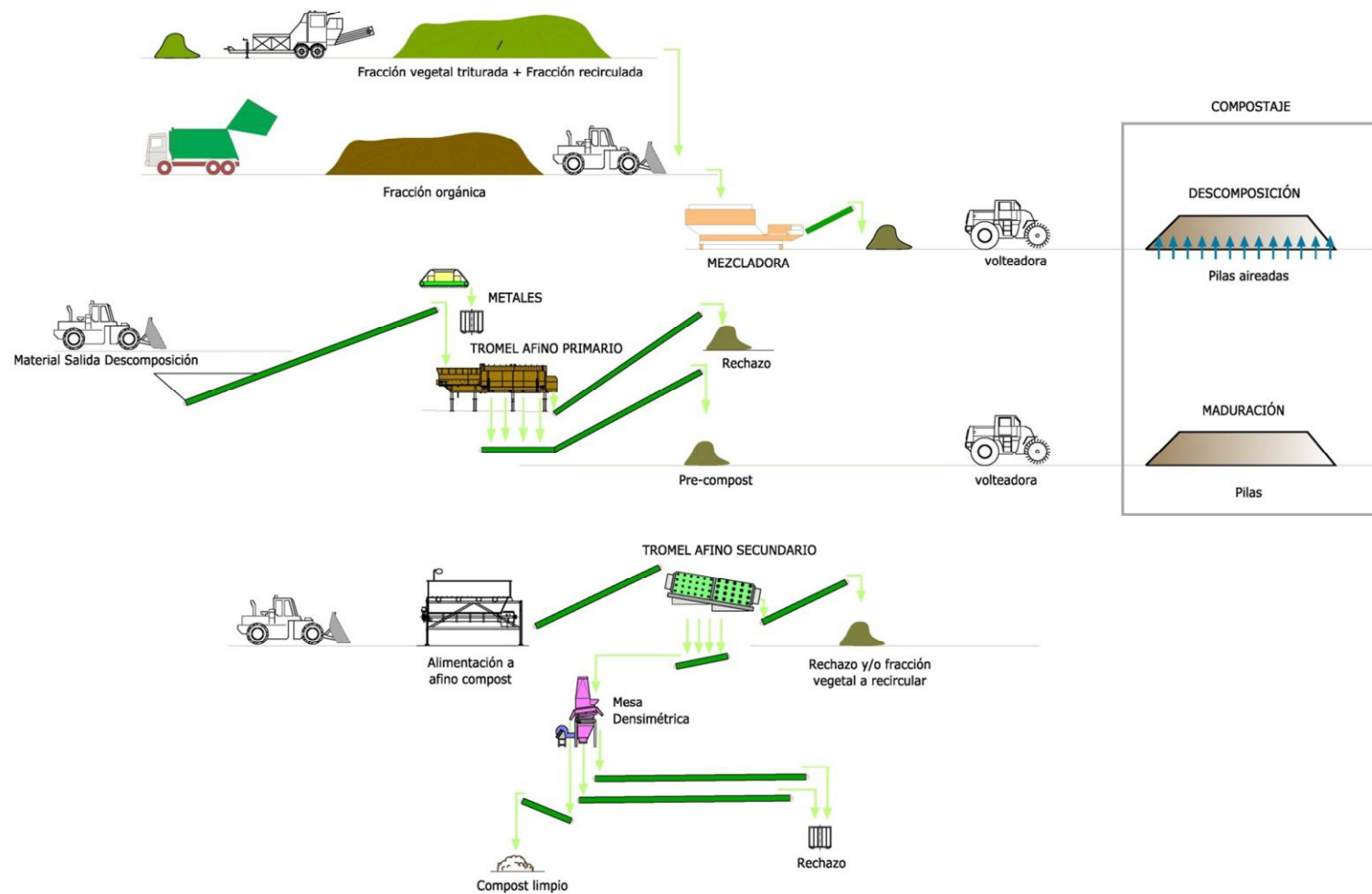


Figura nº. 1. Operaciones/Etapas en una Planta de Compostaje

En el presente documento y para cada una de ellas:

1. Se identifican y describen las diversas soluciones que les son aplicables.
2. Se argumentan las ventajas e inconvenientes, así como, la adecuación de las alternativas identificadas a los escenarios que puedan generarse por combinación de los condicionantes planteados.
3. Se definen los criterios para determinar la duración y la superficie mínima ocupada en cada una de las operaciones.
4. Se aportan pautas para facilitar su control e indicadores para evaluar su funcionamiento.

3.6. Residuos compostables.

La Pauta Técnica para el uso de residuos como mejoradores de suelo (versión borrador de abril de 2015) cuyo objetivo es complementar lo establecido por el MVOTMA en su Decreto nº182/013, artículos 26 y 30, indica textualmente:

“El uso de un residuo sólido como mejorador de suelo queda restringido a los residuos sólidos de la Categoría II, siempre que hayan sido acondicionados y se cumplan las condiciones y tasas de aplicación, de forma que no produzcan daños al ambiente, la salud humana, animal o vegetal”.

Asimismo la citada Pauta Borrador recoge en su anexo I una lista, no taxativa, de residuos sólidos que pueden ser utilizados como mejoradores de suelo.

Desde el punto de vista del acondicionamiento de los residuos para su uso como mejoradores de suelo y entendiendo que el compostaje es el acondicionamiento más habitual, el consultor ha realizado la siguiente tabla tomando como base los residuos de la Categoría II citados en el Catálogo de Residuos Sólidos Industriales y Asimilados y ha eliminado aquellos residuos que no son recomendables para su tratamiento mediante compostaje.

Se han desestimado como residuos aptos aquellos que reúnan alguna de las siguientes características:

- Residuos peligrosos.
- Residuos con un contenido importante en metales pesados y que se espere superen los límites manejados en el Decreto 182/013 y/o en la mencionada Pauta Borrador.
- Residuos con alta conductividad o que pueda entenderse que la tienen.
- Residuos inertes que NO compostan (no se degradan por no contener materia orgánica) y por tanto son impropios o contaminantes en el compost: tierras, vidrio, plásticos, filtros de coche, etc.
- Todos los residuos que acaban en 999 ya que no están caracterizados.
- Metales: por ser inertes y poder incorporar metales pesados al sistema.

- Antibióticos o residuos con principios activos.
- Disolventes orgánicos o aceites sintéticos.
- Emulsiones (por contener aceites o disolventes).
- Residuos de depuración de gases de incineración por contener metales pesados.
- Arenas de lechos fluidizados de combustión, podrían ser válidos pero siendo conservadores en principio son inertes y puede que hasta con presencia de metales pesados.
- Residuos químicos.
- Aquellos residuos que por su descripción pareciera que se pueden incluir en alguno de los conceptos anteriores o que suscite alguna duda en relación a su composición o compostabilidad.

En la tabla que se muestra a continuación se recogen los residuos susceptibles de ser compostados y/o puedan aportar N/P/K o minerales en una planta de preparación de abonos organo-minerales.

Debe entenderse que la tabla se ha elaborado sin conocer en detalle la composición de los residuos que se citan y para clasificarlos el consultor se ha basado en la descripción y en su experiencia, por tanto, la lista es solamente orientativa.

CÓDIGO RESIDUO	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL RESIDUO	POSIBLE USO PREVIO:	FUENTE DE:
0141 Cría de ganado vacuno (establecimientos de engorde a corral, tambos)			
14104	Excretas (Estiércol y orina)	Compostaje	MO y NPK
14105	Residuos de alimentos, camas	Compostaje	MO y NPK
14106	Residuos generados durante el parto (placentas, etc.)	Compostaje	MO y NPK
14108	Residuos sólidos provenientes de las unidades de retención de sólidos, sedimentadores, etc.	Compostaje	MO y NPK
14109	Lodos resultantes del tratamiento de aguas residuales	Compostaje	MO y NPK
14110	Animales muertos	Fabricación de harina (preferible) o compostaje	MO y NPK
14112	Leche de descarte	Dsecación	MO y NPK
14113	Silo bolsas	Compostaje	MO y NPK
0145 Cría de ganado porcino			
14501	Residuos de alimentos, camas	Compostaje	MO y NPK
14502	Lodos resultantes del tratamiento de aguas residuales	Compostaje	MO y NPK
14506	Excretas (Estiércol y orina)	Compostaje	MO y NPK
14507	Residuos generados durante el parto (placentas, etc.)	Compostaje	MO y NPK
0146 Cría de aves de corral y producción de huevos			
14601	Camas (aserrín, viruta, etc.)	Compostaje	MO y NPK
14602	Aves muertas	Compostaje	MO y NPK
14603	Cáscaras de huevo y huevos no nacidos	Compostaje	MO y NPK
14604	Excretas (Estiércol y orina)	Compostaje	MO y NPK
14605	Residuos de plumas	Secado o compostaje	N
14606	Lodos resultantes del tratamiento de aguas residuales	Compostaje	MO y NPK
0700 Extracción de minerales metálicos			
70001	Estériles que no contienen sustancias peligrosas	Compostaje y/o fabricación organo minelares	NPK
70005	Residuos procedentes de la transformación fisicoquímica de minerales metálicos que NO contienen sustancias peligrosas	Compostaje y/o fabricación organo minelares	NPK
70006	Residuos de polvo, arena, arcillas	Compostaje y/o fabricación organo minelares	NPK
70007	Lodos rojos de la producción de alúmina	Compostaje y/o fabricación organo minelares	NPK
0800 Explotación de otras minas y canteras:			
80004	Residuos de la transformación de potasa y sal gema distintos a los mencionados en el código 080002	Depende del estado	K
1011 Frigoríficos, mataderos (excepto avícolas), preparación y conservación de carnes y procesamiento de subproductos.			
101101	Sólidos del tratamiento de efluentes de aguas rojas	Compostaje	MO y NPK
101102	Restos de faena: huesos y recortes de carne	Compostaje	MO y NPK
101103	Sólido del tratamiento de efluentes de aguas verdes: estiércol, contenido ruminal e intestinal.	Compostaje	MO y NPK
101104	Lodos biológicos del tratamiento de efluentes	Compostaje	MO y NPK
101105	Barros grasos de tratamiento de efluentes provenientes del desengrasador	Compostaje	MO muy degradable
101107	Tierras filtrantes - decolorantes, filtros de blanqueo provenientes de la elaboración de grasas comestibles.	Compostaje	MO muy degradable
101108	Restos de tripa provenientes de triperías	Compostaje	MO y NPK
101110	Grasa, carne, coágulos	Compostaje	MO y NPK
101111	Sangre	Fabricación de harina	N
101114	Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración	Compostaje	MO y NPK
101115	Vísceras, pulmón, tráquea, hígado, etc.	Compostaje	MO y NPK
1012 Elaboración de fiambres y chacinados (Chacinerías)			
101201	Restos de proceso: huesos, grasa y recortes de carne y de chacinados	Compostaje	MO y NPK
101203	Barros grasos de tratamiento de efluentes provenientes del desengrasador	Compostaje	MO muy degradable
101204	Residuos de fundas y tripas dañadas	Compostaje	MO y NPK
101205	Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración	Compostaje	MO y NPK
1013 Matanza, preparación y conservación de pollos y gallinas (Avícolas)			
101301	Restos de faena: patas, cabezas, cutículas, menudencias y vísceras provenientes de la faena	Compostaje	MO y NPK
101302	Sangre proveniente de la faena	Fabricación de harina	MO y NPK
101303	Plumas proveniente de la faena	Compostaje	MO y NPK
101304	Barros grasos de tratamiento de efluentes provenientes del desengrasador	Compostaje	MO muy degradable
101305	Lodos biológicos del sistema de tratamiento de efluentes	Compostaje	MO y NPK
101306	Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración	Compostaje	MO y NPK
101307	Residuos generados en el tratamiento de emisiones al aire	Identificar si contiene sulfato amónico	N

CÓDIGO RESIDUO	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL RESIDUO	POSIBLE USO PREVIO:	FUENTE DE:
1020 Procesamiento y conservación de pescado			
102001	Restos de pescado: vísceras, escamas, cola, espinas, cabeza, etc.	Compostaje	MO y NPK
102003	Barros grasos de tratamiento de efluentes provenientes del desengrasador	Compostaje	MO muy degradable
102004	Lodos biológicos del sistema de tratamiento de efluentes	Compostaje	MO y NPK
102005	Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración	Compostaje	MO y NPK
102006	Residuos generados en el tratamiento de emisiones al aire	Identificar si contiene sulfato amónico	N
1030 Procesamiento y conservación de frutas y vegetales			
103001	Restos de vegetales y frutas: frutas y vegetales de descarte, tallos, hojas, cáscaras, carozos, semillas, pulpas y otras partes no comestibles	Compostaje	MO y NPK
103003	Sólidos retenidos en el tratamiento de efluentes líquidos	Compostaje	MO y NPK
103004	Lodos de lavado, limpieza, pelado, centrifugado y separación	Compostaje	MO y NPK
103005	Residuos de conservantes	Identificar su nivel de metales pesados/conductividad	MO y NPK
103006	Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración	Compostaje	MO y NPK
103007	Residuos generados en el tratamiento de emisiones al aire	Identificar si contiene sulfato amónico	N
1040 Elaboración de aceites y grasas de origen vegetal y animal			
104001	Residuos sólidos provenientes de la producción de aceite crudo: cáscara de girasol, afrechillo desengrasado, raquis, alperujo, etc.	Compostaje	MO y NPK
104002	Tierras de blanqueo: tierras de diatomeas embebidas en aceite	Compostaje	MO muy degradable
104004	Lodos del tratamiento de efluentes	Compostaje	MO y NPK
104005	Residuos de catalizador usado que NO contienen sustancias peligrosas	Identificar su nivel de metales pesados/conductividad	NPK
104007	Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración	Compostaje	MO y NPK
104008	Residuos generados en el tratamiento de emisiones al aire	Identificar si contiene sulfato amónico	N
1050 Elaboración de productos lácteos y procesamiento de leche para consumo			
105002	Barros grasos de tratamiento de efluentes provenientes del desengrasador	Compostaje	MO muy degradable
105003	Lodos biológicos del tratamiento de efluentes	Compostaje	MO y NPK
105004	Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración	Compostaje	MO y NPK
105005	Suero de leche	Fabricación de harina	MO muy degradable
105006	Residuos generados en el tratamiento de emisiones al aire	Identificar si contiene sulfato amónico	N
1061 Elaboración de productos de molinería			
106102	Cáscara de arroz	Compostaje	MO y NPK
106103	Cenizas de caldera	Ninguno	K y P
106104	Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración	Compostaje	MO y NPK
106105	Residuos generados en el tratamiento de emisiones al aire	Identificar si contiene sulfato amónico	N
1072 Elaboración de azúcar			
107201	Residuos sólidos provenientes de la limpieza y lavado de la remolacha o caña	Compostaje	MO y NPK
107202	Carbonato cálcico fuera de especificación	Preparación organominerales	Ca
107203	Lodos de tratamiento de efluentes	Compostaje	MO y NPK
107204	Residuos provenientes del proceso de clarificación (cachaza)	Compostaje	MO y NPK
107205	Residuos con alto contenido mineral proveniente de los procesos de sulfitación y enclavamiento	Preparación organominerales	Sulfatos
107206	Bagazo	Compostaje	MO y NPK
107207	Polvo de azúcar, producto fuera de especificación	Compostaje	MO muy degradable
107208	Residuos generados en el tratamiento de emisiones al aire	Identificar si contiene sulfato amónico	N
1075 Elaboración de comidas y platos preparados			
107501	Material inadecuados para el consumo o la elaboración	Compostaje	MO y NPK
107502	Lodos del tratamiento de efluentes	Compostaje	MO y NPK
1079 Elaboración de otros productos alimenticios			
107901	Resto de materiales no usados en la elaboración de los productos alimenticios, productos fuera de especificación	Compostaje	MO y NPK
107902	Lodos del tratamiento de efluentes	Compostaje	MO y NPK
107503	Residuos de conservantes	Identificar su nivel de metales pesados/conductividad	MO y NPK
1101 Destilación, rectificación y mezcla de bebidas alcohólicas			
110101	Residuos de la destilación de alcoholes	Compostaje	MO muy degradable
110102	Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración	Compostaje	MO
110103	Residuos generados en el tratamiento de emisiones al aire	Identificar si contiene sulfato amónico	N

CÓDIGO RESIDUO	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL RESIDUO	POSIBLE USO PREVIO:	FUENTE DE:
1102 Elaboración de vinos			
110201	Escobajos: tallos del racimo y partes verdes	Compostaje	MO y NPK
110202	Borras: sólidos de decantación	Compostaje	MO y NPK
110203	Orujo: piel, semillas, etc.	Compostaje	MO y NPK
110204	Tartratos: sales del ácido tartárico que cristalizan en las paredes de los fermentadores.	Preparación organominerales	Comprobar minerales
110205	Coadyudantes de filtración y clarificación: tierras de diatomea, bentonitas, etc.	Compostaje: comprobar presencia de metales pesados/conductividad	MO
110206	Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración	Compostaje	MO y NPK
1103 Elaboración de bebidas malteadas y de malta			
110301	Polvillo y casullo: provenientes de pre-limpieza de cebada	Compostaje	MO y NPK
110302	Residuos de maltería: descartes cebada y malta, flotantes del proceso de maceración, sólidos de limpieza (cáscaras, otras semillas), raicillas, etc.	Compostaje	MO y NPK
110303	Lodos del tratamiento efluentes	Compostaje	MO y NPK
110304	Farelo y trubs: residuos de decantación (cáscara agotada, proteínas coaguladas)	Compostaje	MO y NPK
110305	Levaduras provenientes de la fermentación	Compostaje	MO y NPK
110306	Tierras de diatomeas provenientes de la clarificación	Compostaje: comprobar presencia de metales pesados/conductividad	MO
110307	Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración	Compostaje	MO y NPK
1104 Elaboración de bebidas no alcohólicas			
110401	Lodos de tratamiento de efluentes	Compostaje	MO y NPK
110402	Productos fuera de especificación no apto para el consumo	Compostaje	MO y NPK
110403	Tierras diatomea (filtración)	Compostaje: comprobar presencia de metales pesados/conductividad	MO
1200 Elaboración de productos de tabaco			
120001	Residuos de tabaco	Compostaje	MO y NPK
120002	Restos de papel y acetato de celulosa	Compostaje	MO
120003	Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración	Compostaje	MO y NPK
120004	Residuos generados en el tratamiento de emisiones al aire	Identificar si contiene sulfato amónico	N
1311 Lavadero de lana y elaboración de tops de lana			
131101	Grasa recuperada para fabricación de lanolina (subproducto)	Compostaje	MO muy degradable
131102	Barros de decanter	Compostaje	MO muy degradable
131103	Barros de sedimentador	Compostaje	MO muy degradable
131104	Lodos biológicos del tratamiento de efluentes: provenientes de la limpieza de lagunas	Compostaje	MO y NPK
131105	Polvo de lana: pequeñas fibras retenidas en filtros de aire, etapa de cardado	Compostaje	MO muy degradable
131106	Plastilleras de lana sucia, flejes de metal	Compostaje: comprobar presencia de metales pesados/conductividad	MO
131107	Materia orgánica de productos naturales sin ser grasa (cera)	Compostaje	MO muy degradable
1313 Acabado de Productos Textiles			
131301	Polvos, fibras, recortes: restos de telas, hilos y fibras que resultan de las distintas operaciones textiles	Compostaje: comprobar presencia de metales pesados/conductividad	MO
131303	Lodos del tratamiento de efluentes, conteniendo fibras, productos y aditivos del proceso productivo y/o lodos orgánicos que NO contienen sustancias peligrosas	Compostaje: comprobar presencia de metales pesados/conductividad	MO
131305	Residuos de colorantes y pigmentos que NO contienen sustancias peligrosas	Compostaje: comprobar presencia de metales pesados/conductividad	MO
131307	Residuos generados en el tratamiento de emisiones al aire	Identificar si contiene sulfato amónico	N
1511 Curtido y teñido de pieles: curtiembres Ovinas y Bovinas			
151101	Residuos previo pelambre: lana, afrechillo, recorte de pieles, garra, camaza	Compostaje	MO y N
151102	Grasa de trinchera previo pelambre	Compostaje	MO muy degradable
151104	Residuos de pelambre: pelos con sulfuro	Compostaje	MO y N
151106	Lodos del tratamiento de efluentes que no contienen cromo (ensayo lixiviado menor a 5 mg Cr/L)	Compostaje	MO y NPK
151110	Residuos de cueros curtidos con taninos, o previo al curtido que no contienen cromo: recortes, viruta, polvo de lijado, recortes de piel depilada	Compostaje	MO y N
151114	Residuos generados en el tratamiento de emisiones al aire que NO contienen sustancias peligrosas	Identificar si contiene sulfato amónico	N

CÓDIGO RESIDUO	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL RESIDUO	POSIBLE USO PREVIO:	FUENTE DE:
1610 Aserrado, chipeado, curado de madera, impregnación, enchapado, paneles y compensado de madera			
161001	Residuos post-cosecha: ramas, hojas, puntas	Compostaje	Estructurante para el proceso
161002	Residuos de corteza y corcho	Compostaje	Estructurante para el proceso
161004	Aserrín, virutas, recortes, etc. que NO contienen sustancias peligrosas	Compostaje	MO
161006	Residuos generados en el tratamiento de emisiones al aire	Identificar si contiene sulfato amónico	N
161008	Lodos provenientes del proceso de impregnación que NO contienen sustancias peligrosas	Compostaje: comprobar presencia de metales pesados/conductividad	MO
1710 Fabricación de pasta de celulosa, papel y cartón			
170101	Residuos sólidos de depuración procedentes de la clasificación del papel: plástico, alambre, arena y demás residuos que acompañan al papel	Compostaje siempre que sean paleables	MO
170102	Lodos de efluentes procedentes del reciclado de papel: resultantes del proceso de la depuración de papel	Compostaje	MO
170103	Residuos de corteza y madera utilizada para fabricar la pasta de celulosa	Compostaje	Estructurante para el proceso
170104	Dregs: sedimentos insolubles que se generan en la disolución e cenizas fundidas de la caldera de recuperación para formar licor verde	Compostaje: Comprobar presencia de metales pesados/conductividad	MO
170105	Lodos de cal: lodos de carbonato de calcio que se generan en la conversión de licor verde en licor blanco	Compostaje: Comprobar presencia de metales pesados/conductividad	MO
170106	Grits: impurezas insolubles del proceso de caustificación	Compostaje: Comprobar presencia de metales pesados/conductividad	MO
170107	Lodos primarios del tratamiento de efluentes	Compostaje	MO
170108	Lodos biológicos del tratamiento de efluentes	Compostaje	MO
170110	Residuos generados en el tratamiento de emisiones al aire que NO contienen sustancias peligrosas	Compostaje	MO
1810 Actividades de Impresión y servicios conexos			
181009	Residuos generados en el tratamiento de emisiones al aire	Identificar si contiene sulfato amónico	N
1920 Fabricación de los productos de la refinación del petróleo			
192004	Lodos biológicos del tratamiento de efluentes	Compostaje	MO
192005	Catalizadores de cracking	Organominerales: comprobar presencia de metales pesados	Minerales
192006	Residuos que contienen azufre procedentes de la desulfuración de hidrocarburos	Organominerales: comprobar presencia de metales pesados	Minerales
192009	Soporte de catalizador (alúmina)	Organominerales: comprobar presencia de metales pesados	Minerales
192010	Catalizador residual de reforming	Organominerales: comprobar presencia de metales pesados	Minerales
192011	Lodos procedentes del tratamiento del agua de alimentación a la calderas	Organominerales: comprobar presencia de metales pesados	Minerales
192016	Residuos generados en el tratamiento de emisiones al aire que NO contienen sustancias peligrosas	Identificar si contiene sulfato amónico	N
2011 Fabricación de sustancias químicas básicas y biocombustibles			
201102	Sales o barros inorgánicos distintas a las definidas en el 201101	Compostaje: comprobar presencia de metales pesados/conductividad	MO
201104	Óxidos metálicos distintos a los definidos en el 201103	Organominerales: comprobar presencia de metales pesados	Minerales
201108	Otros residuos de filtración o tortas de filtración distintos a los definidos 201106 y 20107	Compostaje: comprobar presencia de metales pesados/conductividad	MO
201110	Lodos del tratamiento in situ de efluentes que NO contienen sustancias peligrosas	Compostaje: comprobar presencia de metales pesados/conductividad	MO
201111	Residuo de recuperación de butílico, proveniente de la producción de vitamina K	Compostaje: comprobar presencia de metales pesados/conductividad	MO
201112	Sedimento de azufre fundido	Organominerales: comprobar presencia de metales pesados	Minerales
201115	Residuos de reacción que NO contienen sustancias peligrosas	Organominerales: comprobar presencia de metales pesados	Minerales
201120	Residuos provenientes del tratamiento de gases que NO contienen sustancias peligrosas	Identificar si contiene sulfato amónico	N
210017	Lodos del tratamiento de efluentes que NO contienen sustancias peligrosas	Compostaje: comprobar presencia de metales pesados/conductividad	MO
210019	Otras tortas de filtración y absorbentes usados	Compostaje: comprobar presencia de metales pesados/conductividad	MO
210021	Residuos generados en el tratamiento de emisiones al aire que NO contienen sustancias peligrosas	Identificar si contiene sulfato amónico	N

CÓDIGO RESIDUO	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL RESIDUO	POSIBLE USO PREVIO:	FUENTE DE:
2210 Fabricación de productos de caucho			
221002	Lodos del tratamiento de efluentes que NO contienen sustancias peligrosas	Compostaje: comprobar presencia de metales pesados/conductividad	MO
221003	Residuos generados en el tratamiento de emisiones al aire	Identificar si contiene sulfato amónico	N
2220 Fabricación de productos de plástico			
222007	Lodos del tratamiento de efluentes que NO contienen sustancias peligrosas	Compostaje: comprobar presencia de metales pesados/conductividad	MO
222008	Residuos del sistema de tratamiento de emisiones al aire	Identificar si contiene sulfato amónico	N
2310 Fabricación de vidrio y de productos de vidrio			
231003	Residuos de la preparación de mezclas antes del proceso de cocción que NO contienen sustancias peligrosas	Compostaje: comprobar presencia de metales pesados/conductividad	MO
260013	Residuos generados en el tratamiento de emisiones al aire	Identificar si contiene sulfato amónico	N
2710 Fabricación de motores eléctricos, generadores, transformadores eléctricos, distribución de la electricidad y aparatos de control			
271003	Restos de maderas NO contaminadas con sustancias peligrosas	Compostaje: comprobar presencia de metales pesados/conductividad	MO
271013	Residuos generados en el tratamiento de emisiones al aire	Identificar si contiene sulfato amónico	N
2720 Fabricación de baterías y acumuladores			
272007	Lodos del tratamiento de aguas que NO contienen sustancias peligrosas	Compostaje: comprobar presencia de metales pesados/conductividad	MO
272008	Residuos generados en el tratamiento de emisiones al aire	Identificar si contiene sulfato amónico	N
2900 Fabricación de vehículos automotores, remolques y semiremolques			
290005	Lodos del tratamiento de aguas que NO contienen sustancias peligrosas	Compostaje: comprobar presencia de metales pesados/conductividad	MO
290006	Residuos generados en el tratamiento de emisiones al aire	Identificar si contiene sulfato amónico	N
3011 Construcción de buques y estructuras flotantes			
301109	Residuos sólidos en sistemas de alcantarillado	Compostaje	MO
301110	Residuos generados en el tratamiento de emisiones al aire	Identificar si contiene sulfato amónico	N
3092 Fabricación de bicicletas y sillas de ruedas para inválidos			
309208	Residuos generados en el tratamiento de emisiones al aire	Identificar si contiene sulfato amónico	N
3510 Producción, transmisión y distribución de energía eléctrica			
351001	Cenizas del hogar, escorias y polvo de caldera	Organominerales: comprobar presencia de metales pesados	NPK u otros
351002	Cenizas volantes y polvo de caldera de hidrocarburos: polvo retenido en sistema de tratamiento	Organominerales: comprobar presencia de metales pesados	NPK u otros
351004	Lodos del tratamiento de efluentes	Compostaje: comprobar presencia de metales pesados	MO
351005	Lodos acuosos procedentes de la limpieza de calderas	Compostaje: comprobar presencia de metales pesados	MO
351006	Residuos del tratamiento del agua de refrigeración NO conteniendo sustancias peligrosas	Compostaje: comprobar presencia de metales pesados	MO
351018	Residuos cálcicos en forma de lodos de reacción procedentes de la desulfuración de gases de combustión	Organominerales: comprobar presencia de metales pesados	Minerales
351019	Residuos cálcicos en forma de sólidos de reacción procedentes de la desulfuración de gases de combustión	Organominerales: comprobar presencia de metales pesados	Minerales
351021	Residuos procedentes de la depuración de gases que NO contienen sustancias peligrosas	Organominerales: comprobar presencia de metales pesados	Minerales
351023	Residuos generados en el tratamiento de emisiones al aire	Identificar si contiene sulfato amónico	N
3600 Captación, tratamiento y suministro de agua			
360001	Lodos de potabilización: arena, tierra, material orgánico e inorgánico arrastrado por el agua, sulfato de aluminio	Compostaje	MO
360002	Residuos sólidos de la filtración primaria y cribado	Compostaje	MO
360003	Carbón activo usado	Compostaje	MO
360005	Residuos generados en el tratamiento de emisiones al aire	Identificar si contiene sulfato amónico	N
3700 Alcantarillado y sistema de tratamiento de aguas servidas			
370001	Lodos del tratamiento de aguas residuales urbanas, cloacales o domésticas	Compostaje	MO y NPK
370002	Residuos de cribado	Compostaje	MO
370003	Residuos de desarenado	Compostaje	MO
370005	Residuos generados en la limpieza de sistemas de alcantarillado y pozos de bombeo	Compostaje	MO y NPK

CÓDIGO RESIDUO	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL RESIDUO	POSIBLE USO PREVIO:	FUENTE DE:
3811 Recolección y transporte de residuos no peligrosos			
381101	Residuos generados durante la atención a derrames	Compostaje	MO
381102	Residuos generados en la limpieza de los vehículos de transporte	Compostaje	MO
3821 Tratamiento y eliminación de residuos no peligrosos			
382101	Cenizas de fondo de horno y escorias procedentes de la incineración que NO contienen sustancias peligrosas	Compostaje	NPK u otros
382103	Cenizas volantes que NO contienen sustancias peligrosas procedentes de la incineración	Compostaje	NPK u otros
382105	Lodos de tratamientos fisicoquímicos que NO contienen sustancias peligrosas	Compostaje	MO
382107	Lodos de digestión del tratamiento anaeróbico de residuos que NO contienen sustancias peligrosas	Compostaje	MO
382109	Lixiviados de vertederos que NO contienen sustancias peligrosas	Compostaje	MO
382113	Torta de filtración del tratamiento de gases del incinerador de residuos que NO contienen sustancias peligrosas	Compostaje: comprobar presencia de metales pesados	NPK u otros
382123	Residuos generados en el tratamiento de emisiones al aire que NO contienen sustancias peligrosas	Compostaje: comprobar presencia de metales pesados	NPK u otros
3822 Tratamiento y eliminación de residuos peligrosos			
382215	Residuos generados en el tratamiento de emisiones al aire que NO contienen sustancias peligrosas	Compostaje: comprobar presencia de metales pesados	NPK u otros
9905 Residuos de envases o embalajes			
990501	Envases celulósicos (papel y cartón) limpios	Compostaje	MO
990531	Cajones, cajas, barriles, pallets de madera limpios	Compostaje	Estructurante para el proceso
990532	Cajones, cajas, barriles, pallets de madera descontaminados	Compostaje	Estructurante para el proceso
990533	Cajones, cajas, barriles, pallets de madera contaminados con sustancias NO peligrosas	Compostaje	Estructurante para el proceso
9907 Residuos de materiales de filtración, trapos de limpieza			
990701	Absorbentes, materiales de filtración, trapos de limpieza y ropas protectoras NO contaminadas por sustancias peligrosas	Compostaje	Estructurante para el proceso
9914 Residuos Sólidos de Actividades de Administración, Cantina, etc.			
991401	Restos de alimentos	Compostaje	MO y NPK
991402	Aceites y grasas comestibles	Compostaje	MO muy degradable
991403	Papel y cartón	Compostaje	MO
991408	Material Compuesto	Compostaje	MO y estructurante
991409	Restos de poda	Compostaje	Estructurante para el proceso
991410	Madera	Compostaje	Estructurante para el proceso

4. ETAPAS DEL PROCESO DE COMPOSTAJE.

En el presente capítulo se recogen las etapas que conforman el proceso de compostaje desde la recepción de la materia orgánica a tratar a la expedición del compost elaborado.

4.1. Recepción y almacenamiento.

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

1. La recepción del vehículo de transporte de los materiales que serán compostados.
2. Pesaje del camión con el material a tratar.
3. La descarga de estos materiales.
4. La identificación y los controles de los materiales (muestreo, análisis rápido, etc.) antes, durante o después de la descarga.
5. El almacenamiento temporal antes de proceder a su tratamiento.
6. La limpieza y desinfección del vehículo de transporte, en caso de resultar necesaria.
7. La salida del vehículo de transporte.

En una planta de compostaje pueden recibirse varios tipos de residuos o fracciones orgánicas, además de la fracción estructurante o residuos de poda el cual tiene una problemática de almacenamiento mucho menor.

A efectos de la redacción del presente documento se han considerado dos tipos de residuos a la entrada:

- Residuo orgánico de procedencia diversa y de origen agropecuario.
- Fracción estructurante asimilable a restos de poda triturados o sin triturar.

A la hora de diseñar la zona de descarga y almacenamiento de los materiales a compostar, así como el equipamiento encargado de vaciar esta área y alimentar al proceso, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos generales.

1. Adaptación a las características (humedad, pastosidad, granulometría, olor, etc.) de los materiales que se pretenden tratar y/o versatilidad cuando existe la posibilidad de recibir materiales muy diversos.
2. Capacidad adecuada de los volúmenes a manipular y tratar, y que los equipos encargados tengan el dimensionamiento adecuado.
3. Facilidad de operación y mantenimiento con especial énfasis en la limpieza de los espacios dedicados a almacenamiento.
4. Protección contra la lluvia, sea porque esta pueda alterar desfavorablemente las características de los materiales (dificultad para manipularlos o en el desarrollo del

posterior proceso de compostaje) o por que no interese incrementar la generación de lixiviados.

5. Posibilidad de confinar los residuos susceptibles de generar malos olores y de adaptar sistemas de extracción y tratamiento de aires y olores.

Conviene recordar en relación con lo expuesto la pluviometría existente en Uruguay lo que hace prácticamente imprescindible y muy recomendable la cubrición de al menos el área de recepción de residuos orgánicos.

4.1.1. Criterios de diseño.

Se recogen a continuación una serie de criterios básicos de diseño.

Aguas:

- El agua de lluvia que caiga directamente sobre las zonas de recepción y almacenamiento, en caso de que no estén protegidas de la lluvia, será considerada lixiviado y se deberá conducir a una balsa o depósito.
- La única excepción es la Fracción Vegetal que se utiliza habitualmente como material estructurante (madera de poda, restos forestales, corteza de árboles, pallets, cajas de verduras, residuos de madera no tratada con CCA, etc.). Las aguas de lluvia que provengan de la zona destinada a recepción, almacenamiento y preparación de estos materiales tendrán la consideración de aguas pluviales sucias y podrían ser utilizadas como tales, en procesos como riego de la materia orgánica, limpieza de viales y espacios de almacenamiento, riego del biofiltro, etc.
- En el caso de que los residuos a recibir sean muy húmedos y tengan tendencia a liberar lixiviados, es muy recomendable intentar reducir su volumen acondicionando la zona de descarga con algún material absorbente (fracción vegetal nueva y triturada, aserrín, etc.).

El piso:

- Las zonas destinadas a la recepción y almacenamiento deberían disponer en la medida de lo posible de pisos impermeables lo cual se logra pavimentando el suelo o (hormigón armado preferentemente, aunque pueden implementarse otras soluciones), con las pendientes adecuadas (1 % en sección longitudinal y 2 % en sección transversal), para conducir los lixiviados hacia la correspondiente balsa de almacenamiento.
- La única excepción vuelve a ser el área destinada a la recepción y preparación de la Fracción Vegetal, en la que el piso de hormigón puede ser sustituida por tierra compactada.

En cualquier caso, la opción de pavimentar o no determinadas áreas de una instalación de compostaje vendrán dadas por la sensibilidad de la ubicación. Su conexión con cauces fluviales o freáticos, la posibilidad de contaminación de los mismo, etc.

Confinamiento de la descarga:

- Los residuos de baja degradabilidad no suelen requerir su confinamiento en la operación de descarga ya que no generan malos olores.
- Para los residuos de alta degradabilidad se podrá realizar su recepción al aire libre siempre que:
 - . no existan razones de salud laboral que lo desaconsejen o
 - . sean materiales que no generan malos olores,
 - . o que generen malos olores pero no se prevea riesgo evidente de impacto negativo en el vecindario,
 - . o se trate de instalaciones de compostaje de estiércoles con otros materiales que no generen malos olores, y se sitúen dentro o adyacentes a una explotación ganadera.

Los criterios de diseño expuestos pueden verse modificados por la realidad local en cuanto a los costes de construcción y/o operativos.

Así, en el caso de Uruguay deberá tenerse en cuenta la pluviometría en el área donde se vaya a instalar la planta así como el coste que significa **pavimentar** las zonas de recepción para evitar la percolación al suelo de lixiviados.

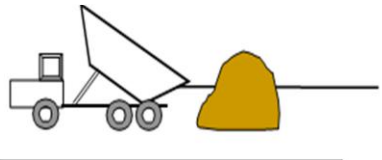
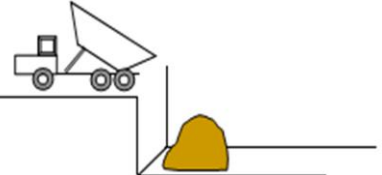
Se intuye que con los condicionantes expuestos la mejor solución pasará por cubrir el área de recepción y optimizar la llegada y tratamiento de los residuos de tal manera que haya de **pavimentarse** la menor superficie posible.

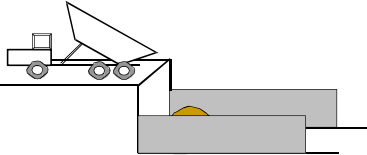
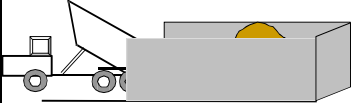
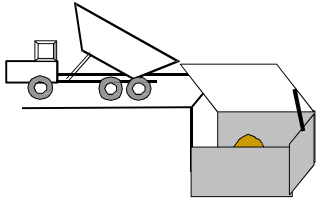
Por otra parte, para residuos con problemas específicos de generación de olores (pe. harinas de carne) pueden cubrirse los residuos con material estructural chipeado de tal manera que forme una capa filtrante para los olores, siendo esta una solución económica y adaptable a cada situación que se produzca.

4.1.2. Ventajas y desventajas de los tipos de zonas de descarga y almacenaje de materiales sólidos.

En la tabla que se muestra a continuación se recogen las principales ventajas e inconvenientes de las distintas zonas de descarga en función de su diseño.

Ficha nº. 1. Ventajas e inconvenientes de los tipos de zonas de descarga y/o almacenaje de materiales sólidos

Identificación	Indicaciones/Descripción	Ventajas	Inconvenientes/Limitaciones
<u>Playa</u>	<ul style="list-style-type: none"> La zona donde se deposita el material y su medio de transporte están al mismo nivel. La maquinaria móvil tiene acceso a la zona donde se deposita el material. 	<ul style="list-style-type: none"> Sirve para todo tipo de materiales sólidos con independencia de sus características granulométricas. Económico (únicamente requiere el piso y la recogida de lixiviados). 	<ul style="list-style-type: none"> No permite el confinamiento del residuo (para confinar es necesario una nave cerrada). Solución no apta para residuos líquidos. Solución poco adecuada para residuos sólidos pastosos. La descarga es sucia dado que las ruedas del camión están en contacto con la superficie de recepción del residuo. El traslado del material a la zona de pretratamiento y mezcla requiere de una pala cargadora. Este traslado es sucio dado que las ruedas de la pala están en contacto con la superficie donde se almacena el residuo.
<u>Muelle</u>	<ul style="list-style-type: none"> La zona donde se deposita el material se encuentra a un nivel inferior al de su medio de transporte. La maquinaria móvil tiene acceso a la zona donde se deposita el material. 	<ul style="list-style-type: none"> Sirve para todo tipo de materiales sólidos con independencia de sus características granulométricas. La descarga es limpia debido a que las ruedas del camión no están en contacto con la superficie de recepción del residuo. Apta para materiales pastosos, si existe pendiente hacia la pared del muelle (aconsejable pendiente del 2 %) Es útil y práctico cuando la topografía del terreno presenta superficies naturales a diferentes cotas. 	<ul style="list-style-type: none"> No permite el confinamiento del residuo (para confinar se necesita una nave cerrada). El traslado a la zona de pretratamiento y mezcla requiere del uso de una pala cargadora. Este traslado es sucio dado que las ruedas de la pala están en contacto con la superficie donde se almacena el residuo. Para aumentar la capacidad de recepción se requiere el uso frecuente de la pala para dejar libre la zona más próxima al muelle.

Identificación	Indicaciones/Descripción	Ventajas	Inconvenientes/Limitaciones
<u>Silo abierto con muelle</u>	<ul style="list-style-type: none"> Es un muelle con paredes laterales. 	<ul style="list-style-type: none"> Las mismas que el muelle. Más adecuado para materiales pastosos gracias a las paredes laterales. 	<ul style="list-style-type: none"> Los mismos que el muelle.
<u>Silo abierto sin muelle</u>		<ul style="list-style-type: none"> Sirve para todo tipo de materiales sólidos con independencia de sus características granulométricas. Más adecuado para materiales pastosos gracias a las paredes laterales. 	<ul style="list-style-type: none"> Los mismos que la playa.
<u>Directamente a un silo cerrado</u>	<ul style="list-style-type: none"> La maquinaria móvil no tiene acceso a la zona donde se deposita el material. 	<ul style="list-style-type: none"> La zona de recepción requiere equipos de vaciado (pulpo, tornillos, bombas, etc. requiere equipos de vaciado (pulpos, tornillos, bombas, etc.). Apto para materiales pastosos. Permite confinar los residuos, hecho muy favorable si estos producen malos olores (hacen falta entonces sistemas de captación y renovación del aire). La descarga es limpia, dado que las ruedas del camión no están en contacto con la zona de recepción del residuo. 	<ul style="list-style-type: none"> Coste habitualmente superior a otros sistemas de almacenamiento. El silo requiere una boca de salida por la base (para limpiezas y averías, etc.). Riesgo importante de acumulación de gases tóxicos en la zona inferior del silo, si la zona queda confinada con ventilación deficiente. Por seguridad requiere obligatoriamente sistemas de renovación de aire del espacio debajo de su base, este espacio queda confinado. Dificultad para conocer directamente su nivel de llenado si la tapa no cubre toda la boca del silo. Si son muy profundos los materiales pastosos ejercen presión sobre los equipos de descarga dificultando el control de la dosificación.
<u>Directamente a un foso</u>	<ul style="list-style-type: none"> La maquinaria móvil no tiene acceso a la zona donde se deposita el material. 	<ul style="list-style-type: none"> Las mismas que la descarga directa a un silo cerrado, excepto que los residuos no quedan confinados. 	<ul style="list-style-type: none"> Los mismos que la descarga directamente a un silo. Los residuos no quedan confinados.

4.1.3. Identificación de posibles problemas en esta etapa.

PAUTA INADECUADA DE DISEÑO Y/O OPERACIÓN	POSIBLES PROBLEMAS EN LA PROPIA ETAPA	POSIBLES PROBLEMAS EN OPERACIONES O ETAPAS POSTERIORES
Capacidad de almacenamiento excesiva	<ul style="list-style-type: none"> - Generación de malos olores. - Riesgo de aparición de gases tóxicos. - Aparición de insectos y otros vectores. 	<ul style="list-style-type: none"> - Emisión importante de malos olores y gases tóxicos durante la preparación de la premezcla y mezcla. - Riesgo para el personal. - Arranque difícil del compostaje por acidificación del residuo.
Capacidad de almacenamiento escasa	<ul style="list-style-type: none"> - Ocupación de espacios destinados a otras etapas. - Acumulación de material en lugares inadecuados o no habilitados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Posible alimentación desigual para liberar espacio en el almacenamiento
Tolvas sin captación/extracción de aire (en el caso de existir)	<ul style="list-style-type: none"> - Riesgo de intoxicaciones del personal. - Emisiones de malos olores o gases tóxicos al abrirlas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ninguno.
Inexistencia de protocolos de trabajos para la descarga	<ul style="list-style-type: none"> - Riesgo de intoxicaciones del personal. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ninguno.
Almacenamiento temporal demasiado prolongado	<ul style="list-style-type: none"> - Generación de malos olores. - Riesgo de aparición de gases tóxicos. - Aparición de insectos y otros vectores. 	<ul style="list-style-type: none"> - Emisión importante de malos olores y gases tóxicos durante la preparación de la premezcla y de la mezcla. - Riesgo para el personal. - Arranque difícil del compostaje por acidificación del residuo.

4.2. Pretratamiento, mezcla y homogeneización.

La etapa de pretratamiento: mezcla y/o homogeneización consiste en la operación de mezclar diferentes materiales para obtener una mezcla con:

1. Una porosidad que permita la circulación del aire por su interior.
2. Una estructura que mantenga esta porosidad en el apilamiento donde debe desarrollarse 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 pueda iniciarse y completarse.
5. Una relación C/N que minimice las pérdidas de N para que este elemento no sea un factor limitante del proceso.

6. Unos contenidos mínimos de otros elementos esenciales para los microorganismos para que no resulten un factor limitante.

Cuando alguno de los materiales a tratar sea grueso, la operación debe servir también para desmenuzarlo y homogeneizarlo y aumentar así la superficie de ataque microbiano.

El pretratamiento puede considerarse constituido por 3 fases:

1. **La premezcla:** mezcla grosera y habitualmente incompleta de los constituyentes de la mezcla que se compostará, en las proporciones necesarias. A menudo se realiza en el mismo momento de la descarga, y en otros casos es inexistente al quedar incorporada a la posterior fase de mezcla y/o homogeneización propiamente dicha.
2. **La mezcla y/o homogeneización propiamente dicha:** la mezcla más íntima de los constituyentes de la mezcla conseguida con equipos específicos. Esta fase puede quedar incorporada a la posterior etapa de descomposición según cuáles sean los equipos previstos para ella (volteadora, tambores o cribas rotativas, etc.) y cumpliendo determinadas condiciones en esta etapa (habitualmente más duración).
3. **El almacenamiento de la mezcla preparada,** si es que no se dirige directamente o con rapidez (el mismo día de la preparación) en la zona destinada a la posterior etapa de descomposición.

Así como, de 3 operaciones complementarias:

1. La preparación del material estructurante: su trituración al tamaño adecuado.
2. La humectación, si es que el material o mezcla a compostar no tiene la humedad adecuada, al menos para iniciar el compostaje. Los líquidos aportados procederán esencialmente de la propia instalación (lixiviados, aguas grises, etc.), y sólo en determinados casos, del exterior.
3. La eliminación previa a la descomposición de materiales impropios: es una operación casi específica del compostaje de materia orgánica de los residuos urbanos y consiste en la eliminación (manual o mecánica) del máximo número posible de impropios para no ensuciar o contaminar el material a compostar.

Cabe señalar que:

- En esta etapa de pre-tratamiento se suelen retirar los impropios de mayor tamaño.
- La eliminación de impropios puede continuar en posteriores etapas del proceso de compostaje.

La eliminación de elementos impropios es solo aplicable para residuos agropecuarios en el caso de que existan elementos externos en la fracción orgánica a tratar (cajas/bidones, etc.).

4.2.1. Estructurante.

Los materiales complementarios que otorgan o mejoran la porosidad y/o la estructura al residuo a compostar se denominan estructurantes. Suelen ser materiales vegetales con

una proporción bastante elevada de componentes leñosos (restos de poda triturados, astilla, corteza, etc.) y suelen identificarse con el nombre genérico de Fracción Vegetal.

Para cumplir su función, los materiales estructurantes deben ser utilizados en proporciones elevadas, que suelen ir desde el 0,3/1 a 5/1 en volumen respecto el residuo principal a compostar, por lo que influyen mucho en el dimensionamiento de los espacios necesarios para la instalación del compostaje. Por lo tanto, a la hora de plantearse el diseño de ésta se debe tener muy claro:

1. Si el residuo o residuos que se quieren compostar requieren estructurante (que es la situación más habitual) o no.
2. En caso afirmativo, en qué proporción mínima deberá utilizar este estructurante.
3. Si se podrá disponer de él.

Los residuos que a priori deberán ser complementados con estructurante son:

1. Los materiales pastosos tipo lodo de depuradora o que no se pueden apilar porque tienen un comportamiento mecánico de fluido.
2. Aquellos que, aunque se dejan apilar, la altura de su apilamiento disminuye notablemente por efecto de su propio peso.

A fin de que el compostaje sea factible y se desarrolle correctamente, es necesario que el conjunto de parámetros que afectan al proceso se mantengan dentro de los rangos de valores considerados ideales y que se muestran en la tabla siguiente.

Dado que pocos residuos/materiales susceptibles de ser compostados presentan unas características compatibles con los valores de esta tabla, a menudo hay que recurrir a la preparación de mezclas de materiales complementarios entre sí para conseguir mezclas que se aproximen lo máximo posible, por arriba o por abajo, a los valores ideales.

Variable	Rango	Unidades
Humedad	50-60	%
Porosidad	25-35	%
C/N	25-35	relación
N/P	< 10	relación
pH	6,0-8,5	----
Materia Orgánica	> 40	% sms

Respecto de la porosidad, que suele ser un parámetro que se olvida frecuentemente, debe tenerse en cuenta:

1. La porosidad de un material o de una mezcla es un parámetro clave del compostaje. Si esta porosidad no es suficiente, el proceso no se desarrollará correctamente y se arrastrarán problemas en todo su transcurso. De hecho, a menudo se da la paradoja de que proporciones elevadas de estructurante (mezcla inicial más voluminosa), que aseguran una buena porosidad, permiten en la práctica tratar un volumen superior de

residuos que cuando la proporción de estructurante es baja (mezcla inicial menos voluminosa) y la porosidad es menor.

2. La previsión a priori y sobre el papel de las características de una determinada mezcla residuos/estructurante es muy incierta, dado que materiales englobados dentro de una misma tipología pueden tener comportamientos muy diferentes que sólo se conocerán con el día a día de funcionamiento de la explotación.

4.2.2. Equipos de preparación y mezcla del estructurante.

Los estructurantes habitualmente empleados en el proceso de compostaje se preparan a partir de materiales vegetales: madera de poda, restos forestales, corteza, pallets, cajas, residuos de madera no tratada con CCA, etc. A la hora de elegir el equipo para preparar este tipo de estructurantes es conveniente valorar los siguientes aspectos:

- Capacidad de trabajo adecuada a los volúmenes a preparar y al tamaño de la fracción vegetal a manipular.
- Granulometría adecuada del producto que resulta.
- Versatilidad en el tamaño del producto a obtener y facilidad para modificarla.
- Capacidad para eliminar metales en caso de que la materia prima contenga (por ejemplo, clavos en pallets, etc.).
- Comportamiento (resistencia) ante los posibles impropios que pueda contener la materia prima.
- Comportamiento ante el ramaje largo y delgado, y materiales fibrosos.



Font: http://www.mercovil.com/v2_base/2331_chipeadora-bandit-1590xp.html

Figura nº. 2. Desfibradora o chipeadora de fracción vegetal

Si se considera oportuna la necesidad de una fase de pre-mezcla, lo más importante es decidirse por el tipo de alimentación de los diferentes constituyentes en las proporciones predefinidas. Así:

- La alimentación en discontinuo que se realiza habitualmente con pala mecánica es más versátil a la hora de manipular materiales al no estar tan condicionada por las características y las prestaciones de los equipos de alimentación. Ahora bien, las proporciones de mezcla y el número de constituyentes están limitados por la relación entre la capacidad del equipo de mezcla y la de la pala cargadora.
- La alimentación en continuo suele ser más rápida, es posible un rango prácticamente ilimitado de proporciones entre componentes y se consiguen mezclas más constantes en composición. En cambio se requiere necesariamente el complemento de equipos de alimentación de los constituyentes, que no siempre son aptos para determinados tipos de materiales.

4.2.3. Ventajas e inconvenientes de los procesos de mezcla y preparación de fracciones.

En la tabla que se muestra a continuación se recogen las principales ventajas e inconvenientes de los distintos procesos de mezcla y preparación de fracciones.

Ficha nº. 2. Ventajas e inconvenientes de los procesos de mezcla y preparación de las fracciones

Identificación	Indicaciones	Ventajas	Inconvenientes/Limitaciones
<u>Pala mecánica</u>		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rápida. ▪ Móvil. ▪ Adecuada para alimentaciones en discontinuo ▪ Puede manipular todo tipo de residuos sólidos, con independencia de su granulometría o textura. ▪ No es un equipo específico para esta operación e interviene en muchas etapas de un proceso de compostaje. Es un equipo imprescindible. ▪ Puede actuar como un sistema de alimentación de otros equipos de preparación de premezclas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es esencialmente un equipo pensado para premezclas y no consigue mezclas homogéneas (requiere que, al menos, la complemente una volteadora, o un equipo similar en la posterior etapa de descomposición). ▪ Al ser una operación que suele realizarse en abierto no es posible controlar los gases y malos olores que se generan durante la propia operación. Por tanto, cuando se manipulan residuos que generan mal olor existe el riesgo de molestias. ▪ Las proporciones con las que se trabajan son aproximadas. ▪ Requiere dedicación del personal.
<u>Cuchara mezcladora</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Consiste en una cuchara adaptable a la pala mecánica con ejes en su interior provistos de palas que actúan como una mezcladora. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rápida. • Móvil. • Permite repetir las operaciones las veces que haga falta, hasta conseguir la calidad de mezcla deseada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere cambiar la cuchara habitual de la pala mecánica para el proceso de mezcla. • Al ser una operación que suele realizarse en abierto no es posible controlar los gases y malos olores que se generan durante la propia operación. Por tanto, cuando se manipulan residuos que generan mal olor existe el riesgo de molestias. • Requiere dedicación del personal.
<u>Mezcladora</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Ideal para mezclas de residuos homogéneos o de estos con material estructurante. 	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso muy rápido. • Mezclas muy homogéneas. • Al ser un equipo cerrado, se pueden adaptar sistemas de aspiración de gases. • Es un equipo pensado para trabajar en continuo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere acoplarle un sistema de alimentación de los constituyentes de la mezcla (si se alimenta con pala el proceso por cargas batch). • Equipo específico para la operación de mezcla sin uso en otros procesos de la planta.

Identificación	Indicaciones	Ventajas	Inconvenientes/Limitaciones
<u>Remolque escampador de estiércol</u>	<ul style="list-style-type: none"> Para trabajar con residuos urbanos es un equipo que conviene reforzar. Es recomendable adaptar una campana a la parte posterior del remolque o invertir la colocación de los ejes para evitar derramar o dispersar el material durante el proceso de mezcla. Recomendable para mezclas de residuos homogéneos o de estos con estructurante (muy interesante en residuos agropecuarios) Equipo adecuado para plantas de compostaje de pequeñas dimensiones. 	<ul style="list-style-type: none"> Proceso rápido. No es un equipo específico para esta operación e incluso se puede llegar a alquilar a otras instalaciones. Está pensado para el trabajo en discontinuo, pero su capacidad ha de estar en consonancia con el volumen de la pala que lo alimenta. Con la incorporación de algunos complementos o con algunas modificaciones, es posible montar pilas al mismo tiempo que se realiza la mezcla. Móvil. 	<ul style="list-style-type: none"> Los materiales no pueden aportarse de cualquier manera, sino en un orden que facilite la mezcla. Requiere de un tractor (a no ser que se le adapte un motor). Al ser una operación que suele realizarse en abierto no es posible controlar los gases y malos olores que se generan durante la propia operación. Por tanto, cuando se manipulan residuos que generan mal olor existe el riesgo de molestias. Si no tiene un volumen suficiente, adecuado a la capacidad de la pala que lo alimenta, requiere acoplarle un sistema de alimentación en continuo de los constituyentes de la mezcla.
<u>Homogeneizador de ejes horizontales</u>	<ul style="list-style-type: none"> Ideal para residuos heterogéneos (tipo material orgánica de recogida selectiva) o de estos con estructurante. Diseñado para instalaciones de gran capacidad. 	<ul style="list-style-type: none"> Proceso muy rápido. Mezclas muy homogéneas. Acepta materiales muy diversos. Importante efecto de contracción de la mezcla cuando se mezclan materiales porosos (pe. fracción orgánica de recogida selectiva con estructurante, lo que reduce la superficie requerida para el compostaje posterior. Permite tanto el trabajo en continuo como en discontinuo. Algunos equipos ya incorporan sistemas de pesada lo que facilita la dosificación de las fracciones. Puede ser un equipo móvil. 	<ul style="list-style-type: none"> En caso de trabajar en continuo, requiere acoplarle un sistema de alimentación de los constituyentes de la mezcla. Equipo específico para la operación de mezcla. El coste de adquisición y el consumo eléctrico o de combustible son muy elevados.

Identificación	Indicaciones	Ventajas	Inconvenientes/Limitaciones
<u>Homogeneizador tipo Unifeed (de ejes verticales u horizontales)</u>	<ul style="list-style-type: none"> En origen, es un equipo pensado para la preparación de mezclas para la alimentación de ganado. Adecuado para plantas de compostaje de pequeñas dimensiones. Recomendable para mezclas de residuos homogéneos o de estos con estructurante. 	<ul style="list-style-type: none"> Mucha oferta en el mercado. Incluyendo de segunda mano. Está pensado para el trabajo en discontinuo, pero su capacidad ha de estar en consonancia con el volumen de la pala que lo alimente. Móvil. Algunos equipos ya incorporan sistemas de pesada lo que facilita la dosificación de las fracciones. Consigue mezclas muy homogéneas pero a costa de estar mucho tiempo trabajando. 	<ul style="list-style-type: none"> Proceso lento. Al ser una operación que suele realizarse en abierto no es posible controlar los gases y malos olores que se generan durante la propia operación. Por tanto, cuando se manipulan residuos que generan mal olor existe el riesgo de molestias. No es un equipo pensado para residuos urbanos y por tanto no puede garantizarse su durabilidad. Requiere un tractor (a no ser que se le adapte un motor).
<u>Tromel ciego (criba rotativa ciega)</u>		<ul style="list-style-type: none"> Proceso muy rápido. Está pensado para su alimentación en continuo. Puede ser un equipo móvil. Acepta materiales muy diversos, pero el sistema de alimentación acoplado no tiene tanta flexibilidad. Puede cerrarse y adaptarle sistemas de aspiración de gases. Puede incorporar púas para abrir bolsas en caso de trabajar con materia orgánica de recogida selectiva. 	<ul style="list-style-type: none"> Los equipos de alimentación en continuo con los que normalmente se le complementa no siempre aceptan todo tipo de materiales. No trocea. Su comportamiento es malo con materiales pastosos.
<u>Tromel con malla o zaranda</u>		<ul style="list-style-type: none"> Los mismos que en un tromel ciego. Permite diferenciar por granulometría las fracciones a compostar o no, y eliminar los impropios más gruesos. Es un equipo habitual en la etapa de afino de compost. 	<ul style="list-style-type: none"> Los mismos que un tromel ciego.

4.2.4. Criterios de diseño de las zonas destinadas a pretratamiento, preparación de estructurante y mezcla.

1. Las zonas destinadas a la etapa de pre-tratamiento deberían disponer de solera pavimentado (de forma recomendable) pendiente adecuado para recoger los lixiviados (1 % en sentido longitudinal y 2% en transversal) y de la red de conducción de estos hasta la correspondiente balsa o depósito de almacenamiento.
2. Como excepción, la trituración y el almacenamiento de la Fracción Vegetal limpia, la que habitualmente se utiliza como estructurante, se podrá efectuar sobre una superficie no pavimentada, siempre que esté compactada y con los pendientes adecuados para la recogida de pluviales.
3. Si durante la etapa de pre-tratamiento se incorporará un líquido, el diseño de la zona destinada a la operación vendrá condicionado por las características del líquido, si es un residuo o no, si huele mal o no, sanitariamente seguro o no, etc., y la manera de aplicarlo. Pero, en todo caso, la operación se tendrá que hacer sobre una piso pavimentado (de forma recomendada) dotada de red de recogida de lixiviados.
4. El agua de lluvia que caiga directamente sobre las zonas de pretratamiento, en caso de que estén descubiertas, será considerada lixiviado y también se deberá conducir hasta el correspondiente depósito o balsa de almacenamiento de éste. La única excepción es la zona destinada a la trituración y el almacenamiento de la Fracción Vegetal limpia que habitualmente se utiliza como estructurante: las aguas de lluvia que se recojan podrán ser consideradas aguas pluviales sucias, y conducir a la balsa o depósito destinado a ellas.

4.2.5. Zona de preparación del material estructurante.

La zona destinada a la preparación de los estructurantes a partir de Fracción Vegetal (madera de poda, restos forestales, pallets, cajas de verduras, corteza, etc.) suele formar parte de la zona dedicada al almacenamiento de ésta, sea antes o después de triturarla. Por tanto, la superficie destinada a esta operación complementaria suele incluirse dentro de la zona de almacenamiento de Fracción Vegetal, mucho más extensa.

4.2.6. Identificación de posibles problemas en esta etapa.

PAUTA INADECUADA DE DISEÑO O DE EXPLOTACIÓN	POSIBLES PROBLEMAS EN LA PROPIA OPERACIÓN	POSIBLES PROBLEMAS EN OPERACIONES O ETAPAS POSTERIORES
Mezclas con estructurante inadecuado o en las que la proporción de este sea escasa.	<ul style="list-style-type: none"> Atascos en el equipo de mezcla u homogeneización. 	<ul style="list-style-type: none"> Arranque y desarrollo lento del proceso de compostaje. Dificultad para lograr la fase termófila y la consiguiente homogeneización del producto. Desarrollo inadecuado del compostaje, con compactación de la mezcla, falta de oxígeno y generación de malos olores. Dificultades en el cribado posterior a la etapa de descomposición para recuperar el estructurante.
Los equipos de mezcla u homogeneización previstos son inadecuados	<ul style="list-style-type: none"> Ralentización de la operación. Atascos en el equipo de mezcla u homogeneizador. 	<ul style="list-style-type: none"> Desarrollo inadecuado del compostaje, con falta de oxígeno y generación de malos olores. Ralentización de este proceso.
Mezcla de escasa humedad	<ul style="list-style-type: none"> Generación de polvo o aerosoles. 	<ul style="list-style-type: none"> El proceso de compostaje no arranca o lo hace muy lentamente. Parada del proceso de compostaje antes de hora, si posteriormente no se corrige la humedad.
Mezclas con excesiva humedad	<ul style="list-style-type: none"> Generación de abundantes lixiviados durante la mezcla. Atascos en el equipo de mezcla u homogeneización. 	<ul style="list-style-type: none"> Desarrollo inadecuado del compostaje, con falta de oxígeno y generación de malos olores. Generación de abundantes lixiviados en etapas posteriores. Dificultades en el cribado posterior para recuperar el estructurante.
Mezclas de pH bajo	<ul style="list-style-type: none"> Ninguno 	<ul style="list-style-type: none"> Arranque lento del proceso de compostaje. Dificultad para alcanzar la fase termófila y la consecuente higienización del producto.
Mezcla con escasa fracción orgánica degradable	<ul style="list-style-type: none"> Ninguno 	<ul style="list-style-type: none"> Parada del proceso de compostaje antes de tiempo. Dificultades en el cribado para recuperar el estructurante. Estructurante recuperado muy húmedo.
Mezclas con relación C/N alta	<ul style="list-style-type: none"> Ninguno 	<ul style="list-style-type: none"> Actividad microbiana muy lenta durante el compostaje, lo que puede dificultar o impedir que se alcance la fase termófila.
Mezclas con relación C/N baja	<ul style="list-style-type: none"> Ninguno 	<ul style="list-style-type: none"> Importante emisión de amoníaco durante el compostaje. Perdida de riqueza fertilizante del compost final. Riesgo de contaminación atmosférica si no hay tratamiento de gases.
Residuos diversos no homogeneizados	<ul style="list-style-type: none"> Ninguno 	<ul style="list-style-type: none"> Generación de malos olores en algún momento del proceso de compostaje. Ralentización de este proceso.
Materiales mal mezclados	<ul style="list-style-type: none"> Ninguno 	<ul style="list-style-type: none"> Desarrollo inadecuado del compostaje con falta localizada de oxígeno y generación de malos olores. Dificultades en los post-tratamientos.

PAUTA INADECUADA DE DISEÑO O DE EXPLOTACIÓN	POSIBLES PROBLEMAS EN LA PROPIA OPERACIÓN	POSIBLES PROBLEMAS EN OPERACIONES O ETAPAS POSTERIORES
		<ul style="list-style-type: none"> - Producto final mal acabado. - El estructurante recuperado no es adecuado para ser reciclado.

4.3. Etapa de descomposición.

La primera etapa operativa del proceso de compostaje, hasta que comienza el enfriamiento de la masa de material a compostar, se puede denominar etapa de descomposición, y es en esta etapa donde se consumen los componentes más degradables, mientras que los biopolímeros más complejos, como la celulosa y la lignina, se transforman parcialmente de modo que se convierten en las moléculas de base para la formación de compuestos estables similares a las sustancias húmicas del suelo, proceso que tiene lugar durante la posterior etapa de maduración.

En esta etapa de descomposición hay una gran liberación de energía y un fuerte consumo de O_2 . Al tratarse de la etapa biológicamente más activa, se deben controlar cuidadosamente las condiciones de trabajo para evitar las siguientes situaciones

1. Temperaturas excesivas. La energía generada puede elevar excesivamente la temperatura del material, hasta llegar incluso a inhibir o reducir la actividad microbiana. El calor también puede provocar un secado del material, con las mismas consecuencias sobre los microorganismos. Para evitar todo esto hay que ventilar, remover o regar el material convenientemente.
2. Condiciones anaerobias. Si no se repone el O_2 consumido, aparecen las condiciones anaerobias. En esta situación:
 - La actividad microbiana es más lenta y genera menos energía, por lo que es posible que la temperatura no se eleve lo suficiente para higienizar el material e inhibir la germinación de las semillas de malas hierbas, coliformes, hemiltos, etc. Se generan sustancias volátiles (ácidos grasos de cadena corta, aminas, mercaptanos, sulfuro de hidrógeno, sulfuros orgánicos, etc.) de olores desagradables.
3. Pérdidas innecesarias de nitrógeno en forma de NH_3 . Durante esta etapa, las proteínas existentes en los materiales iniciales se convierten en formas amoniacales, las cuales pueden perderse en buena parte según cuales sean las condiciones de humedad y temperatura y del régimen de ventilación establecido. Hay que intentar minimizar estas pérdidas compostando materiales de C/N adecuadas dado que el NH_3 es un contaminante, que complica la consecución y mantenimiento de unas aceptables condiciones laborales y que el nitrógeno que contiene es un nutriente vegetal energéticamente y económicamente caro.

Como ya se ha comentado, a efectos prácticos entenderemos como etapa de descomposición todo el período que requiere una mayor aireación (incluso aireación forzada) debido a las grandes necesidades de oxígeno que se derivan de la actividad microbiana.

4. Se entiende por efecto chimenea la circulación de aire que se establece de forma natural en un montón de material en compostaje por efecto del gradiente de temperatura entre el interior y el exterior.
5. La descomposición de la materia orgánica genera energía, y una parte de ésta se manifiesta en forma de calor. En consecuencia la masa en compostaje se calienta, el aire caliente más o menos pobre en oxígeno de su interior se eleva al ser menos denso y es sustituido por aire fresco, más oxigenado y más frío del exterior, que entra a través de la superficie del hacinamiento.
6. Este es un efecto similar al tiro de las chimeneas, y por eso se identifica con ese nombre. La combinación entre el efecto chimenea, la dimensión del apilamiento y la abundancia y el tamaño de poro del material en compostaje da un caudal de aire que circula por su interior. Durante la etapa de descomposición -o al menos en su inicio-, este caudal no suele ser suficiente para conseguir que se establezcan condiciones aerobias. Por eso hay que recurrir a ventilaciones forzadas para mantenerlas.

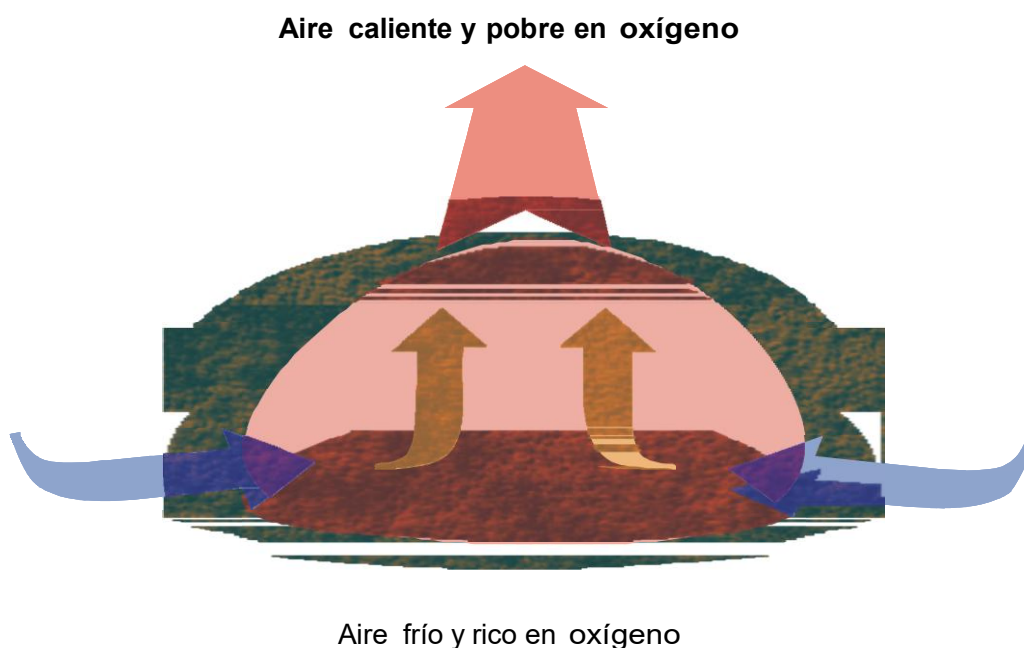


Figura nº. 3. Efecto chimenea

7. La etapa de descomposición debe incluir obligatoriamente un periodo de higienización.

Las recomendaciones de la EPA (1999) sobre la temperatura y duración mínima de este período pueden resumirse de la siguiente manera:

- a 55°C: 3 días.
- a 60°C: 1 día.
- a 65°C: 3 horas.
- a 70°C: 1 hora.

Las recomendaciones que fijaba el 2nd Draft de Directiva Europea (2001) establecía para estas situaciones:

SISTEMA	Temperatura	Duración del tratamiento	Volteos
Pila volteada	$\geq 55^{\circ}\text{C}$	2 semanas	5
Pila volteada	$\geq 65^{\circ}\text{C}$	1 semana	2

Ficha nº. 3. Parámetros de higienización

La etapa de descomposición puede estar constituida por sucesivas fases que no necesariamente tienen que desarrollarse en el mismo lugar ni con las mismas condiciones de control. Es de destacar que el inicio de la etapa es la más crítica e interesa pues que las fases que abarcan este periodo sean las de diseño más cuidadoso.

Es obvio que la duración del proceso depende del tipo de residuo a compostar, de la bondad de la mezcla que se ha realizado, etc. En general el proceso de descomposición se encuentra entre 3-4 semanas en función de los mencionados parámetros.

4.3.1. Superficie necesaria para la etapa de descomposición.

La superficie necesaria para la etapa de descomposición dependerá de:

- El volumen de residuo a tratar.
- La proporción de estructurante a añadir para conseguir la porosidad adecuada en el apilamiento diseñado.
- La proporción de otros materiales complementarios.
- La capacidad de carga (o volumen de material por unidad de superficie) del o de los sistemas tecnológicos elegido para esta fase (pilas estáticas o volteadas, trincheras, reactores, etc.). Esta variable suele expresarse en m^3/m^2 (m^3 de material o mezcla a compostar por m^2 de superficie) y es función de la sección útil, que depende de la sección de trabajo de la volteadora en el caso de pilas volteadas, o de la altura del material en el caso de trincheras y reactores.
- La duración de la etapa de descomposición, establecida a partir de:
 - . La degradabilidad del residuo.
 - . El control de temperatura que se pretenda alcanzar durante la etapa.
 - . Que exista o no recirculación de aire caliente.
 - . Se realice o no bajo cubierta de geo-textil.

- Que en el pretratamiento se haya decidido o no incorporar equipos específicos de mezcla o homogeneización. Incorporar los mencionados equipos para conseguir una mezcla de la mayor calidad posible siempre es recomendable pero puede que dichos equipos no se incorporen por un tema presupuestario.

La superficie necesaria, en m^2 , se calculará a partir de la fórmula:

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

Dónde:

- S_d = superficie necesaria para la etapa de descomposición.
 - Q_d = capacidad de diseño de la instalación, equivalente a la capacidad nominal de la instalación Q_n (toneladas de residuo/s que está previsto tratar anualmente), multiplicado por el factor de seguridad 1,10 o sobredimensionamiento.
 - V_m/M_r = volumen en m^3 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 a tratar.
 - t_d = duración, en semanas, que requiere la etapa de descomposición.
 - CC_d = capacidad de carga o volumen en m^3 de material o mezcla a compostar que es posible acumular por cada m^2 de superficie, de acuerdo con la opción tecnológica elegida para esta etapa.
1. En caso de que la etapa de descomposición se realice sin protección contra la lluvia, sin cubierta convencional o de geo-textil, la superficie resultante de los cálculos anteriores se incrementará obligatoriamente en un 15%. La razón de esta exigencia es disponer de un espacio de seguridad para poder alargar la duración de la etapa cuando, debido a lluvias continuadas, el paso del aire quede temporalmente impedido y, en consecuencia, el proceso se detenga. Este criterio no se aplicaría en el compostaje de Fracción Vegetal, dado que, dadas sus características físicas, es muy improbable que se pueda producir el fenómeno antes descrito.
 2. El valor obtenido se debería 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, al tener que estar libre para recibir nuevo material a compostar o estará ocupada por otro ya precompuesto y pendiente de ser trasladado a la zona destinada a la maduración. También inutiliza parte de la superficie la zona de giro de la volteadora o pala cargadora y el desplazamiento del material que algunos de estos equipos provocan. Asimismo, a veces también hay que dejar espacios de separación entre materiales en diferente estadio de descomposición, bien porque no interesa que estén en contacto, bien para permitir la actuación de las volteadoras.
 3. La superficie total necesaria para la etapa será 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 ellas, espacio para el giro de la volteadora, espacio de seguridad respecto a los pilares de las naves, en caso de que los haya, etc.

4.3.2. Incorporación de líquidos.

La incorporación de líquidos en la etapa de descomposición puede ser necesaria para:

1. El material o mezcla a compostar están por debajo de los niveles de humedad necesarios para que el compostaje arranque o se desarrolle con normalidad, pero no es posible u oportuno aplicar agua o residuos líquidos a la etapa precedente de pre-tratamiento.
2. La actividad microbiana durante la etapa de descomposición es tan enérgica y la generación de calor tan elevada que la masa en compostaje se llega a secar hasta ralentizar o casi detener el proceso microbiano.
Para estas situaciones hay que tener prevista la instalación de equipos que permitan el aporte de agua, lixiviados u otros residuos líquidos.
3. Los lixiviados y residuos líquidos sólo se pueden aplicar antes de la fase de higienización, a menos que se tenga la seguridad de que la posterior etapa de maduración también habrá una fase termófila con temperaturas suficientemente elevadas para conseguir esta higienización.
4. La aplicación por aspersión de residuos líquidos y lixiviados sólo se puede hacer:
 - En recintos cerrados, tipo reactores o naves, si hay riesgo claro de generar molestias al vecindario por malos olores.
 - Sin presencia de personal, por el riesgo sanitario que conlleva.
5. La aplicación de un líquido aprovechando la actuación de un equipo de volteo es muy apropiada si se dispone de este equipo, si bien con las limitaciones apuntadas anteriormente cuando se trata de lixiviados y residuos líquidos. Pero incluso en estos casos se puede considerar la posibilidad de hacerlo al aire libre si el riesgo de generar molestias al vecindario no es muy evidente, ya que resulta una operación rápida y con poca generación de aerosoles.

4.3.3. Criterios de diseño

1. La proporción de estructurante a incorporar pretende dar una menor o una mayor porosidad a la mezcla, según esté previsto voltear o no el material durante la etapa, o al menos durante sus fases iniciales.
2. Las zonas destinadas a la etapa de descomposición deberían disponer o al menos es recomendable que dispongan de piso pavimentado (hormigón, asfalto, etc.) de la pendiente adecuada para recoger los lixiviados y del sistema de conducción hasta la correspondiente balsa/depósito de almacenamiento.
3. La única excepción es cuando se composta Fracción Vegetal limpia, la que habitualmente se utiliza como estructurante. Entonces la etapa de descomposición se podrá efectuar sobre una superficie de tierra, siempre que:
 - Esté compactada y con los pendientes adecuados para la recogida de pluviales.
 - No se haya incorporado algún residuo o solución nitrogenada para favorecer el proceso.

4. El agua de lluvia que caiga sobre las zonas de descomposición y los viales que les den directamente servicio, en caso que no estén protegidos, será considerada lixiviado y también se deberá conducir hasta la correspondiente balsa/depósito de almacenamiento de éste.
5. La única excepción a la anterior consideración vuelve a ser la zona destinada al compostaje de Fracciones Vegetales, siempre que éstas NO se les haya incorporado algún residuo o solución nitrogenada para favorecer el desarrollo del compostaje. En este caso, las aguas de lluvia serán consideradas aguas pluviales sucias y tendrán que ser conducidas a la correspondiente balsa/depósito de almacenamiento de éstas.
6. A la hora de valorar la conveniencia de cubrir o no la zona destinada en la etapa de descomposición debe recordarse que, si no se cubre con cubierta clásica o de geo-textil, deberá sobredimensionar:
 - La superficie destinada a la etapa para cubrir contingencia derivadas de lluvias intensas.
 - Las balsas/depósitos de lixiviados, o en el caso de Fracción Vegetal, las de aguas pluviales sucias.

4.3.4. Identificación de posibles problemas en esta etapa.

PAUTA INADECUADA DE DISEÑO O DE EXPLOTACIÓN	POSIBLES PROBLEMAS EN LA PROPIA OPERACIÓN	POSIBLES PROBLEMAS EN OPERACIONES O ETAPAS POSTERIORES
Inexistencia de cubierta y después de lluvias importantes	<ul style="list-style-type: none"> - Zonas de anoxia con generación de malos olores - Parada temporal del proceso. - Generación de lixiviados. - Arrastre de partículas finas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Malos olores en la etapa de maduración. - Producto final inmaduro.
Inexistencia de sistema de aireación o mal dimensionado	<ul style="list-style-type: none"> - Anoxia con generación de malos olores. 	<ul style="list-style-type: none"> - Malos olores en la etapa de maduración. - Producto final inmaduro.
Número insuficiente de renovaciones de aire de la nave cerrada	<ul style="list-style-type: none"> - Atmósfera o temperaturas inadecuadas para el trabajo (riesgo sanitario). - Las emisiones fugitivas serán más importantes y con peor olor. 	
Altura excesiva del material	<ul style="list-style-type: none"> - Compactación del material por su propio peso y dificultad de paso del aire. - Anoxia con generación de malos olores. 	<ul style="list-style-type: none"> - Malos olores en la etapa de maduración. - Producto final inmaduro.
No revisar periódicamente la solera (comprobación del paso de aire)	<ul style="list-style-type: none"> - Zonas de anoxia con generación de malos olores. - Descontrol de la temperatura. 	<ul style="list-style-type: none"> - Malos olores en la etapa de maduración. - Producto final inmaduro.
Estructurante escaso o inadecuado	<ul style="list-style-type: none"> - Compactación del material por su propio peso y dificultad de paso del aire. 	<ul style="list-style-type: none"> - Malos olores en la etapa de maduración. - Producto final inmaduro.

PAUTA INADECUADA DE DISEÑO O DE EXPLOTACIÓN	POSIBLES PROBLEMAS EN LA PROPIA OPERACIÓN	POSIBLES PROBLEMAS EN OPERACIONES O ETAPAS POSTERIORES
	- Anoxia con generación de malos olores.	
Cobertura de geo-textil mal sellada o excesiva presión de la ventilación	- Emisión de malos olores.	- Problemas en el cribado posterior.
Período de carga del reactor o silo excesivamente largo	- Instalaciones no optimizadas. - Diferencias muy sustanciales entre los materiales obtenidos en la etapa. - Riesgo de emisión de malos olores al abrir las puertas del reactor para completar la carga.	Diferencias muy sustanciales entre los materiales obtenidos en la etapa. Emisión de malos olores en la etapa de maduración. Parte del producto final inmaduro.
Inexistencia, mal funcionamiento o mal uso (dosificación escasa) del sistema de riego	- Con algunos materiales, posible parada o ralentización del proceso por falta de humedad. - Generación de polvo durante las operaciones de volteo.	- Generación de polvo durante las operaciones posteriores (cribados, volteos, etc.). - Producto final inmaduro.
Mal funcionamiento o mal uso (dosificación excesiva) del sistema de riego	- Creación de zonas de anoxia con generación de malos olores. - Parada temporal del proceso. - Enfriamiento de la masa con ralentización del proceso.	Dificultades en los cribados posteriores. Emisión de malos olores en la etapa de maduración. Producto final inmaduro.

4.4. Maduración.

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

En esta etapa de maduración, la descomposición de materia orgánica, aunque todavía existe, tiene mucha menos importancia, de manera que no hay ni un elevado consumo de O₂, ni una gran liberación de energía (siempre que la etapa de descomposición se haya desarrollado correctamente). Por esto, la temperatura de la masa durante la etapa tenderá a ir disminuyendo gradualmente hasta igualarse con la temperatura ambiente.

Habitualmente esta etapa se realiza en pilas, pilas extendidas, etc., con o sin volteos. Si no se dispone de equipos específicos, los volteos en esta etapa pueden hacerse con pala mecánica, y a veces consisten simplemente en un movimiento del material, como ahora desmontar una pila y montar otra al lado (remonte de pilas).

Aunque existen sistemas de compostaje in-vessel donde ambas etapas se desarrollan en continuo en la misma nave.

Así mismo, durante las etapas anteriores o justo antes de emprender esta de maduración, ya se ha retirado una parte más o menos sustancial de los impropios que

pueda contener la mezcla en compostaje, con el fin de optimizar el espacio y reducir el riesgo de contaminación del producto final.

También, en determinados casos, antes o en el decurso de esta etapa se retira una parte más o menos sustancial del estructurante, con la finalidad de reducir el espacio que se debe destinar en la etapa. Esta actuación sólo será posible realizarla cuando se cumplan las condiciones:

1. La principal función que tenía el estructurante dentro la mezcla original era darle porosidad, o corregir la relación C/N, etc.
2. El material que quede después de retirar el estructurante, presenta unas características (porosidad, estructura, etc.) que posibiliten el paso del aire, cosa que permitirá continuar de manera correcta el proceso de compostaje.

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. Pero de todas formas y en la práctica, se debe estar atento para evitar las siguientes situaciones:

1. Temperaturas demasiado elevadas, que podrían alentar o inhibir la actividad microbiana, y también en circunstancias muy concretas, conducir al incendio del compost. Las elevadas temperaturas que se alcanzan se deben a que en este estadio el precompost es un mal transmisor del calor, sobre todo si se le ha retirado una parte importante del material estructurante o de los impropios, si está excesivamente seco y si, como es habitual, ya no se dispone de ventilación forzada. Entonces el poco calor generado por la misma actividad microbiana no se evacua correctamente y la temperatura asciende, inhibe la actuación de los microorganismos pero potencia en contrapartida las reacciones químicas oxidativas que, al ser exotérmicas, elevan aún más la temperatura de la masa. Para controlar este fenómeno desfavorable se requiere:
 - Una gestión correcta de la circulación del precompost, para evitar que parte de éste se acumule durante largo tiempo en la zona destinada a maduración mientras que otra más joven se traslade antes a la zona de almacenaje o se venda.
 - Voltar o trasladar el compost cuando se detecte una elevación excesiva de la temperatura para disipar el calor acumulado.
 - Ventilación forzada. Será casi obligatorio que la instalación disponga de esta alternativa cuando se retire una parte sustancial del estructurante antes de que haya transcurrido la mitad de la duración de la etapa de maduración.
 - Aportar agua para evitar sequedades excesivas.
2. Sequedad excesiva. Además, de potenciar el fenómeno del calentamiento excesivo del material, alienta o frena la actividad microbiana, de manera que al final de la etapa se obtienen materiales menos maduros del que sería de esperar y desear. Estos compuestos poco maduros por falta de humedad pueden causar problemas en el posterior almacenaje o una vez ya comercializados, al reiniciarse la actividad microbiana cuando, por causas fortuitas, se rehumedecen.

4.4.1. Condicionantes de la etapa de maduración.

Los condicionantes de la etapa de maduración son los siguientes:

1. El correcto desarrollo de la precedente etapa de descomposición. En principio, se debe esperar que el precompost que llega a maduración:
 - Tenga una actividad biológica baja, la demanda de oxígeno de la cual pueda ser cubierta de manera espontánea por el efecto chimenea que se instaure en las pilas.
 - Tenga de entrada la humedad necesaria para no inhibir la actividad microbiana.
2. Una porosidad suficiente en el material a madurar, para permitir una circulación espontánea del aire por el interior del material bastante intensa como para asegurar su oxigenación. Pero en caso que esta circulación espontánea no sea suficiente, bien porque el material a madurar tenga poros muy pequeños que dificulten el paso del aire, bien por la disposición que se le dé a la pila, pilas extendidas muy anchas, trincheras, silos, etc., se deberá instalar aireación forzada o programar volteos frecuentes, pese que la baja actividad microbiana no parecería justificarlo.
3. En principio la etapa de maduración consta de una única fase. Ahora bien, a veces en la práctica puede quedar dividida en sub-fases para que a mitad del desarrollo se realice:
 - Un reagrupamiento del material para optimizar el espacio ocupado.
 - Un cribado para recuperar parte del estructurante que contenga la mezcla. Evidentemente, este cribado también puede realizarse antes de iniciar la maduración.
4. La etapa de maduración no necesariamente tiene que desarrollarse en un lugar específico. Su espacio hasta incluso puede:
 - Coincidir en parte o totalmente con el destinado a la precedente etapa de descomposición.
 - Compartirse con el reservado en almacén.
5. Un ejemplo de compostaje en el que las etapas de descomposición y maduración coincidirían parcialmente en el espacio se daría en un compostaje que se desarrollara de la siguiente forma:
 - La descomposición se realizaría al inicio y durante tres semanas, en pilas volteadas y aireadas.
 - Se cribaría para eliminar los impropios más gruesos y optimizar así la superficie y continuaría la descomposición durante tres semanas más con el mismo manejo.
 - Posteriormente, se iniciaría la maduración sin cambiar el material del lugar, es decir, con una continuidad temporal y espacial.
6. Un ejemplo de compostaje en el que las etapas de maduración y posterior almacenamiento coincidirían totalmente en el espacio se daría en un compostaje de lodos de depuradora que se desarrollara de la siguiente forma:

- Al finalizar la etapa de descomposición se cribaría el material para eliminar la mayor parte de la elevada proporción de estructurante de la mezcla, y optimizar así el espacio.
- Posteriormente, se iniciaría la maduración en el lugar destinado en esta etapa, donde permanecería hasta su comercialización, ya que para hacerlo ya no hace falta ninguna otra operación intermedia, como por ejemplo el refinado. Es decir, existe una continuidad temporal y espacial entre dos etapas.

4.4.2. Superficie necesaria.

1. La superficie necesaria para la etapa de maduración dependerá de:

- El volumen de residuos a compostar.
- La proporción de volumen de material cuando llega a la etapa de maduración por cada unidad de masa de residuo tratado, identificada por V_{pc}/M_r , después de las reducciones de volumen que tienen lugar:
 - En la precedente etapa de descomposición.
 - Por la opcional recuperación de estructurante.
- Las operaciones de reagrupamiento del material que se puedan a dar término a media maduración para aprovechar el espacio (remonte de pilas).
- La capacidad de carga, o volumen de material que cabe por unidad de superficie, según la tecnología elegida para esta fase: habitualmente pilas o pilas extendidas, estáticas o volteadas, o trincheras.
- La duración mínima establecida por la etapa de maduración, más un periodo adicional que recomendamos por seguridad, para aquellos procesos que no resulten exitosos.

2. El cálculo de la superficie necesaria para la maduración dependerá de las circunstancias en que ésta se desarrolle. Indicamos a continuación la fórmula para la situación más habitual: cuando la maduración se desarrolla en una zona diferente a la de la descomposición y por tanto habría un reagrupamiento del material (con o sin cribado intermedio).

La fórmula es muy similar a la usada anteriormente para la etapa de descomposición:

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

Dónde:

- S_m = superficie mínima necesaria, en m^2 , 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/s que está previsto tratar anualmente), multiplicado por el factor de seguridad 1,10.
- V_{pc}/M_r = volumen en m^3 de precompost que entra a madurar después de un cribado y/o reagrupamiento, referido a cada tonelada de residuo a tratar.
- t_m = duración, en semanas, que requiere la etapa de maduración.

- CC_m = volumen de material en m^3 que es posible acumular por cada m^2 de superficie, de acuerdo con la opción tecnológica elegida para esta etapa.
3. El valor obtenido según la fórmula anterior deberá ser corregido de acuerdo con la gestión prevista para los materiales en la etapa. Se debe tener en cuenta que:
 - Parte de la superficie será inhábil, al tener que estar libre para recibir nuevo material a madurar o estará ocupada por otro ya madurado y pendiente de ser trasladado a la zona destinada a almacenaje.
 - El uso de volteadora también inutiliza una parte de la superficie: la zona que requiere para el giro y el espacio que ocupa el desplazamiento del material que algunos de estos equipos provocan.
 - A veces también debe dejar espacios de separación entre materiales en diferente estadio de maduración, bien por qué no interesa que estén en contacto, o bien para permitir la actuación de las volteadoras.
 4. Otros aspectos del diseño de la zona de maduración también requieren espacio: zonas de paso de la maquinaria, entradas, espacio seguridad presto a los montones, en caso que haya, etc.
 5. En resumen, la superficie total necesaria para la etapa será el resultado de integrar todas las anteriores consideraciones a la superficie mínima S_m calculada según las fórmulas anteriores.

4.5. Recuperación del estructurante y afino del compost.

Una vez que se ha finalizado el proceso de compostaje se procede al afino del compost y la recuperación del estructurante que no se ha degradado para recircularlo a la etapa de mezcla y aprovechar así el material.

Esta etapa consiste básicamente en una separación del estructurante por granulometría y la retirada de contaminantes del mismo. La retirada de contaminantes del estructurante en el caso de residuos agropecuarios probablemente no sea necesaria pero es un proceso que se ha ido implantando en plantas de compostaje de materia orgánica procedente de residuos sólidos urbanos.

Así mismo, e integrada con la recuperación del estructurante se encuentra el sistema de afino de compost por granulometría y retirada de los impropios que puedan existir.

4.5.1. Equipos para la recuperación del estructurante y afino de compost.

La recuperación y acondicionamiento del estructurante y de afino del compost, pueden ser básicamente las siguientes en función del grado de contaminantes que contenga el compost:

También se recogen equipos para el envasado del compost

1. Separación granulométrica mediante cribas de diferente tipo.

En el caso de poca existencia de contaminantes físicos (plásticos, papel, piedras, vidrio), como es de esperar cuando se compostan residuos agropecuarios, el proceso sirve a la vez para obtener una corriente de compost (tamaño inferior a malla de la criba) y otra de estructurante (tamaño superior a la malla de la criba), sin necesidad de etapas o equipos adicionales.

2. La eliminación de impropios que ensuciarían tanto el estructurante como el compost aun habiéndolos cribado.

Para esta función se utilizan separadores de plásticos y pesados basados en sistemas neumáticos y balísticos.

4.5.2. Equipos para la preparación de productos de manera granulométrica.

Los equipos utilizados para esta operación son:

1. Cribas, si lo que se quieren es obtener determinadas granulometrías a partir de un compost.
2. Granuladoras, si se quiere obtener un producto de un determinado tamaño a partir de un material o de una mezcla más fina.




4.5.3. Equipos de envasado.



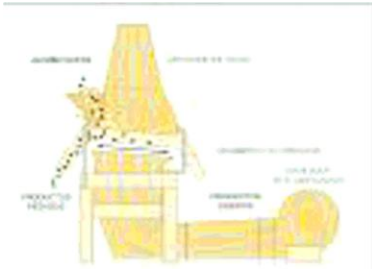
En esta operación pueden utilizarse:

1. Ensacadoras manuales.
2. Ensacadoras automáticas.
3. Equipos de relleno a raudales (*big bags*).

Los sistemas de alimentación que complementan estos equipos de envasado tendrán que ser adecuados a las características de los materiales a manipular: granulometría, humedad, etc.

Ficha nº. 4. Ventajas e inconvenientes de los equipos de recuperación de estructurante y afino de compost

Identificación	Descripción	Ventajas	Inconvenientes/Limitaciones
<u>Cedazo estático inclinado</u>	<ul style="list-style-type: none"> El material se deja resbalar sobre el cedazo. La fracción final lo traspasa, y la gruesa se acumula al pie del cedazo. 	<ul style="list-style-type: none"> Muy simple. Se alimenta con pala. 	<ul style="list-style-type: none"> Eficiencia discutible.
<u>Criba rotativa (tromel)</u>		<ul style="list-style-type: none"> Muy robusto. Razonablemente cómoda de limpiar y desembozar. Puede complementarse con carenados o toldos para reducir la emisión de polvo. 	<ul style="list-style-type: none"> Ocupa más espacio que otras soluciones Requiere equipo de alimentación o acondicionar una tolva de entrada para permitir la carga mediante pala.
<u>Criba vibrante de malla rígida</u>		<ul style="list-style-type: none"> Menos tendencia a embozarse. Se limpia y desemboza con facilidad. Puede complementarse con carenados o toldos para reducir la emisión de polvo. Compactas. 	<ul style="list-style-type: none"> Requiere equipo de alimentación o acondicionar una tolva de entrada para permitir la carga mediante pala. Mantenimiento ligeramente superior a la criba rotativa.
<u>Criba vibrante de malla elástica</u>		<ul style="list-style-type: none"> Aún menos tendencia a embozarse que las cribas de malla rígida. Se limpia y desemboza con mucha facilidad. Puede complementarse con carenados o toldos para reducir la emisión de polvo. Compactas. 	<ul style="list-style-type: none"> Requiere equipo de alimentación o acondicionar una tolva de entrada para permitir la carga mediante pala. Mantenimiento ligeramente superior a la criba rotativa. Es necesaria sustitución frecuente de la malla elástica. Pero es una operación simple y poco costosa.

Identificación	Descripción	Ventajas	Inconvenientes/Limitaciones
<u>Criba de estrella</u>		<ul style="list-style-type: none"> Puede complementarse con carenados o toldos para reducir la emisión de polvo. Compacta. Gran rendimiento, en condiciones de humedad adecuadas del material a tratar. 	<ul style="list-style-type: none"> Requiere equipo de alimentación o acondicionar una tolva de entrada para permitir la carga mediante pala. Entretenido de desembozar. Más sensibles al exceso de humedad del material a tratar.
<u>Criba de discos</u>		<ul style="list-style-type: none"> Puede complementarse con carenados o toldos para reducir la emisión de polvo. Compacta. 	<ul style="list-style-type: none"> Requiere equipo de alimentación. Entretenido de desembozar.
<u>Mesa densimétrica</u>		<ul style="list-style-type: none"> Separa tanto impropios de elevada densidad (piedras, vidrios, cerámica, etc.) como de baja (plástico film). Gran eficiencia cuando las condiciones del material son las adecuadas. 	<ul style="list-style-type: none"> Solo aplicable con posterioridad a la etapa de maduración. Funcionamiento restringido a un intervalo limitado de humedad del material a tratar. Requiere un buen ajuste y una correcta dosificación. Requiere un tratamiento del aire para eliminar el polvo (es más habitual el filtro de mangas que el ciclón). Difícil de limpiar si se ha ensuciado por un exceso de humedad del material a tratar.

Elaborado a partir de Giró, F. Influencia de la calidad de los residuos orgánicos en la gestión de las plantas de tratamiento biológico. Experiencia en Cataluña (II Congreso sobre residuos biodegradables y compost. El reto de fomentar el consumo de los productos finales. Sevilla 20 y 21 Octubre 2005).

4.5.4. Criterios de diseño para la selección de alternativas.

Los objetivos que se pretenden conseguir con los criterios de selección de alternativas para la etapa de post-tratamiento consisten en definir la conveniencia de:

1. Recuperar el estructurante.
2. Disponer de un espacio para almacenar el estructurante, el recirculado, o dejarlo hasta el momento de reutilizarlo en otro ciclo de compostaje.
3. Condicionar este espacio o adecuar otro de alternativo donde poder tratar y almacenar el recirculado, cuando por cualquier causa, éste no presente de entrada las características deseables para ser reutilizado inmediatamente en otro ciclo de compostaje.
4. Limpiar de impropios el recirculado y/o fraccionarlo según granulometrías para mejorar su calidad como tal.
5. Eliminar impropios del compost generado.
6. Preparar productos de diferentes granulometrías a partir del compost.
7. Preparar mezclas a partir del compost.
8. Envasar los productos a comercializar.

Los criterios de diseño relacionados con la selección de alternativas son los que se recoge a continuación:

1. El agua de lluvia que se cuele de las zonas de post-tratamiento y los viales que les dan servicio, en caso que no estén bajo cubierta, será considerada agua pluvial sucia y se tendrá que conducir hasta la correspondiente balsa de almacenaje de ésta. La única excepción se indica posteriormente.
2. Toda instalación de compostaje que recupere el estructurante tendrá que disponer obligatoriamente de un espacio de reserva donde poder acumular el recirculado generado en una semana de proceso.
3. Debe señalarse que el agua de lluvia que se cuele de las zonas de almacenaje temporal del estructurante recuperado (recirculado) será considerada lixiviado y se tendrá que conducir hasta la correspondiente balsa de almacenaje de éste.
4. Otro aspecto a tener en cuenta en el diseño de la etapa se deriva del hecho que algunos de los materiales manipulados durante los post-tratamientos presentan una granulometría fina, y por eso, son fácilmente arrastrados por el viento. Por lo tanto, conviene valorar la conveniencia de medidas correctoras, tales como:

- Barreras físicas (muros, mallas de plástico, pantallas vegetales, microaspersión localizada, etc.).
- Carenar los equipos de cribado y transporte.

5. Para asegurar unas correctas condiciones de higiene y salud laboral, es esencial plantear sistemas pasivos y activos contra el polvo en la mayoría de operaciones que configuren esta etapa.

6. También se debe tener en cuenta el riesgo de explosión debido al polvo que puede existir en algunas operaciones de esta etapa sobre todo si se producen en espacios cerrados.

4.5.5. Identificación de posibles problemas en esta etapa.

PAUTA INADECUADA DE DISEÑO O DE EXPLOTACIÓN	POSIBLES PROBLEMAS EN LA PROPIA OPERACIÓN	POSIBLES PROBLEMAS EN OPERACIONES O ETAPAS POSTERIORES
No está prevista la recuperación del estructurante	- Ninguno.	- Incremento de los costes de producción. - Mayor superficie de almacenaje. - Modificación de las características del producto comercializado.
Equipo de recuperación de estructurante con poca capacidad de tratamiento	- Ralentización de la etapa. - Estructurante recuperado sucio del compost.	- Menor volumen de compost recuperado. - Dificultades en el desarrollo del siguiente ciclo de compostaje.
No está previsto el acondicionamiento del estructurante recuperado	- Ninguno.	- Dificultades en el desarrollo del siguiente ciclo de compostaje. - Aportación de impropios al siguiente ciclo de compostaje.
Equipo inadecuado de acondicionamiento del estructurante recuperado	- Atascos. - Aportación de impropios al siguiente ciclo de compostaje.	- Dificultades en el desarrollo del siguiente ciclo de compostaje - Aportación de impropios al siguiente ciclo de compostaje
No está prevista la eliminación de impropios	- Ninguno.	- Pérdida de calidad comercial del producto final. - Mayor superficie de almacenamiento.
Equipo inadecuado de eliminación de impropios.	- Compost de baja calidad.	- Reducción del mercado potencial.
No está prevista la adecuación del producto final	- Ninguno.	- Mercado potencial más restringido.
No se prevén sistemas de	- Condiciones de trabajo	- Ninguno.

PAUTA INADECUADA DE DISEÑO O DE EXPLOTACIÓN	POSIBLES PROBLEMAS EN LA PROPIA OPERACIÓN	POSIBLES PROBLEMAS EN OPERACIONES O ETAPAS POSTERIORES
retención y eliminación de polvo	sanitariamente inadecuadas.	
Compost a tratar de escasa humedad	– Generación de polvo o aerosoles.	– Pérdida de producto final.
Compost a tratar con excesiva humedad	– Atascos en el equipo de recuperación de estructurante. – Mal funcionamiento de algunos equipos de separación de impropios.	– Propiedades inadecuadas del estructurante recuperado, cosa que provocará dificultades en el desarrollo del siguiente ciclo de compostaje. – Mayor volumen generador de rechazo y menor de compost.

4.6. Biofiltración.

4.6.1. Descripción del sistema.

Los procesos de biofiltración se aplican para tratar emisiones de baja concentración de contaminantes biodegradables, caudal regular y composición relativamente homogénea.

El proceso de depuración de gases mediante biofiltración consta generalmente de un pretratamiento de lavado que condiciona el aire a tratar, para alcanzar la temperatura y la humedad óptima para el tratamiento biológico posterior (normalmente gas saturado en humedad y una temperatura máxima de 40 ° C).

El biofiltro está formado por una estructura porosa e inerte que sirve de soporte de los cultivos bacterianos que realizan la depuración. Habitualmente la estructura porosa es una fracción orgánica (pe. material de poda prefermentado, corteza de árboles, turba, etc.).

A medida que el gas atraviesa el lecho filtrante, los contaminantes y nutrientes son incorporados por los microorganismos presentes en el biofiltro que los transforman en compuestos inocuos.



Fuente: BBK <http://bbk.dk/>

Figura nº. 4. Vista general biofiltros cerrados con relleno inorgánico en una planta de tratamiento de RSU



Figura nº. 5. Vista general biofiltro con relleno orgánico

La biofiltración de corrientes gaseosas para su depuración es un tratamiento efectivo para el tratamiento de compuestos orgánicos volátiles (COV) y otras sustancias con significación odorífera (como amoníaco y ácido sulfhídrico) típicamente presentes en las emisiones.

Las principales características de los procesos de biofiltración son las siguientes:

- La biofiltración se produce sobre un lecho fijo filtrante con una superficie microbiológicamente activa en la que se debe controlar la humedad, disponibilidad de nutrientes y el mantenimiento de unas condiciones fisicoquímicas apropiadas, intervalos de pH y temperatura adecuadas, presencia de sustancias tóxicas por debajo de un límite determinado que puedan alterar o inhibir el proceso de biodegradación y la ausencia de partículas y de otras sustancias que puedan disminuir la permeabilidad del medio.
- En la biofiltración se produce la destrucción completa de los contaminantes (es decir, sin transferencia entre fases de la contaminación) presentes en la corriente gaseosa a tratar que circula (en dirección ascendente o descendente) a través de un medio. En este sentido se ha de añadir que el rendimiento de depuración de los biofiltros con biomedios de alta eficacia (p.e. como los de tipo inorgánico modificado) puede ser >95% de la concentración de olor.

Los procesos de biofiltración tiene unos costes de inversión y explotación inferiores a los de las tecnologías de depuración por oxidación, ya sea térmica o catalítica pero su campo de aplicación se centra para los COV's biodegradables y emisiones con concentraciones moderadas de H_2S o NH_3 .

Se ha de señalar que en los sistemas de biofiltración más avanzados el rendimiento del proceso es más eficiente que en los tradicionales, dado que el biofiltro está cerrado para evitar problemas de olores, crecimiento vegetal y un mejor control de la humedad donde el relleno puede tener un soporte inorgánico en lugar de orgánico para evitar el ataque de microorganismos y pierda sus cualidades físicas.

Los biomedios convencionales utilizados en los biofiltros consisten principalmente en mezclas de materiales de origen vegetal (como turba, chips de madera, raíces, corteza, fibra de coco,...) mezcladas en distintas proporciones que inevitablemente empiezan a descomponerse a partir del momento de la propia instalación del biofiltro.

En los sistemas de biofiltración de lecho inorgánico, el medio consiste en una mezcla de un soporte inorgánico (75-80%) y un recubrimiento orgánico (25-20%):

- La parte inorgánica actúa como soporte de elevada resistencia ofreciendo una resistencia mecánica estructural, una mayor porosidad y una capacidad de adsorción de agua superior que los medios orgánicos tradicionales.
- La parte orgánica, por otro lado, proporciona nutrientes, adsorbe diversos contaminantes y optimiza la capacidad de fijación de los microorganismos responsables del proceso de biodegradación en el biofiltro.

Una de las principales ventajas de los sistemas de biofiltración inorgánica es que en ellos se efectúa la inoculación del soporte con microorganismos específicos de origen natural de forma que todos los microorganismos presentes en el medio son específicos por la depuración del aire. No obstante, en los biofiltros de soporte orgánico existen una gran variedad de microorganismos, así entonces la densidad de los microorganismos

responsables de la depuración es inferior a la de los biofiltros de soporte inorgánico reduciendo en consecuencia la eficiencia de depuración. Así mismo, la existencia de otros microorganismos acelera el proceso de degradación del lecho y, en consecuencia, el olor intrínseco (emisividad específica) de los biofiltros tradicionales es más elevado que la de los biofiltros de lecho inorgánico.

A continuación se presenta una tabla resumen comparativa de los biomedios de tipo orgánico o de tipo inorgánico.

Característica	Soportes orgánicos	Soportes inorgánicos modificados
Origen/forma de producción	Natural	Producto biotecnológico
Resistencia mecánica estructural	Baja – Media	Alta
Área superficial	Baja	Alta
Homogeneidad de distribución del lecho	Media	Alta
Homogeneidad humidificación del lecho	Media	Alta
Capacidad de adsorción de contaminantes frente a oscilaciones bruscas de la carga a tratar	Baja	Alta
Esterilización previa del medio	No	Sí
Origen de los microorganismos	Natural Efluentes de infraestructuras de tratamiento ambiental	Natural Seleccionados genéticamente
Concentración de microorganismos	Baja - Media	Alta
Proporción de organismos “útiles” en el biomedio para la degradación de compuestos específicos	Baja - Media	Alta
Inoculación de microorganismos	En el emplazamiento	En origen
Degradación del biomedio	Progresiva desde el inicio del funcionamiento	Nula - Baja
Aportación de olor intrínseco a la emisión final	Media	Bajo
Susceptibilidad de compactación del biomedio	Alta	Baja
Susceptibilidad de aparición de canales preferenciales	Media – Alta	Baja
Eficacia de la depuración	Media – Alta	Alta
Disponibilidad de la eficacia óptima desde el inicio del funcionamiento del biofiltro o tras la renovación del biomedio	Nula (Se requiere período de activación)	Total
Período transcurrido desde que se inicia (o reinicia) el funcionamiento del biofiltro	Semanas – Meses	Días
Capacidad de mantenimiento de la eficacia de depuración a lo largo de la vida útil	Baja – Media	Alta
Robustez de la eficacia frente a variaciones de caudal y/o concentración del gas a tratar	Media – Alta	Alta

Característica	Soportes orgánicos	Soportes inorgánicos modificados
Duración del biomedio	Baja – Media (típicamente 2-5 años)	Alta (típicamente >5 años)
Inversión	Baja – Media	Alta

Respecto a la tabla anterior destacamos dos aspectos que suelen olvidarse en su operativa y que hacen disminuir claramente la eficacia del sistema:

- Mantenimiento de la humedad del medio filtrante: si no se humidifica el gas (hasta su saturación) que pasa a través del biofiltro y/o el biofiltro no se encuentra cubierto el medio se va secando paulatinamente con lo que es necesario estar atento e ir regando el medio.

En este sentido es habitual diseñar los biofiltros incorporando un sistema de riego perimetral que alcance toda el área filtrante y que permita al operador ajustar la humedad del medio para mantener una eficacia de depuración correcta.

Indicar asimismo que un riego excesivo puede disminuir la eficiencia del sistema al taponar los huecos entre el material y disminuir la porosidad.

- La compactación del medio es una situación que desgraciadamente es muy habitual en este tipo de instalaciones sobre todo sin el llenado y mantenimiento del medio no se realiza correctamente.

Normalmente la compactación se detecta porque la altura del medio disminuye

4.6.2. Prestaciones del sistema de biofiltrado

1. Eficiencia de reducción de olor 90-95%, reducción de los COV 50-60%.

- Factores que afectan al funcionamiento: variaciones de temperatura, aparición de canales preferentes en el relleno, presencia de elementos tóxicos NH_3 , H_2S , etc.
- Puede tratar aire p.e. con carga de dos hasta 10.000–20.000 uo/m^3 con una emisión depurada de 500-1.000 uo/m^3 (rendimiento de aprox. 95%).

2. Coste de inversión y de explotación reducido para biofiltros convencionales. Consumo de energía de 100-120 $\text{kWh}_e/100.000 \text{ m}^3$ de aire tratado:

- Coste de inversión: $\pm 0,36-0,48 \times 10^6 \text{ USD} / 100.000 \text{ m}^3/\text{h}$ (captación y tratamiento).
- Coste de operación: $\pm 6,8-9,6 \text{ USD} / 100.000 \text{ m}^3$ (1,13-1,81 USD/t de residuo).

(1 USD = 31,52 pesos uruguayos)

3. Sustitución periódica (3-4 años). Por esto es necesario controlar la emisión de forma continua o semicontinua y disponer de la suficiente flexibilidad en el diseño para

permitir un mantenimiento adecuado. También se han de controlar los principales parámetros del proceso: caudales, temperatura, humedad, pH, etc.

4. Dimensionado para biofiltros convencionales: 100-120 m³ de aire/h m³ de relleno, con una altura de llenado $1 < H < 2\text{m}$.
5. Scrubber previo para la eliminación del amoníaco para prevenir la disminución de la eficacia del biofiltro y la formación de N₂O.

En el caso de la realidad uruguaya y pensando en residuos de origen agropecuario y sobre todo teniendo en cuenta la posible ubicación de las instalaciones de compostaje un biofiltro con relleno convencional tipo orgánico sería más que suficiente para lograr unos ratios de depuración correctos y disminuir los impactos en el medio y el vecindario.

Recordemos al respecto que para que exista un sistema de tratamiento de olores como el descrito, las naves de recepción y/o el sistema de compostaje deben ser cerrados al objeto de poder captar el aire contaminado de esos espacios.

5. TECNOLOGÍAS DE COMPOSTAJE.

En el presente capítulo se describen los principales sistemas de compostaje analizados en el marco del presente estudio, siendo como son tecnologías que se basan en un proceso aerobio donde los microorganismos degradan la materia orgánica presente.

Las tecnologías que se recogen a continuación y como ya se ha indicado, son válidas tanto para el proceso de descomposición como para el de maduración, con las salvedades respecto a la necesidad de aireación

Los procesos de compostaje que se analizan en el presente apartado son:

- Compostaje en pilas (aireadas y no aireadas)
- Túneles de compostaje estáticos y dinámicos.
- Silos estáticos.
- Trincheras dinámicas.
- Tambores de compostaje.
- Naves cerradas con volteo automático.

Las tecnologías de compostaje cerrado, o in-vessel, han tenido un importante crecimiento en los últimos años debido sobre todo a los exigentes requerimientos legislativos existentes sobre la calidad del compost y medioambientales que obligan un estricto control sobre parámetros de proceso y la cantidad de contaminantes en el compost, la ausencia de olores, el grado de acabado del material, etc.

Este crecimiento se ha dado en las instalaciones de tratamiento de la materia orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU) o en la fracción orgánica de recogida selectiva de los RSU (Biowaste), debido sobre todo a la proximidad de este tipo de instalaciones a centros urbanos poblados.

La evolución de los sistemas de compostaje a sistemas cerrados ha representado un avance muy importante en este tipo de tratamientos para poder evitar problemas por generación de malos olores y la reducción de su impacto en el entorno.

En el caso de los residuos de origen agropecuario, la tecnología de pilas volteadas sigue siendo la tecnología más aplicada dada la capacidad de las instalaciones (normalmente de pequeño tamaño y asociadas a explotaciones agropecuarias) y su situación (normalmente alejadas de centros habitados). Sin embargo, cada vez más se están implementando tecnologías de aireación forzada para este tipo de instalaciones, sobre todo si existen limitaciones de espacio, ya que este tipo de tecnologías permite un mejor aprovechamiento de la superficie.

5.1. Tecnologías de compostaje y capacidades de tratamiento.

Las tecnologías de compostaje que se describen en el presente capítulo tienen un rango de aplicación en relación con la capacidad de tratamiento que deba tener la instalación.

En este sentido las tecnologías automatizadas e in-vessel o cerradas, tienen una clara aplicación en capacidades medianas y o grandes (por encima de 10-15.000 t/a de fracción orgánica a compostar) y en función del tipo de fracción (humedad y necesidad de reducción mediante el secado que se produce en el proceso de compostaje, y de la cercanía a núcleos habitados (que implican la necesidad de cerrar el proceso de compostaje para minimizar el impacto de malos olores).

Es necesario indicar que para pequeñas explotaciones agropecuarias, la cantidad de fracciones orgánicas a tratar puede condicionar el tipo de tecnología a seleccionar ya que, en función de los datos recibidos por el consultor, son capacidades que van de los 450 kg/día (aprox. 165 t/año) hasta los 4.000 kg/día (aprox. 1.500 t/año), y por tanto la tecnología a utilizar será básicamente la de pilas volteadas por pala cargadora, volteadora acoplada a tractor (aireadas o no), volteadoras autopropulsadas de baja capacidad, o si la generación de la fracción orgánica resulta muy concentrada en el tiempo (pe. vaciado de camas de galpones) la utilización de silos estáticos aireados.

Todas las demás tecnologías que se describen a continuación se aplican, por si mismas o en combinación de varios sistemas, para mayores capacidades de tratamiento (como se ha mencionado por encima de 10-15.000 t/a).

5.2. Compostaje en pilas (abierto).

Este sistema de compostaje se realiza normalmente **en abierto**, pero existen experiencias en naves cerradas, si bien no son recomendables desde el punto de vista de la seguridad y salud de los trabajadores por el ambiente que se forma en cada volteo como consecuencia del vapor de agua y volátiles que se liberan.

El consultor no recomienda que este sistema se realice en una nave o galpón cerrado para evitar que afecte a la salud de los trabajadores (ambiente insalubre, etc.).

5.2.1. Proceso de volteo.

La tecnología de compostaje en pilas es relativamente simple, es el sistema más económico y el más utilizado, sobre todo en plantas con pequeñas capacidades de tratamiento debido a su sencillez, baja inversión y facilidad de operación.

En este sistema, los materiales tras el proceso de mezcla, se apilan sin comprimirlos en exceso, siendo muy importante la forma y medida de la pila, la cual acaba dependiendo de la maquinaria que vaya a realizar el volteo.

Las medidas óptimas de las pilas oscilan entre 1,2-2 metros de altura, por 2-4 metros de anchura en su base, siendo la longitud variable. La sección tiende a ser trapezoidal, aunque en las zonas muy lluviosas puede ser semicircular para favorecer el drenaje del agua.

Las pilas se airean por convección natural, aunque puedan implementarse sistemas de ventilación forzada sobre todo cuando se tienen que tratar fracciones orgánicas con un gran contenido de humedad (por encima del 70 %). De forma natural y con una correcta porosidad de la mezcla, el aire caliente ascendente desde el centro de la pila crea un vacío parcial que aspira el aire de los laterales. La forma y el tamaño óptimo de la pila depende del tamaño de la partícula, de la humedad, de la porosidad, y de la máquina usada para el volteo.



Font: Backhus www.backhus.com

Figura nº. 6. Volteadoras autopropulsadas en pilas



Font: Soluciones agrícolas y medioambientales <http://www.samsoluciones.es/>

Figura nº. 7. Volteadoras de arrastre

Si las pilas son demasiado grandes (altas), el oxígeno no puede distribuirse adecuadamente en el centro de la pila, mientras que si son demasiado pequeñas, no se auto calientan adecuadamente. El tamaño óptimo varía en función del tipo de material y temperatura ambiente.

Una vez constituida la pila, la gestión principal es el volteo o mezcla con una máquina adecuada (pala cargadora o volteadora).

La frecuencia de volteo o mezcla depende del tipo de residuo, de la humedad y de la rapidez con la que se pretende realizar el proceso, siendo habitual realizar hasta dos volteos a la semana durante la etapa de descomposición y un volteo cada 6-10 días durante la maduración.

Los volteos sirven para homogeneizar la mezcla y su temperatura, con la finalidad de eliminar el exceso de calor, controlar la humedad y aumentar la porosidad de la pila para mejorar la ventilación, además de hacer avanzar el material. Después de cada volteo, la temperatura desciende en un primer momento del orden de 5 o 10 °C, subiendo nuevamente en caso que el proceso no haya acabado.

Normalmente se realizan controles, de forma manual, de temperatura, humedad y oxígeno para determinar el momento óptimo para efectuar el volteo.

El compostaje en pilas es un proceso muy versátil y sencillo, además de necesitar la menor inversión entre todos los procesos de compostaje. Se ha utilizado con éxito para compostar estiércol, restos de poda, lodos y materia orgánica de RSU. El proceso consigue buenos resultados con una amplia variedad de residuos orgánicos y funciona satisfactoriamente mientras que se mantengan unas adecuadas condiciones aerobias y el contenido de humedad.

Actualmente se tiende a realizar este tipo de proceso en naves cubiertas pero no cerradas, para evitar que la lluvia afecte al proceso y pueda controlarse la generación de lixiviados y mejorar así el control de la humedad en la pila y por tanto el avance del proceso.

En el caso de uso de pala cargadora o volteadoras acopladas a la pala cargadora y si la instalación es de pequeña capacidad no resulta imprescindible la implementación de equipos exclusivos para realizar la mezcla pudiendo llevarse a cabo esta operación, como ya se ha indicado en el capítulo de mezcla, con la propia pala o la volteadora.

El principal inconveniente de este sistema es la posible generación y emisión fugitiva de olores, que dependen del residuo a tratar y de la operación de la instalación, siendo este hecho importante cuando la instalación se encuentra cerca de núcleos habitados.

Otro inconveniente del sistema es que los trabajadores están en contacto con el residuo antes de que este haya sido higienizado, con el riesgo consiguiente de contagios.

Dada su simplicidad, el factor humano afecta más a los resultados del mismo, teniendo mucha incidencia la operatividad de la instalación.

En los últimos años, este proceso se va utilizando como complemento de sistemas cerrados de compostaje que se aplican en capacidades medianas, sobretodo en la etapa de maduración (una vez que el material ya está higienizado), realizando el proceso de descomposición con un sistema cerrado o al menos más controlado.

Existen también volteadoras para mesetas o pilas extendidas, donde el espacio entre las tradicionales pilas trapezoidales se ocupa con material formando una meseta que ha de ser volteada de forma lateral (automotriz o acoplada a tractor).



Font: Atica <http://www.aticamaq.com>

Figura nº. 8. Volteadoras de meseta, automotriz y de arrastre

5.2.2. Aireación de pilas de compostaje.

Tal como se ha expuesto en el presente documento se ha ido imponiendo en los últimos años el proceso de airear las pilas compostaje sobre todo en la primera etapa de descomposición por distintos motivos.

Entre los motivos que pueden hacer la aireación de las pilas interesante en Uruguay podemos citar los siguientes:

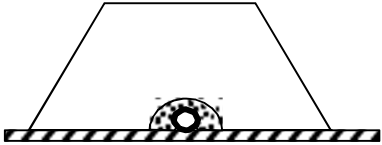
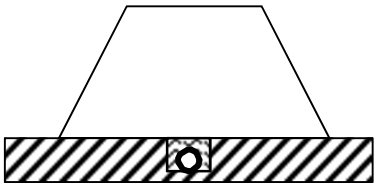
1. Para lograr una buena aireación de la materia orgánica sin aireación forzada las dimensiones de la pila deben de ser reducidas (en torno a 1,5 metro como máximo de altura) de tal manera que el efecto chimenea por convención se produzca de forma más o menos constante y no solo durante el proceso de volteo.
2. Un proceso de aireación forzada permite aumentar la altura y superficie de cada pila con lo que se produce un mayor aprovechamiento del espacio destinado al compostaje.

3. Teniendo en cuenta las recomendaciones que se recogen en el presente informe, la intención de la DINAMA de legislar respecto a la permeabilidad que deberá cumplir la superficie y conociendo el elevado precio por m³ de hormigón en Uruguay (80-100 USD/m² o 6.250 USD/m³ para losas de aproximadamente 15 cm, el cual duplica el precio de España), en instalaciones que consideren el pavimentado del área cualquier reducción de espacio redundará en una importante reducción de la inversión a efectuar.
4. Dada la pluviometría en Uruguay (1.300 mm)¹ frente a la de por ejemplo España (636 mm) es recomendable que los procesos de compostaje, al menos en la primera etapa de descomposición estén bajo cubierta, lo que redunda en la necesidad de reducir los espacios dedicados a esta actividad.

A continuación y en forma de tabla se recogen las soluciones más habituales para implementar una aireación forzada en pilas de compostaje.

¹ Datos Extraídos de
http://datos.bancomundial.org/indicador/AG.LND.PRCP.MM/countries?display=map?cid=EXT_BoletinES_W_EXT

Ficha nº. 5. Ventajas e inconvenientes de los diferentes tipos de solera para ventilación forzada

Alternativa	Ventajas	Inconvenientes/Limitaciones
<p><u>Tubos perforados sobre el pavimento</u></p> 	<ul style="list-style-type: none"> · Es el sistema más simple y económico. 	<ul style="list-style-type: none"> · Es fácil estropear el sistema de tubos (reposición muy frecuente). · Obliga a trabajar con mucho cuidado a la de poner o retirar el material. · Es conveniente retirar el sistema de tubos antes de retirar el material. · No permite distribuciones muy regulares del aire (no es práctico instalar una red muy espesa de tubos). · Hace falta recubrir el sistema de tubos con material estructurante de medida gruesa para evitar que los agujeros de los tubos se taponen y se mejore la distribución de aire. · Existe poca experiencia para usarlo en ventilaciones por aspiración.
<p><u>Tubos perforados en zanjas hechas en el pavimento</u></p> 	<ul style="list-style-type: none"> · Sistema muy simple. · Más difícil de estropear que la anterior. · No se ve afectado por el paso de la maquinaria de volteo siempre que la anchura de las zanjas que contienen los tubos sea inferior a la anchura de las ruedas de la maquinaria, y su profundidad superior al diámetro de los tubos. · No complica las operaciones de carga y descarga. · Fácil limpieza y mantenimiento. · Las zanjas permiten recoger los lixiviados. 	<ul style="list-style-type: none"> · No permite distribuciones de aire muy regulares · Existe poca experiencia para usarlo en ventilaciones por aspiración · Es necesario rellenar las zanjas con material estructurante de medida gruesa para evitar que los agujeros de los tubos se taponen y se mejore la distribución de aire.

Alternativa	Ventajas	Inconvenientes/Limitaciones
<u>Tubos perforados embebidos en un lecho de material grueso y poroso</u>	<ul style="list-style-type: none"> · Sistema muy simple. · Permite distribuciones de aire muy regulares. · Permite la recogida de lixiviados. · Los mantenimientos habituales, rotura de costras, se realizan de manera fácil bajando el brazo de la volteadora. 	<ul style="list-style-type: none"> · Únicamente apto para trincheras volteadas donde el equipo de volteo no está en contacto con la solera · Si el mantenimiento habitual no resulta efectivo, hace falta vaciar las trincheras para hacer un mantenimiento/limpieza manual (operación lenta con gran impacto sobre el régimen de funcionamiento).
<u>Tubos pre-fabricados colocados en el momento de ejecutar el pavimento</u>	<ul style="list-style-type: none"> · Sistema muy simple y de rápida ejecución · Permite distribuciones de aire muy regulares. · Permite recoger lixiviados. · No se ve afectado por el paso de maquinaria. · No complica las operaciones de carga y descarga. · Limpieza y mantenimiento fácil. 	<ul style="list-style-type: none"> · Caro, pero más barato que la alternativa de <i>spigots</i>. · Requiere una ejecución cuidadosa, pero en menor medida que la de <i>spigots</i>.

5.3. Túneles de compostaje (cerrado o in-vessel).

El proceso de compostaje en túneles es un proceso cerrado o in-vessel que ha tenido una gran aplicación en los últimos años (sobre todo para RSU) debido al encapsulamiento del proceso lo que permite realizar un buen control de las emisiones de olores y poder instalarlas en las proximidades de núcleos habitados.

Los túneles son unas construcciones realizadas en hormigón de planta rectangular y una altura habitual de 5 metros, donde se introduce el material a compostar hasta una altura máxima aproximada de 2,5 metros con lo que se tiene un mayor aprovechamiento del espacio.

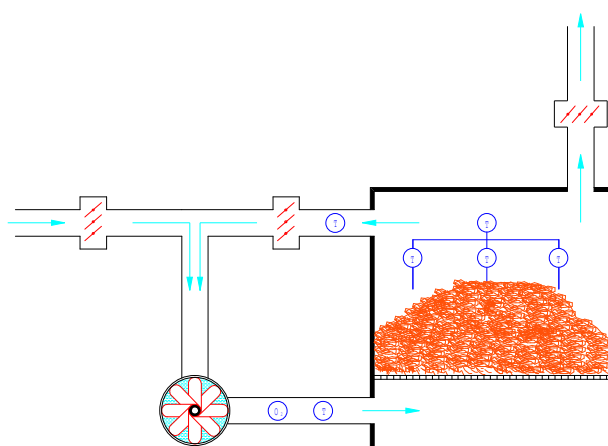


Figura nº. 9. Esquema túnel de compostaje

Los túneles pueden ser estáticos o dinámicos, siendo estos últimos completamente automáticos en su carga, volteo y descarga. Los túneles dinámicos, suelen aplicarse para grandes capacidades de tratamiento debido a que la inversión a realizar es muy importante. En los túneles estáticos, la carga y descarga del material se realiza mediante una pala cargadora.

Este tipo de tecnología tiene su origen en el cultivo de champiñones y se ha logrado un gran número de referencias en el compostaje de materia orgánica de recogida selectiva o de materia orgánica de los RSU en toda Europa principalmente por ser la tecnología in-vessel más económica para capacidades medias y pequeñas (≤ 30.000 t/a) y el control sobre la generación de olores que permite su ubicación en las cercanías de núcleos habitados.



Figura nº. 10. Zona de carga y descarga de túneles de compostaje

Los túneles suelen agruparse en un número mínimo de 6 (para cubrir 6 días de trabajo a la semana) y con tiempos de permanencia mínimos de 2 semanas para la descomposición (es recomendable subir este plazo a 3 semanas como mínimo).

Durante las primeras etapas del proceso la temperatura de la masa a compostar sube de manera importante llegando a alcanzar y en ocasiones superar los 70 °C lo que facilita la higienización del material.

Una vez en el interior del túnel, este se cierra y empieza el proceso de aireación forzada hasta conseguir la madurez del producto requerido. Debido a que el proceso de aireación se realiza en toda la longitud del túnel, existe una cierta limitación en cuanto a la longitud total del mismo, debido a las pérdidas de carga que se producen. Las longitudes máximas se establecen alrededor de los 30-35 metros.

Asimismo, la altura del material dentro del túnel viene limitada por la pérdida de carga que los ventiladores pueden vencer teniéndose valores máximos de pérdida de carga en los ventiladores que se utilizan en torno a los 3.000 Pa equivalentes a aproximadamente 2,5 metros de altura de material dentro del túnel. Mayores alturas y por tanto, mayores pérdidas de carga significan mayor consumo eléctrico además de dificultad en que todo el material esté en condiciones de aireación pudiendo formarse bolsas anaerobias.

Durante todo el tiempo (las mencionadas 2-3 semanas) que dura el proceso es aconsejable extraer el material de los túneles para proceder a removerlo y mejorar así el proceso de compostaje evitando por ejemplo la formación de bolsas de fermentación anaerobia. Asimismo, una buena mezcla antes de la alimentación de los túneles es también recomendable.

Cuando ha terminado el proceso, se extrae el material del interior del túnel mediante una pala cargadora y se dirige al proceso de maduración, el cual puede desarrollarse también en túneles o en otro sistema, y tras madurar el material se dirige al afino de compost. Normalmente, la maduración se realiza en pilas volteadas al objeto de reducir la inversión a efectuar.

Todo el aire extraído de la aireación de los túneles es captado y tratado en un sistema de depuración de olores.

La principal ventaja del sistema es que el residuo no está en contacto con los trabajadores durante su degradación, mejorando así las condiciones de seguridad y salud.

El sistema es modular, muy flexible y versátil, aunque tiene un consumo eléctrico significativo si se compara con sistemas de pilas sin airear o incluso de pilas aireadas ya que se busca una mayor altura de apilamiento dentro de los túneles y por tanto de mayor pérdida de carga.

El principal inconveniente en el caso de los túneles estáticos es que el residuo no se mueve ni se homogeneiza en el interior del túnel requiriéndose, por tanto, equipos adicionales de mezcla con el material vegetal estructurante antes de su introducción en los túneles y/o extraer el material tras un periodo en el interior de los mismos para proceder a su homogeneización y mezcla antes de seguir con el proceso.

Frente a los túneles estáticos el túnel dinámico incorpora una volteadora que se va desplazando por delante de la puerta de carga de los túneles, entra dentro de ellos y se desplaza sobre unos railes para remover el material que se encuentra en el interior.

Incorporar este sistema de volteo incrementa significativamente la inversión a realizar y las referencias de este sistema son mínimas y en todo caso para grandes capacidades.

Además de las ventajas del confinamiento de olores y lixiviados en los túneles estáticos tradicionales, los túneles dinámicos permiten además un mayor control de los procesos y evitan el contacto del personal con los residuos durante los procesos de carga y descarga.



Figura nº. 11. Túneles dinámicos zona de entrada de la volteadora

5.4. Tambores de compostaje por cargas (cerrado o in-vessel).

El proceso de compostaje en tambores por cargas es muy similar conceptualmente al de túneles, sustituyendo el elemento de obra civil (el túnel) por un elemento de calderería metálica (tambor de compostaje). Es por tanto un sistema cerrado.

Dado que el tambor es un elemento metálico las capacidades por unidad (son menores que los túneles debido a la inversión que significa por unidad y la diferencia de precio entre trabajar con hormigón o acero, llegando a capacidades de como máximo unas 2.000 t/año por tambor (incluyendo el material estructurante que sea necesario).

Para lograr dicha capacidad el residuo se encuentra dentro del tambor un máximo de 1 semana (al objeto de reducir el volumen de tambores) tras la cual normalmente el sistema se completa con un suelo aireado y/o unas pilas volteadas.

El proceso tiene lugar en un tambor de rotación lenta. Están contruidos en acero y la mayoría de ellos incorporan aislamiento térmico (principalmente, en los países centroeuropeos y nórdicos). Incorporan aireación forzada y extracción del aire introducido para su tratamiento posterior.

Las etapas previas a la alimentación del residuo al tambor ya se han descrito en el presente documento y son similares al resto de tecnologías de compostaje, como diferencias significativas respecto otras tecnologías se pueden citar las siguientes:

- El tambor gira a una velocidad lenta (hasta 10 rpm) lo que hace que el residuo tenga una mezcla y homogeneización superior a los procesos estáticos y hace que la mezcla previa necesite ser menos intensiva.
- El tambor no suele incorporar salida de lixiviados ni sistema de riego con lo que es necesario tener este aspecto en cuenta cuando se realiza la mezcla previa para evitar o exceso de humedad que dificulte y llegue a impedir la correcta aireación o un defecto de humedad que inhiba el proceso.
- Es necesaria la adición de material estructural aunque el proceso sea dinámico debido a la no extracción de lixiviados del tambor. El agua por tanto solo se elimina por arrastre con el aire de salida.
- Al ser un proceso dinámico el material se disgrega en mayor medida lo que facilita y mejora el proceso de separación de elementos impropios entre descomposición y maduración.
- Es un proceso que por la capacidad de cada elemento y el importe económico que significa suele usarse únicamente en la etapa de descomposición.
- El sistema es modular, muy flexible y versátil y tiene un consumo eléctrico relativamente bajo.
- Con materiales con elevada humedad ($\geq 60\%$) el sistema tiene problemas para absorber la humedad del residuo teniendo que añadir material absorbente que no genere terrones con el residuo (por ejemplo papel). Esta situación ha sido comprobada con residuo orgánico de recogida selectiva.



Font: Tirme www.tirme.com

Figura nº. 12. Tambores de compostaje por cargas

El principal inconveniente es la inversión que resulta superior a los otros tipos de sistemas cerrados, siendo más adecuado para pequeñas capacidades de tratamiento.

Adicionalmente su uso con materiales con una elevada humedad no se recomienda lo que prácticamente lo descarta para una gran cantidad de fracciones orgánicas.

5.5. Tambor de compostaje en continuo (cerrado o in-vessel).

Es un sistema de compostaje cerrado al menos en la etapa de descomposición.

Los tambores de compostaje en continuo **no son propiamente una tecnología de compostaje** sino más bien un proceso previo que acondiciona la fracción orgánica para que el proceso posterior de compostaje se desarrolle de una manera más eficaz sobre todo cuando se trata de residuos muy heterogéneos como los RSU.

Así, el periodo de residencia del residuo entre su entrada y su salida es como máximo de 72 horas, lo que no permite que se llegue a temperaturas de higienización pero si permite que el residuo pierda parte de su humedad, se deshebre y se homogenice favoreciendo así el posterior tratamiento.

La fracción resto posee una gran cantidad de papel-cartón sucio (mezclado con plástico film principalmente), que convenientemente seleccionado puede ser un buen complemento para procesos de fermentación, ya que aporta carbono y hace más estable la biología por las propiedades "tampón", así el mejor sistema de selección de este papel dentro del flujo con plástico film y otros elementos de parecidas densidades, es utilizar tambor de compostaje en continuo, el cual es un reactor metálico horizontal de aproximadamente 4 m de diámetro y de longitud variable pero en torno a los 30 hasta 40 metros de giro continuo.

En este birreactor se combina el desmenuzamiento de los residuos por la acción mecánica con la degradación biológica de la fermentación aerobia, así el material resultante de este proceso es cribado a tamaño inferior a 40-60 mm, obteniéndose en el pasante la práctica totalidad del material biodegradable, que como hemos comentado proviene principalmente de la materia orgánica propiamente dicha y del papel-cartón sucio. Este material biodegradable es alimentado al sistema de compostaje propiamente dicho.

En el interior disponen de pletinas rigidizadoras longitudinales, donde se almacena la materia biodegradable formando una capa compacta de materia orgánica que constituye un excelente caldo de cultivo para la actividad microbiana.

Una vez introducido el material en el biorreactor (en el caso de los RSU habiendo retirado los elementos voluminosos para proteger el equipo) y como consecuencia de su movimiento rotativo, la materia orgánica y biodegradable toma contacto con la colonia bacteriana existente, iniciándose de esta forma el proceso de fermentación,

El movimiento rotativo del biorreactor hace que se vayan desmenuzando los residuos, al mismo tiempo que los microorganismos van degradando el papel, los restos de comida y otros materiales orgánicos.

La calidad del material orgánico obtenido dependerá de los siguientes factores:

- La temperatura es un factor importante en todo proceso de fermentación biológica; una baja temperatura retarda el proceso biológico y una alta temperatura lo acelera.
- El calentamiento del proceso es obtenido y mantenido por los microorganismos que digieren y descomponen los elementos aglutinantes en la mezcla. Una vez el proceso ha comenzado, en unas pocas horas la temperatura sube hasta los 50°C.
- La actividad microbiana exige unos mínimos y unos máximos de humedad para que puedan desarrollarse; unos contenidos de humedad comprendidos entre 30% y 65% permiten una buena fermentación; un contenido superior al 65 % inhibe el proceso por falta de porosidad y de aireación.

Las fases fundamentales de la fermentación aerobia en el biorreactor son:

a) Aclimatación.

Es decir, preparar adecuadamente el material bruto de entrada para conseguir una degradación biológica continua y rápida.

b) Inoculación.

La inoculación es totalmente natural y se debe a un residuo cargado de microorganismos. Las paredes interiores del biorreactor se forran con una capa orgánica que transfiere los cultivos a través de un contacto de la masa continuo y repetido. Por último, la entrada de aire en contra corriente al flujo de la masa transfiere igualmente parte de los cultivos microbianos al material de entrada.

c) Homogeneización de la mezcla.

La homogeneización del producto bruto es fundamental al tratarse de una mezcla de gran variedad en composición, y se consigue con el giro continuo de los biorreactores.

d) Reducción del tamaño de partícula sin trituración.

La fracción orgánica se reduce a una especie de pulpa quedando el resto de los materiales intactos, lo que permite alcanzar un grado de eficacia de separación posterior de materiales potencialmente reciclables superior.

e) Rápida transformación de los productos orgánicos fácilmente degradables.

Con esta degradación se reduce drásticamente el problema de malos olores.



Font: Vinci <http://www.vinci-environnement.com/>

Figura nº. 13. Tambores de compostaje en continuo

5.6. Compostaje en nave cerrada con volteo automático (cerrado o in vessel).

El proceso (habitualmente la descomposición pero en ocasiones descomposición y maduración) tiene lugar en una nave cerrada. La ventilación se realiza mediante una losa de aireación (por donde se inyecta o aspira el aire) y/o con ayuda de diferentes tipos de unidades mecánicas rotativas (rotopalas, tornillos o volteadoras sobre carro) completamente automatizadas.

El proceso se desarrolla en el interior de una nave cerrada donde se alimenta el residuo y se deposita junto con el material estructural previamente mezclados formando una meseta con una altura máxima aproximada de 2,5 metros.

Una volteadora montada sobre un puente grúa se encarga de hacer avanzar y mover el material hasta que se alcance el tiempo de permanencia requerido en la nave, momento en el que el material se extrae de manera automática mediante un sistema de cintas transportadoras.

El proceso de distribución del material, movimiento y avance del material a tratar se realiza de manera completamente automática.



Font: TaimWeser <http://www.taimweser.com/unidades-Negocio.aspx?id=10>

Figura nº. 14. Volteadora sobre carro, detalle y esquema

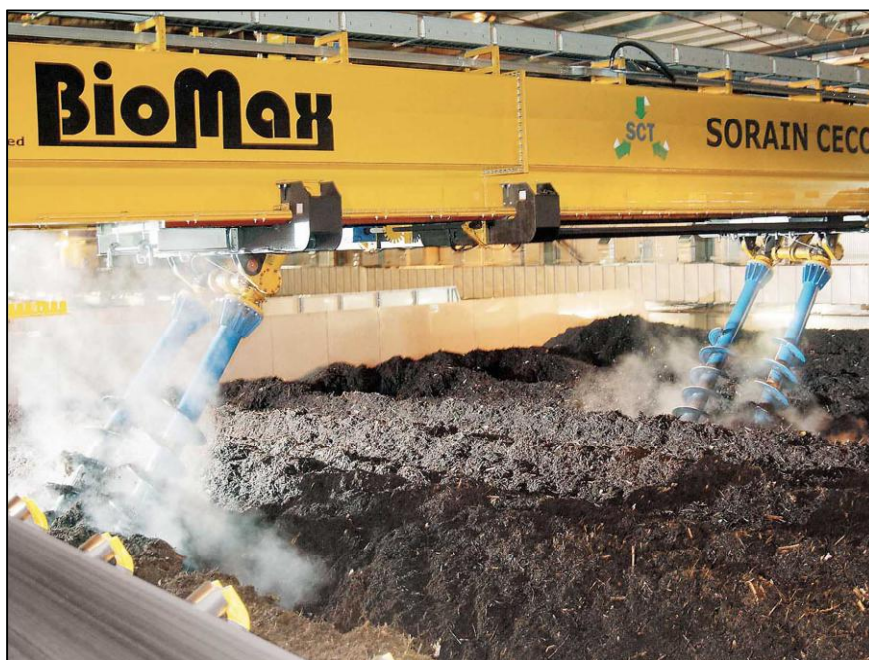
En las primeras etapas del proceso, el material además es aireado mediante ventiladores que usualmente aspiran aire de la nave y lo hacen circular a través del material a compostar.

El proceso de aireación puede realizarse también por impulsión de aire (que supone un mejor control sobre la pérdida de carga a vencer) pero no suele ser habitual debido a que se incrementa el aire total a tratar.

El proceso es completamente automático también lo referente al control de los parámetros de proceso (control de temperatura y oxígeno) y el sistema de inyección de agua y recogida de lixiviados.

Todo el aire extraído del proceso, así como de renovación de la nave se capta y trata en un sistema de depuración de olores.

Este sistema se ha desarrollado específicamente para elevadas capacidades de tratamiento (por encima de las 30.000 t/a), ya que así se compensa la fuerte inversión que supone el equipamiento de puente-grúa y volteo automático.



Font Sorain Cecchini Tecno <http://www.sctecno.com/es/realizaciones/index.htm>

Figura nº. 15. Tornillos sobre carro

Este tipo de tecnología se ha utilizado mucho en Europa por su robustez para el tratamiento de la materia orgánica presente en los RSU obteniendo lo que comúnmente se denomina bioestabilizado (no es compost al no provenir de materia orgánica de recogida selectiva).

En los últimos años, y dado el incremento de los sistemas de recogida selectiva en Europa se han retirado de los RSU fracciones como plásticos rígidos, metales, etc., que ejercían una función de material estructurante en la materia orgánica separadas por cribado (tamaños entre 80-100 mm). Este hecho ha tenido la consecuencia de que la porosidad en la fracción orgánica separada haya disminuido y por tanto se estén produciendo situaciones de incorrecta aireación de la masa a compostar o estabilizar.

En cuanto a su posible aplicación para residuos agropecuarios existen desarrollos con menor robustez y alturas del material a compostar menores que permiten automatizar plantas de compostaje de capacidades medianas y grandes, aunque en esos casos, en ocasiones suele dejarse la nave abierta para reducir la inversión.

Esto puede llevarse a cabo debido a las ubicaciones de este tipo de plantas para residuos agro-pecuarios que suelen estar ubicadas lejos de núcleos urbanos.



Font: Avesuy <http://www.avesuy.com.br/>

Figura nº. 16. Volteadora sobre carro residuos agropecuarios

5.7. Silos estáticos (abierto).

El sistema es abierto, si bien los silos pueden cubrirse con una tela tipo goretex o ubicarse en el interior de una nave cerrada.

Los silos de compostaje se asemejan a los ya comentados túneles de compostaje con la diferencia que el sistema no es del todo cerrado, dejando abierto el túnel en su parte superior y en la zona de carga donde no existe puerta, pero se mantiene el proceso de aireación forzada aunque se elimina la recirculación de aire.

Por tanto, este sistema al eliminar partes del suministro se considera algo más económico que el de túneles manteniendo la misma flexibilidad y modularidad.

El material a tratar se carga en el interior del silo mediante una pala cargadora. Las dimensiones de los silos son variables y ajustables a la capacidad de tratamiento, manteniendo un tiempo entre el comienzo de su carga y la carga completa de 2-3 días para evitar que el residuo se acidifique y se comprometa el proceso de inicio.

Habitualmente el ventilador del silo funciona periódicamente con el fin de evitar procesos de anaerobiosis en el material.

Para evitar emisiones de olor durante esta fase debido a la ventilación del material, se puede ir cubriendo el material con la lona tipo goretex según este sea depositado en el interior del silo, aunque existen referencias sin cubrición.

En el caso de tapar con lona esta es fijada en las paredes laterales y en los extremos anterior y posterior con el fin de evitar fugas de olores durante el proceso.

Una vez cargado el silo se inicia el ciclo de descomposición a través del sistema de control.

Una vez finalizado el ciclo de descomposición en el silo (2-3 semanas), se retira la lona (en caso de existir) y se vacía el silo mediante pala cargadora.

La solera del silo incorpora un sistema de conductos para la aireación de la masa a compostar con soluciones variadas como ya se ha expuesto en el presente documento pero generalmente se embeben en el hormigón para facilitar el tránsito por encima de la pala cargadora sin que se rompan los tubos.

En cuanto a los lixiviados estos se recogen generalmente en el lado de carga del silo por lo que se le da una ligera pendiente a la losa de aireación del silo.

Dentro de las tecnologías de compostaje que se exponen en el presente documento, ésta junto con las de pilas volteadas son las que a priori tienen una mayor aplicación para residuos agropecuarios en Uruguay por su sencillez y modularidad.



Font: Masias <http://masiasrecycling.com/>

Figura nº. 17. Silo estático con cubierta de lona



Figura nº. 18. Silo estático sin cubierta de lona y detalle de canalizaciones de aireación

5.8. Trincheras dinámicas (cerrado o in-vessel).

El sistema puede ser abierto o cerrado, normalmente se ubica en el interior de una nave y el mayor número de referencias son cerradas.

El proceso de compostaje en trincheras con volteadora es un sistema dinámico que puede además cerrarse y donde existe un control de la inyección y extracción de aire y lixiviados.

Como consecuencia del volteo intensivo la necesidad de aireación mediante ventiladores es menor respecto a otros sistemas y, por tanto, es menor el consumo eléctrico.

El sistema consiste en unos canales formados por muros de hormigón paralelos entre sí de unos 3,5-4,5 metros de altura, por los que se hace avanzar el residuo a lo largo del canal o trinchera con la volteadora mientras se airea el material y cuando no pasa la volteadora mediante una ventilación forzada (aspiración habitualmente pero puede ser impulsión de aire).

Cada volteadora está constituida esencialmente por un carro principal que se desplaza sobre raíles situados sobre la coronación de los muros de hormigón. Sobre este carro va montada una banda metálica abatible que realiza el fresado del cúmulo desde la zona final de descarga hasta la zona inicial de carga de cada trinchera. Esta operación permite la translación del producto hasta la salida y la completa oxigenación y mezcla de los materiales.

La volteadora disgrega, voltea y transfiere los residuos, incluso en condiciones de elevada humedad de los materiales, permitiendo una completa mezcla y oxidación para activar el proceso biológico para la estabilización.

El carro auxiliar, situado en el inicio y desplazable en dirección perpendicular a las trincheras, permite el desplazamiento de la volteadora de una trinchera a otra. En el interior del carro va montada una tolva, que permite lanzar el producto maduro desde la volteadora a una cinta para su evacuación definitiva.



Font: www.tirme.com

Figura nº. 19. Trinchera dinámica con volteadora en nave abierta

6. COMPARATIVA DE TECNOLOGÍAS DE COMPOSTAJE.

En el presente capítulo se comparan las tecnologías de compostaje en relación con su aplicabilidad en Uruguay y teniendo en cuenta la comparativa solicitada en los términos de referencia donde se solicitan parámetros operativos.

Adicionalmente en el Anexo I de este documento se recogen para todas las tecnologías analizadas y para una capacidad de tratamiento de 20.000 t/a los rangos de los principales costes operativos además de otros aspectos en relación con los procesos.

6.1. Comparativa subjetiva.

En la siguiente tabla se comparan las distintas tecnologías de compostaje que se han recogido en el presente documento exclusivamente desde el punto del compostaje.

Ficha nº. 6. Comparativa cualitativa tecnologías de compostaje

	Pilas estáticas aireadas	Pilas volteadas aireadas	Pilas o trincheras estáticas con cubierta geotextil	Trincheras estáticas	Trincheras dinámicas	Túneles estáticos	Nave cerrada con volteadora sobre carro (RSU)	Nave abierta con volteadora sobre carro (agro)	Tambores o reactores rotativos
Control de olores	Por impulsión: sin control	Por impulsión: sin control	Bueno	Por impulsión: sin control	Por impulsión: sin control	Completo (pero requiere sistemas complejos)	Bueno (pero requiere sistemas complejos)	Bueno (pero requiere sistemas complejos)	Completo (pero requiere sistemas complejos)
	Por aspiración: bueno	Por aspiración: bueno		Por aspiración: bueno	Por aspiración: bueno				
Facilidad de mantenimiento de la humedad	Difícil que sea homogénea	Fácil y homogénea	Fácil ¹	Difícil que sea homogénea	Fácil y homogénea	Difícil que sea homogénea	Fácil y homogénea	Fácil y homogénea	Fácil y homogénea
Requerimientos tecnológicos	Bajos	Muchas alternativas	Pocas alternativas	Bajos	Pocas alternativas	Muchas alternativas	Muchas alternativas	Pocas alternativas ²	Pocas alternativas
Dependencia tecnológica	Baja	Media	Baja	Baja	Media	Alta	Alta	Media	Alta
Ventilación por aspiración o impulsión	Ambos	Ambos	Impulsión	Ambos	Ambos	Ambos	Ambos	Ambos	Ambos
Coste energético del volteo	Nulo	Medio	Nulo	Nulo	Alto	Nulo	Alto	Alto	Medio ³
Coste energético de ventilación ³	variable	variable	Bajo	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto	Medio
Requerimiento de volteadora ⁵	No	Si	No	No	Si	No	Si	Si	Si ⁴
Modularidad del proceso	No	No	Si/No ⁶	Si	Si	Si	No	No	Si
Flexibilidad ante cambios entradas ⁷	Bajo	Bajo	Bajo	Posible ⁸	Posible ⁸	Posible ⁸	Posible ⁸	Posible ⁸	Bajo
Necesidad de personal	Bajo	Alto	Medio	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Seguridad y salud	Bajo	Bajo	Medio	Bajo	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Alto

¹ Normalmente la humedad se mantiene de manera espontánea.

² Para residuos agrarios la solución es más sencilla pero existen menos proveedores a nivel internacional

³ Solo se considera la ventilación para el proceso, no para el tratamiento del aire y la renovación de la atmósfera de la nave, si ésta es cerrada.

⁴ Para el proceso de maduración tras el tambor es recomendable el uso del volteo

⁵ Las alternativas que no requieren volteadora, necesitarán un equipo de homogeneización cuando deban tratarse residuos sólidos urbanos o una mezcla de materiales.

⁶ Las pilas no son modulares, las trincheras si.

⁷ Sin modificar el tiempo de proceso.

⁸ Variando la altura del apilamiento.

6.2. Comparativa cuantitativa de tecnologías de compostaje para la realidad uruguaya.

Para establecer una comparativa cuantitativa de las tecnologías de compostaje para el Uruguay es importante tener en cuenta algunos aspectos relacionados con el país y el origen de los residuos a tratar, las cuales se exponen a continuación en una lista no exhaustiva.

- Pluviometría significativa en el país lo que condiciona las instalaciones y hace que se recomiende que al menos en sus primeras etapas (recepción residuos, mezcla y descomposición) sean cubiertas al objeto de generar menos cantidad de lixiviados pero también para que el proceso de compostaje no se vea retrasado o afectado por la lluvia.
- El tamaño de las instalaciones agropecuarias, y por tanto, las cantidades de residuos orgánicos a tratar tienen una gran importancia en la elección de la tecnología de compostaje sobre todo en lo que se refiere a pequeñas instalaciones (< 10.000 t/a) debido a la importante repercusión que puede tener la inversión a realizar para una explotación de este tipo.
- La humedad en muchas de las fracciones orgánicas a tratar es elevada (por encima del 70 %) lo que condiciona la etapa de descomposición para poder reducir ese contenido de humedad y la necesidad de añadir cantidades importantes de material estructurante lo que incrementa la capacidad de la instalación y los costes operativos.

Por este motivo en la tabla que se adjunta se ha tenido en cuenta lo expuesto de tal manera que se divide la tabla en dos partes diferenciadas, en la primera de ellas se consideran instalaciones menores de 10.000 t/a con las tecnologías de mayor aplicación (volteadora con tractor, volteadora autopropulsada y silos estáticos aireados), mientras que para mayores capacidades se han considerado todas las tecnologías que se analizan en el presente estudio.

Adicionalmente las tecnologías consideradas lo son únicamente en la etapa de descomposición que es la de mayor influencia en la generación de malos olores, y es en la que se puede intervenir de una manera significativa para reducir la humedad del material a tratar. Para la etapa de maduración en plantas de capacidad mediana o grande se ha considerado que se realiza en pilas volteadas en nave cubierta.

Por otra parte, en las plantas con capacidad inferior a 10.000 t/a se ha considerado el renting de parte de la maquinaria ya que no compensa realizar una inversión tan significativa para dicha capacidad (equipos en renting: chipeadora, zaranda rotativa móvil de afino).

Por lo expuesto, la comparativa debe hacerse para capacidades idénticas y/o similares dado que en otros casos se recomienda disponer de equipamiento mediante renting o alquiler.

	Capacidad de tratamiento hasta 10.000 t/año		
	Tecnología considerada		
	Tractor y volteadora	Volteadora Autopropulsada	Silos Estáticos
Umbral mínimo de residuo (t/a)	N/A	N/A	N/A
Umbral máximo de residuo (t/a)	10.000	30.000	30.000
Capacidad de tratamiento considerada para cálculos (t/año)	5.000	10.000	10.000
Superficie playa de descomposición m2/m3	1,25 - 2	1,25 - 1,75	0,35 - 0,40
Reducción volumen material en descomposición	30 - 40 %	30 - 40 %	30 -40 %
Superficie playa maduración m2/m3	1,25 - 2	1,25 - 1,75	0,35 - 0,40
Duración total del proceso (semanas; Descomposición+Maduración)	4 + 10	4 + 10	4 + 9
Coste operativo USD/t entrada	7,5 -8,5	2,5-3,25	3-4
Inversión USD/t entrada	45-50	50-60	20-25

	Capacidad de tratamiento de entrada superior a 10.000 t/a						
	Tecnología considerada						
	Volteadora Autopropulsada	Túneles	Tambor en cargas	Tambor en continuo	Silos estáticos	Trincheras dinámicas	Volteadora en puente grua
Umbral mínimo de residuo (t/a)	N/A	15.000	N/A	N/A	N/A	25.000	25.000
Umbral máximo de residuo (t/a)	30.000	30.000	10.000	N/A	30.000	75.000	75.000
Capacidad de tratamiento considerada para cálculos (t/año)	15.000	25.000	10.000	25.000	25.000	40.000	40.000
Superficie playa de descomposición m2/m3	1,25 - 1,75	0,35 - 0,40	0,65 - 0,75	0,5	0,35 - 0,40	0,35 - 0,40	0,35 - 0,40
Reducción volumen material en descomposición	30 - 40 %	30 -40 %	35 - 30 %	10 - 15%	30 -40 %	35 -40 %	35 -40 %
Superficie playa maduración m2/m3	1,25 - 1,75	0,35 - 0,40	1,25 - 2	1,25 - 2	0,35 - 0,40	0,35 - 0,40	0,35 - 0,40
Duración total del proceso (semanas; Descomposición+Maduración)	4 + 10	4 + 9	1 + 12	2 d + 12	4 + 9	3 + 9	3 + 9
Coste operativo USD/t entrada	2-2,5	3-3,5	6-7	2,5-3	4,5-5	4-4,5	6-6,5
Inversión USD/t entrada	55-60	30-35	75-80	40-45	30-35	30-35	30-35

Ficha nº. 7. Comparativa cuantitativa tecnologías de compostaje

6.3. Parámetros de control en plantas de compostaje.

Se recogen a continuación los controles más habituales que se realizan en las distintas etapas del proceso de compostaje en una planta estándar.

Los parámetros que se recogen a continuación no incluyen los de caracterización del compost que pueda establecer la legislación que se implemente en la temática.

	PARÁMETRO A CONTROLAR	METODOLOGÍA DE CONTROL
Recepción MO y FV	Tipología de residuos	visual
	Humedad residuos	visual/determinación periódica
	Elementos extraños	visual/caracterización periódica
	Residuos extraños y/o peligrosos	visual/caracterización periódica
	Generación de lixiviados	visual
	pH lixiviados en la descarga	determinación periódica
Mezcla	Mezcla adecuada (volumenes correctos)	visual
	Porosidad	visual
Descomposición	Temperatura	determinación periódica o en continuo
	Tiempo de permanencia	control periódico
	Trazabilidad pilas	control periódico
	O2 consumido	determinación periódica o en continuo
	Higienización	indirecto a través de temperatura medida
Eliminación impropios	Presencia contaminantes antes/despues	visual
Maduración	Temperatura	determinación periódica o en continuo
	Tiempo de permanencia	control periódico
	Trazabilidad pilas	control periódico
	O2 consumido	determinación periódica
	Higienización	indirecto a través de temperatura medida
Afino de compost	Presencia contaminantes antes/despues	visual
	Limpieza del estructurante retirado	visual
Biofiltro	Compactación relleno	determinación periódica altura relleno
	Temperatura	determinación periódica o en continuo
	Olores	determinaciones cualitativas/cuantitativas periodicas

Ficha nº. 8. Parámetros de control operativo planta de compostaje

7. PREPARACIÓN DE ABONOS ÓRGANO MINERALES.

Tras la preparación de la fracción orgánica a partir de los residuos agro industriales se describe a continuación los procesos más habituales para su obtención.

Fundamentalmente existen tres maneras de incorporar los elementos minerales a una matriz orgánica, que se citan a continuación por orden de complejidad.

1. Caso 1: Molienda de las fracciones orgánica y mineral, dosificación y mezcla en polvo.
2. Caso 2: Molienda de las fracciones orgánica y mineral, dosificación, mezcla y pelletización.
3. Caso 3: Molienda de las fracciones orgánica y mineral, dosificación, mezcla y granulación automatizados (a gran y pequeña escala).

En relación con la competencia que este tipo de abonos tienen con los abonos minerales, además del precio, debe indicarse como factor muy importante la forma de aplicar en el campo el abono mineral lo que hace que el proceso de granulación sea muy importante para obtener un abono orgánico mineral en igualdad de condiciones, de modo que pueda utilizarse la misma maquinaria que el agricultor viene empleando para la aplicación de abonos minerales, evitando así una barrera más en su utilización.

En la página siguiente se muestra un diagrama donde se recogen los tres casos indicados anteriormente.

En el esquema puede verse que la preparación de la fracción orgánica es una etapa que debe existir en cualquier caso y se correspondería con el compostaje descrito en el presente estudio.

Una vez conseguida acondicionada la fracción orgánica se añaden, mezclan y procesan las distintas aportaciones minerales en función del tipo de abono órganomineral que se pretende obtener.

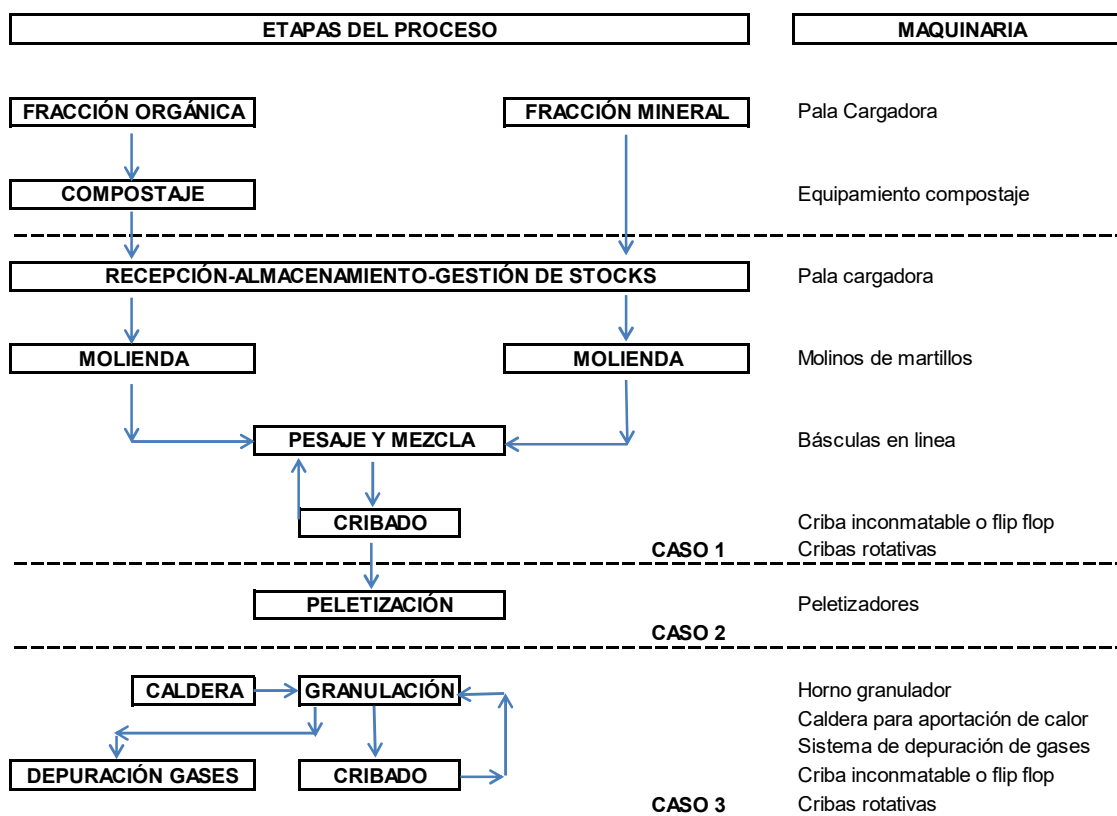


Figura nº. 20. Esquema casos fabricación abonos órgano minerales

Como se deriva de la figura anterior la complejidad del proceso aumenta conforme se pretende preparar el producto en una forma que resulte más sencilla su aplicación sobre el terreno (peletización o granulación) lo que incrementa la complejidad del proceso, la inversión a realizar y los costes operativos, si bien también se añade valor al producto y puede comercializarse a precios superiores.

7.1. Caso 1: Molienda, mezcla y producto en polvo.

Molienda

La manera más sencilla de realizar un abono órgano-mineral es proceder a la molienda de las dos fracciones a mezclar (orgánica y mineral).

Para la molienda se utilizan habitualmente molinos de martillos. Los molinos de martillos trabajan mediante la trituración de los elementos que le son introducidos a través de su sistema de alimentación por medio de una serie de martillos dispuestos en la cámara de trituración.

La fuerza de trituración reside en un motor que impulsa los martillos para aplastar con alta velocidad, tanto de presión como de rotación. Cuando se introducen los elementos que se quiere triturar a través del sistema de alimentación, estos caen en el área de trituración donde ya se encuentran en movimiento los martillos.

Los martillos del área de trituración están colocados sobre un rotor. Este rotor va a aumentar o reducir la velocidad de su giro para que los martillos lleven a cabo la trituración. También puede variar el sentido en el que gira el rotor para asegurar una mejor calidad de trituración de los materiales.

Dependiendo del grado de trituración que se desee, los martillos se moverán con mayor o menor velocidad. Cuando el material triturado alcanza el tamaño requerido entonces es descargado, mientras que los materiales de mayor tamaño se recuperan, son llevados nuevamente al área de trituración donde los martillos se encargan de lograr el tamaño requerido para que también puedan ser liberados.

Adicionalmente el molino de martillos puede incorporar en su base una criba de tal manera que se ajusta el tamaño de salida tanto de la fracción orgánica como de la fracción mineral.



Figura nº. 21. Molino de martillos

En el caso que nos ocupa y en la configuración de crear un abono órgano mineral en polvo se suele trabajar con dos granulometrías.

- Tamaño < 6 mm cuando únicamente se trata de obtener un material en polvo o un gránulo de aplicación tradicional.
- Tamaño < 3 mm cuando se trata de aplicaciones de microsiembra.

Mezcla

Para la mezcla de las dos fracciones debe existir un sistema de pesaje de cada una de las dos fracciones (orgánica y mineral) de tal manera que pueda realizarse la mezcla adecuada.

Para el pesaje suelen utilizarse básculas en línea y/o dosificadores por pérdida de peso (dosificadores gravimétricos http://www.acrison.com/spanish/pages/pro_wf_00.html) de tal manera que pueda regularse el caudal de cada una de las fracciones a mezclar.

Para la mezcla y en función de los materiales pueden utilizarse varios tipos de equipamiento siendo el más habitual el de cribas rotativas ciegas o trómeles ciegos, que básicamente son un cilindro donde se alimentan por un lado ambos materiales previamente pesados y por el otro extremo salen ya mezclados.

Las capacidades de tratamiento de los equipos en este caso (cintas, trómeles, cribas, sistemas de pesaje, etc.) pueden alcanzar las 30 t/h o superiores, no existiendo una verdadera limitación ya que pueden implementarse líneas paralelas.

7.2. Caso 2: Molienda de las fracciones orgánica y mineral, dosificación, mezcla y pelletización

En este caso el proceso de molienda y mezcla se complementa con la instalación de una etapa de pelletización al final de la misma al objeto de obtener un material de más fácil aplicación en el campo y con un incremento de inversión poco significativo respecto del Caso nº 1.

Así para pequeñas capacidades (200-900 kg/h o teniendo en cuenta 2.000 horas/año de funcionamiento se tiene una capacidad anual de entre 400-1.800 t/a) se pueden encontrar maquinas pelletizadoras con una inversión entre 3.500-11.000 USD. Muchos de estos equipos pueden acoplarse a corriente eléctrica o funcionar mediante diésel lo que permite ser compartidos entre varias instalaciones.



Font: www.meelko.com <http://maquinas-pelletizadoras.meelko.com/compost-fertilizantes>

Figura nº. 22. Pelletizadoras de baja capacidad

Otra posibilidad sería la utilización de granuladores de disco los cuales pueden encontrarse capacidades de 3 t/h hasta 40 t/h.

Este equipo supone una pequeña inversión sobre la totalidad de la inversión de una instalación de fabricación de abonos órgano-minerales. Así las inversiones para capacidades de hasta 5 t/h (hasta 10.000 t/año) serían entre 5.000-25.000 USD mientras que para capacidades superiores los precios pueden superar los 50.000 USD.

Para instalaciones de gran capacidad de producción de abonos órgano-minerales (> 20.000-30.000 t/a) se considera que la instalación debe pasar a ser el Caso nº 3 donde se incorpora la máxima automatización posible.



Font: www.fertilizer-machine.com

Figura nº. 23. Granuladores de disco

7.3. Caso 3: Molienda de las fracciones orgánica y mineral, dosificación, mezcla y granulación automatizadas.

Para instalaciones de media y gran capacidad resulta evidente que es necesario automatizar al máximo el proceso de dosificación, mezcla y granulación siguiendo esquemas como el que se muestran a continuación.

Organic Fertilizer Production Line

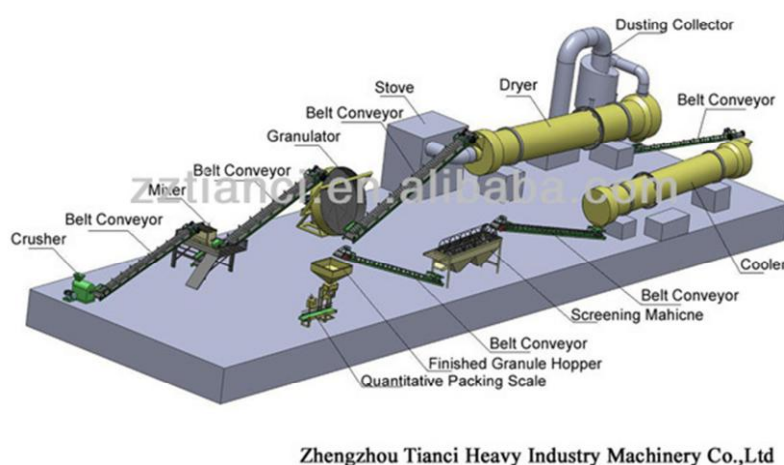


Figura nº. 24. Esquema de planta de preparación de abonos órgano minerales

Para este tipo de instalaciones se deben incorporar los siguientes elementos:

- Molienda duplicada en cabecera no solo para garantizar disponibilidades sino también para obtener varios tipos de tamaño de partícula si es el caso.
- Granuladores de gran capacidad en línea.
- Enfriador del gránulo.
- Cribado final del gránulo.

Llegados a este punto y teniendo en cuenta la demanda total existente en Uruguay (ver Entregable nº 1 del presente contrato) que supone una cantidad en materia seca del orden de 500.000 t/año y dependiendo de los costes operativos y la inversión a realizar es posible que se derive la necesidad de instalar varias plantas de esta capacidad.

En cualquier caso y para ello, tal y como ya se ha dejado de manifiesto en el entregable nº 1 los factores que harán o no interesante este tipo de sector en Uruguay dependerán de factores como los siguientes:

- Obtener un precio competitivo para el abono órgano mineral frente al mineral teniendo en cuenta ratios de aplicación de NPK del mismo orden por hectárea.

- Para ello pensamos que resulta imprescindible la incorporación de compuestos minerales que en estos momentos sean residuos y que se haya de pagar por su eliminación para hacer interesante y competitivo el precio equivalente de abono órgano-mineral.

7.4. Inversión y costes operativos.

Se recoge a continuación en forma de tabla resumen los rangos de capacidades, inversiones y costes operativos para los 3 casos analizados de fabricación de abonos organominerales.

	Tecnología considerada		
	CASO A Producto en polvo	CASO B Producto pelletizado	CASO C Producto granulado
Umbral máximo de producción (ton/año)	hasta aprox 30.000 t/a	hasta aprox 30.000 t/a	sin limite operativo se duplican líneas
Capacidad de producción considerada para cálculos (producto ton/año)	30.000 t/a	30.000 t/a	30.000 t/a
Superficie a disponer para obra civil (1)	0,5-1 Ha	0,5-1 Ha	0,5-1 Ha
Coste operativo USD/ton producida (2) (3)	5,5-8,5	9-12	30-36
Inversión total USD/ton producida	185-220	195-235	215-245
Inversión en equipamiento USD/ton producida	15-20	25-35	35-45
Inversión en obra civil USD/ton producida	170-200	170-200	170-200

(1) Únicamente se ha contabilizado la superficie necesaria para la planta de organominerales

(2) En el caso C es el coste de combustible en el secador el que hace que se incremente el coste operativo

(3) Los costes reflejan únicamente la operación de la instalación sin considerar la amortización de capital ni la venta de productos

Ficha nº. 9. Tabla resumen inversión y costes operativos planta de producción abonos órgano-minerales.

8. REFERENCIAS DE SISTEMAS DE COMPOSTAJE.

8.1. Propuesta de plantas en funcionamiento.

Se recogen a continuación propuestas de instalaciones con las tecnologías descritas en el presente informe.

Pilas Volteadas:

- Tremp (Lérida): materia orgánica de recogida selectiva
- L'Espluga de Francolí (Tarragona): materia orgánica de recogida selectiva
- EDAFO (Planta privada, en Camarles, Tarragona): agrícolas, industriales, forestales, urbanos, ganaderos y otros (arenas de fundición, sólidos/líquidos ricos en nitrógeno, fósforo o potasio)

Pilas aireadas:

- Tàrrega (Lérida): materia orgánica de recogida selectiva

Trincheras estáticas:

- Manresa (Barcelona): materia orgánica de recogida selectiva
- Sort (Lérida): materia orgánica de recogida selectiva
- La Seu (Lérida): materia orgánica de recogida selectiva
- Boadella (Girona): materia orgánica de recogida selectiva
- La Fageda (Planta privada en La Fageda, Girona): estiércoles.

Trincheras estáticas con geotextil:

- Fumanya (Planta privada, en Sant Martí d'Albars, Barcelona): materia orgánica de recogida selectiva
- Clariana de Cardener (Lérida): materia orgánica de recogida selectiva y materia orgánica de los RSU.

Túneles de compostaje:

- Sant Pere de Ribes (Barcelona): materia orgánica de recogida selectiva
- Ecopark 2 (Barcelona): materia orgánica de recogida selectiva/digesto
- Olot (Girona): materia orgánica de recogida selectiva y lodos de EDAR
- Vila-seca (Tarragona): lodos de EDAR
- Blanes (Barcelona): lodos de EDAR
- Santa Coloma de Farners (Girona): materia orgánica de recogida selectiva
- Arazuri (Navarra): lodos de EDAR
- Llagostera (Girona): materia orgánica de recogida selectiva
- Botarell (Tarragona): digesto

- Granollers (Barcelona): digesto
- Terrassa (Barcelona): distintos sustratos

Trincheras con volteadora:

- Ecopark 2 (Barcelona): materia orgánica de recogida selectiva/digesto
- Sa Pobla, Ariany, Felanitx (Mallorca): lodos de EDAR
- Manresa: lodos de EDAR

Volteadora en puente grúa:

- Mataró (Barcelona): materia orgánica de los RSU
- Ecopark 4 (Barcelona): materia orgánica de los RSU
- Vacarisses (Barcelona): materia orgánica de los RSU

Volteadora en puente grúa ligero o para residuos agropecuarios.

No conocemos de manera directa referencias en funcionamiento directo más allá de las que aparecen en los links que figuran en el capítulo siguiente.

Consideramos esta tecnología muy interesante para capacidades medias y grandes en Uruguay con lo que sería recomendable localizar instalaciones para visitar.

A continuación se recoge en forma de tabla las anteriores instalaciones junto a los datos principales de las mismas.

Nombre de la planta	Ubicación	Titularidad	Descomp.	Maduración	Año de		Residuo
			Tipo de proceso		Puesta en Marcha	t/año Capacidad MO	
Tremp	Tremp, Lerida	Pública	Pilas volteadas	Pilas volteadas	2005	5.000	FORM
L'Espluga de Francolí	L'Espluga de Francolí, Tarragona	Pública	Pilas volteadas	Pilas volteadas	2004	7.000	FORM
EDAFO	Camarles, Tarragona	Privada	Pilas volteadas	Pilas volteadas	2004	32.000	VARIOS 1
Tàrrega	Tàrrega, Lerida	Pública	Pilas volteadas y aireadas	Pilas volteadas	2003	10.000	FORM
Manresa	Manresa, Barcelona	Pública	Silos estáticos aireados	Silos estáticos aireados	2001	20.000	FORM
Sort	Sort, Lerida	Pública	Silos estáticos aireados	Silos estáticos aireados	2015	750	FORM
La Seu	La Seu, Lérida	Pública	Silos estáticos aireados	Pilas volteadas	2001	3.500	FORM
Boadella	Boadella, Girona	Pública	Silos estáticos aireados	Silos estáticos aireados	2015	350	FORM
La Fageda	La Fageda, Girona	Privada	Silos estáticos aireados	Meseta estática	2005	4.000	Purines deshidratados
Fumanya	Sant Martí d'Albars, Barcelona	Privada	Silos estáticos aireados y con geotextil	Meseta volteada	2000	35.000	VARIOS 2
Clariana de Cardener	Clariana de Cardener, Lérida	Pública	Silos estáticos aireados y con geotextil	Silos estáticos aireados	2015	aprox 3.500	FORM/MOR
Sant Pere de Ribes	Sant Pere de Ribes, Barcelona	Pública	Túneles	Pilas volteadas	2000	20.000	FORM
Ecoparc 2	Ecoparc 2, Barcelona (A)	Pública	Túneles	Trincheras aireadas y volteadas	2005	56.000	MOR
	Ecoparc 2, Barcelona (B)	Pública	Túneles	No existe	2005	20.000	DIGESTO
Olot	Olot, Girona	Pública	Túneles	Silos estáticos aireados	2005	10.000+10.000	FORM/Lodos EDAR
Vila-seca	Vila-seca, Tarragona	Pública	Túneles	Silos estáticos aireados	2000	25.000	Lodos EDAR
Blanes	Blanes, Barcelona	Pública	Túneles	Silos estáticos aireados	2004	10.000	Lodos EDAR
Santa Coloma de Farners	Santa Coloma de Farners, Girona	Pública	Túneles	Pilas volteadas y aireadas	1998	12.500	FORM
Arazuri	Arazuri, Navarra	Pública	Túneles	Silos estáticos aireados	2012	11.800	Lodos EDAR
Ullastroguera	Ullastroguera, Girona	Pública	Túneles	Pilas volteadas (1/2 aireadas)	2001	20.000	FORM
Botarell	Botarell, Tarragona (A)	Pública	Túneles	Pilas volteadas	2010	23.000	FORM
Terrassa	Terrassa, Barcelona	Pública	Túneles	Pilas volteadas	2006	5.000	DIGESTO
Sa Pobla	Sa Pobla, Isla de Mallorca	Pública	Trincheras con volteadora		1990	8.000	Lodos EDAR
Ariany	Ariany, Isla de Mallorca	Pública	Trincheras con volteadora		1990	8.000	Lodos EDAR
Felanitx	Felanitx, Isla de Mallorca	Pública	Trincheras con volteadora		1990	8.000	Lodos EDAR
Manresa	Manresa, Barcelona	Pública	Trincheras con volteadora		1995	10.000	Lodos EDAR
Mataró	Mataró, Barcelona	Pública	Volteadora en puente grúa		2010	45.000	MOR
	Ecoparc 2, Barcelona (B)	Pública	Túneles		2005	20.000	DIGESTO
Ecoparc 4	Hostalets de Pierola, Barcelona	Pública	Volteadora en puente grúa		2010	150.000	MOR
	Botarell, Tarragona (B)	Pública	Túneles		2009	35.000	Digesto de MOR
Granollers	Granollers, Barcelona	Pública	Túneles		2010	17.000	DIGESTO
	Lloret de Mar	Pública	Volteadora en puente grúa		2011	40.000	MOR
Vacarissses	Vacarissses, Barcelona	Pública	Volteadora en puente grúa		2010	120.000	MOR

FORM	Materia orgánica de recogida selectiva procedente de hogares, comercios y mercados
MOR	Materia orgánica presente en los RSU, sin recogida selectiva
DIGESTO	Material de salida de digestión anaerobia de FORM (en la mayoría de casos)
VARIOS 1	Agrícolas/industriales/forestales/residuos urbanos, residuos ganaderos y otros (arenas de fundición, sólidos y líquidos ricos en nitrógeno, fósforo o potasio)
VARIOS 2	Agrícolas/industriales/forestales/lodos de EDAR y de industrias alimentarias
Tipo de tratamiento	Codificación según tratamiento que se cita en la Ficha nº 8

Ficha nº. 10. Propuesta de plantas en funcionamiento con sus datos principales

8.2. Direcciones web de interés.

El presente capítulo recoge direcciones en internet de distintas compañías suministradoras de equipamiento para plantas de compostaje o de fabricación de abonos órgano-minerales.

Equipos de mezcla

- SEKO <http://www.sekospa.com/es/division/eco-line>
- KOMPTECH <http://masiasrecycling.com/key-machines/komptech/mashmaster>
- Fertilizer machinery http://fertilizer-machine.com/product/Fertilizer_Mixing_Machine/horizontal-fertilizer-mixer.html

Trituradoras de fracción vegetal

- LIPPEL <http://www.lippel.com.br/es/chipeadoras-de-madera/chipeadoras-fijas-a-tambor.html#.VsMAMuZbX3g>
- MERCOVIL http://www.mercovil.com/v2_base/2055_chipeadoras.html
- JENZ <http://www.jenz.de/hersteller-fuer-biomasseaufbereiter-mobilhacker-stationaerhacker-chippertrucks-nachzerkleinerer/>

Equipos de volteo (autopropulsada/autónomas/a acoplar a tractores).

- ALLU <http://www.allu.net/products/screener-crusher/screening-crushing>
- KOMPTECH [https://www.komptech.com/en/products-komptech.html?tx_products_pi1\[category\]=45&cHash=10e42f7546c55ac03b26b48e955224f9](https://www.komptech.com/en/products-komptech.html?tx_products_pi1[category]=45&cHash=10e42f7546c55ac03b26b48e955224f9)
- BACKHUS <http://www.backhus.com/>
- SOLUCIONES AGRÍCOLAS Y MEDIOAMBIENTALES <http://www.samsoluciones.es/categorias/maquinaria/volteadoras-de-arrastre/>
- CONTROL AMBIENTAL http://www.controlambiental.com.co/index.php?option=com_content&view=article&id=47&Itemid=81
- RITORNA MEDIOAMBIENTE <http://www.ritornamedioambiente.com/>

Túneles de compostaje

- GICOM <http://www.gicomcompostingsystems.com/index.php?pagid=187>
- WTT <http://wtt.nl/biological/>
- METROCOMPOST <http://www.metrocompost.com/es/compotunel.html>
- HORSTMANN http://www.horstmann.pl/_uk/kompostownie-technologie.shtml
- DALSEM <http://www.dalsemmushroom.nl/>

Volteadoras sobre puente grúa pesadas

- Weser Engineering <http://www.taimweser.com/unidades-Negocio.aspx?id=11>
- SCT Sorain Cecchini <http://www.sctecno.com/es/index.htm>

Volteadoras sobre puente grúa ligeras

- AVESUY <http://www.avesuy.com.br/index.php/compostagem>
- KOHSHIN <http://www.farmavicola.com.co/detalle.php?idprod=MTU5>

Volteadoras en trincheras

- BACKHUS <http://www.backhus.com/11-4-Volteadora-de-trincheras.html>
- CRAI http://www.crai-srl.com/eng_rivoltatrici.htm

9. DIMENSIONAMIENTO PRELIMINAR UNIDAD COMPOSTAJE GALLINAZA.

Durante la primera misión en Uruguay se realizó una visita a una granja de gallinas ponedoras no automatizada (La Estrella) con la presencia del Sr. José Enrique Cittadino (Presidente de APAS) y del Sr. Trenchi (asesor).

Durante la visita se expresa que la tipología del residuo condiciona su extracción, almacenamiento intermedio y carga para gestión externa.

El consultor manifiesta que al menos para mejorar el manejo de los residuos se podría implementar una pequeña era de secado del mismo por inyección de pequeñas cantidades de aire a través del residuo mezclado con parte de material estructurante que pueda estar presente en el predio.

En este sentido a continuación, y a partir de los datos facilitados durante la visita se ha realizado el siguiente dimensionamiento y un croquis de la era de secado para tratar una limpieza completa de un galpón.

Capacidades		
Capacidad de gallinas/galpón	30.000	uds.
Tiempo de permanencia en galpón	434	días
Residuo generado/gallina por permanencia total	16,5	kg/gallina/434 días
Número de limpiezas por permanencia	4	se limpia cada 3 meses aprox

Total residuo generado cada limpieza	123.750	kg/limpieza
	123,8	t/limpieza

Características residuo (gallinaza)		
Residuo húmedo	72,50%	del total extraído
% humedad del residuo húmedo	85%	
Densidad asignada	700	kg/m3

Residuo seco	27,50%	del total extraído
% humedad del residuo seco	15%	
Densidad asignada	400	kg/m3

Residuo mezcla	100%	
% humedad media	65,75%	
Densidad media asignada	655	kg/m3

Con los datos anteriores se calcula el espacio disponible:

Cálculo espacio compostaje		
Capacidad cada limpieza	123,8	t/limpieza
Volumen a tratar	188,9	m3/limpieza
Redondeo de volumen a tratar	200	m3/limpieza (+ 5%)
Altura apilamiento compostaje	1,5	m
	133,3	m2 necesarios para cada carga
Dimensiones		
	largo	20 m
	ancho	6,7 m

Por tanto, se necesita un espacio de 20x7 metros donde depositar el material y se mantenga aireado de forma secuencial durante 2 semanas aproximadamente.

Para ello se ha realizado el croquis que se adjunta y con los siguientes datos sobre la era de secado o espacio de precompostaje.

- Se recomienda instalar 2 parrillas de aireación con tres filas de conductos de diámetro aproximado 90 mm cada una de ellas. El material de los tubos puede ser polietileno, polipropileno o pvc en función de la disponibilidad local.
- A cada parrilla de aireación se le conecta un ventilador con un temporizador con los siguientes datos del equipo:
 - Caudal de cada ventilador: 500 m3/h
 - Pérdida de carga a vencer: > 1.000 Pa
- El espacio o la era de secado puede ejecutarse en varios materiales, a continuación se recogen algunas notas al respecto siendo las dimensiones básicas las que figuran en la figura que se adjunta.
 - Lo más importante es generar la plataforma de aireación. Puede realizarse enterrada o sobre superficie previendo una pequeña rampa en este último caso para acceder a la carga.
 - El “falso suelo” (en caso de ejecutarse en hormigón) donde se van a colocar los tubos de ventilación tendría una profundidad entre 30-50 cm y a distancias regulares se propone colocar bloque de hormigón que soporte la solera (considerando que pueda subir un operario con una carretilla encima de la solera, por tanto no cargas o pesos significativos).
 - También puede excavarse únicamente el espacio para la colocación de los tubos y realizar la compactación de la tierra sobre el conducto y alrededor con cuidado de no romper los conductos implementando una lámina impermeabilizadora en toda el área de secado.
 - El área puede cerrarse por todos los lados excepto la zona de carga mediante muro de hormigón o madera o incluso no cerrarla.
 - En caso de no cerrar el área y no disponer de un muro contra el que apilar se recomienda aumentar la superficie un 20 %.
 - Los primeros centímetros sobre la solera debe ser llenada con chip de madera para permitir un mejor paso del aire. Esta capa deberá ser repuesta a medida que se vaya eliminando.

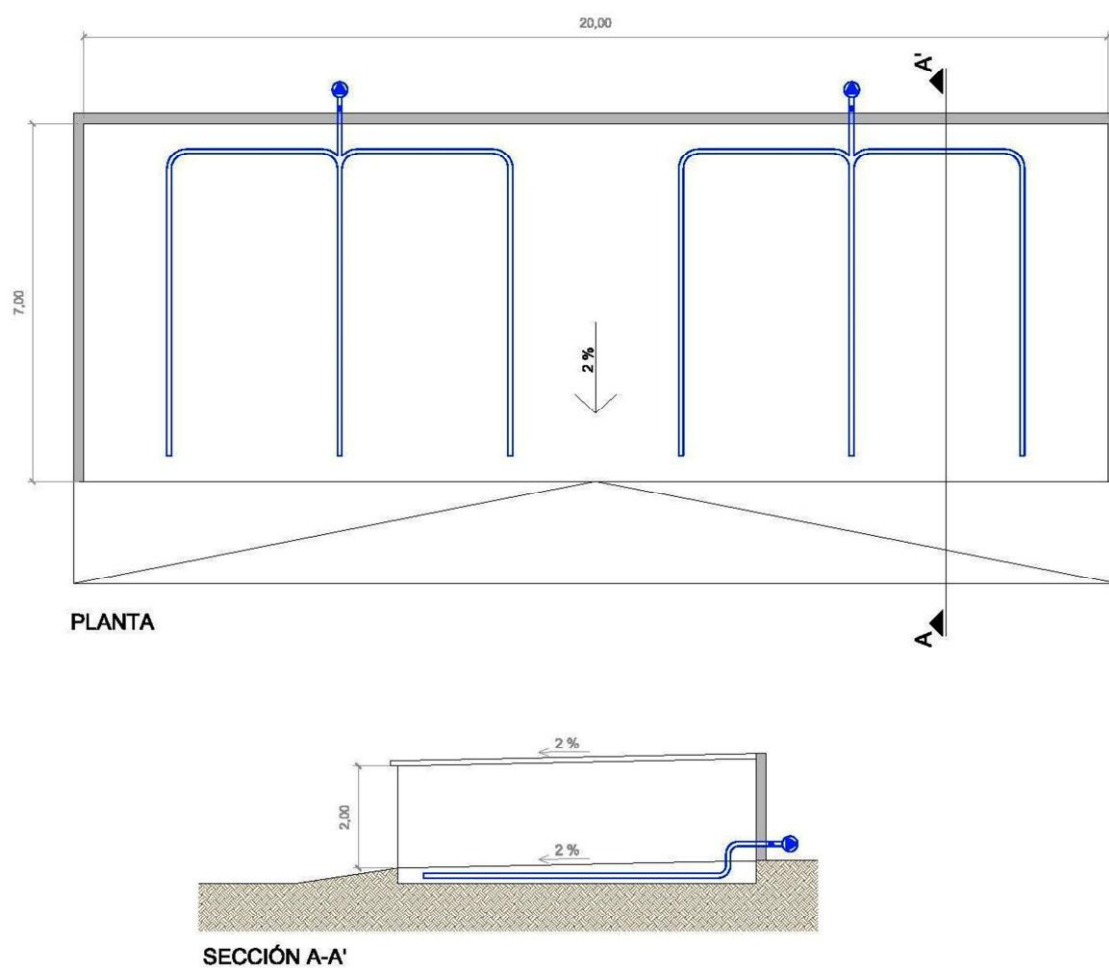


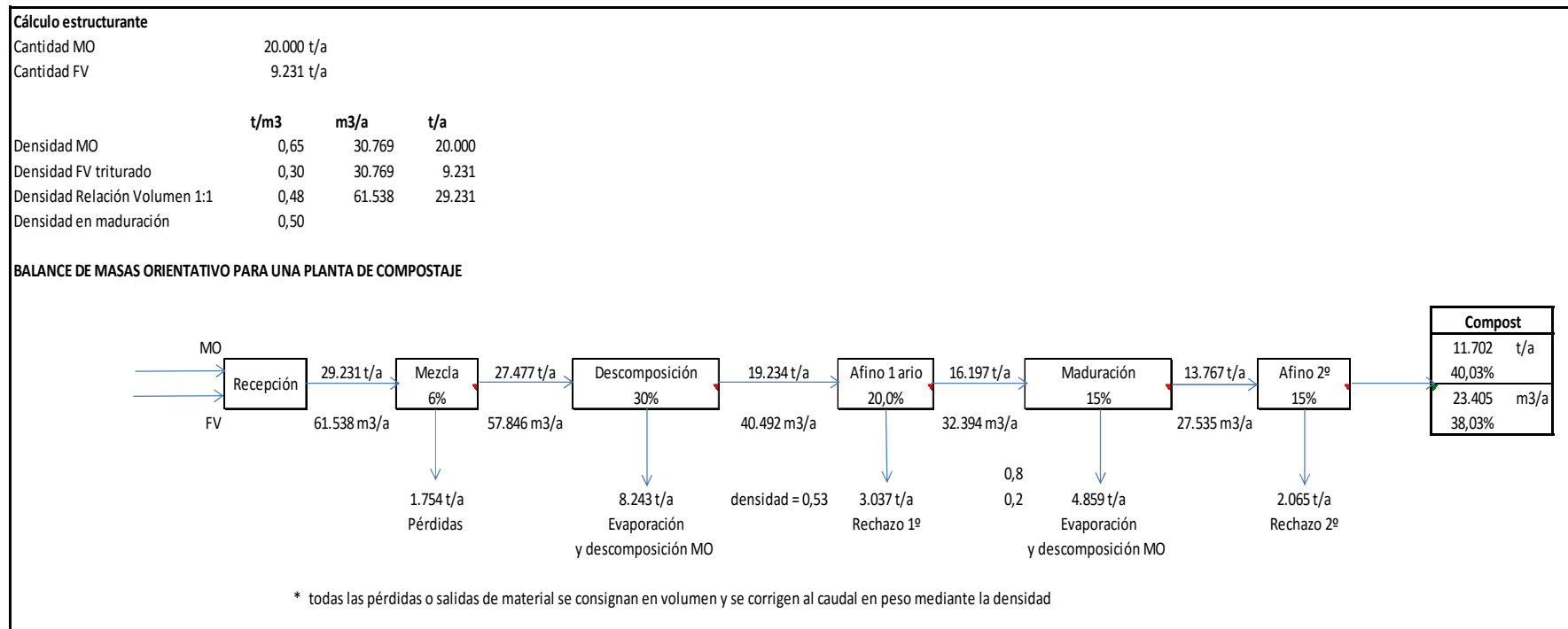
Figura nº. 25. Esquema de unidad compostaje gallinaza

ANEXO I – COMPARATIVA CUALITATIVA TECNOLOGÍAS DE COMPOSTAJE PARA UNA CAPACIDAD DE 20.000 t/a.

Para la realización de la tabla comparativa se ha procedido de la siguiente manera:

- Se ha fijado una capacidad de tratamiento de 20.000 t/a.
- Se ha realizado un balance de materia estándar para esta capacidad el cual es (con pequeñas diferencias) idéntico para las distintas configuraciones de tecnologías que se estudian.
- Si bien los datos de consumos se dan por unidad productiva (por tonelada tratada o por hora de funcionamiento) es indispensable fijar una capacidad de partida para establecer las etapas necesarias en la instalación y el personal que operará la misma.
- Dado la variabilidad del residuo que puede ser tratado en esta instalación y sus diferentes características se ha supuesto un material que por su humedad sea necesario mezclarlo con una cantidad equivalente en volumen de material estructural. Esta manera de proceder es la más conservadora y cubriría prácticamente todos los residuos menos aquellos que sean líquidos y/o pastosos (lodos de estaciones depuradoras por ejemplo).
- Se han establecido las etapas de proceso que se recogen en el presente informe y que son necesarias independientemente del tipo de tecnología a utilizar en el compostaje.
- Se han realizado combinaciones de tecnología en las etapas de descomposición y/o maduración teniendo en cuenta la realidad uruguaya.
- En este sentido se han incluido tecnologías como los túneles de compostaje o las volteadoras sobre puente grúa cuya aplicación para residuos agropecuarios son muy limitadas pero al compararlas con el resto de configuraciones propuestas pueden dar una idea del nivel de costes asociados.

Figura nº. 26. Balance de materia estándar planta compostaje agropecuarios



Ficha nº. 11. Comparativa cualitativa tecnologías de compostaje

Etapas procesos	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
1 Recepción	Playa/Box	Playa/Box	Playa/Box	Playa/Box
2 Mezcla	Volteadora	Volteadora	Volteadora	Volteadora
3 Trituración estructurante	Chipeadora	Chipeadora	Chipeadora	Chipeadora
4 Descomposición	Pilas aireadas	Pilas aireadas	Silos estáticos aireados	Silos estáticos aireados
5 Afino primario	Tromel o zaranda (80 mm)	Tromel o zaranda (80 mm)	Tromel o zaranda (80 mm)	Tromel o zaranda (80 mm)
6 Maduración	Volteadora+ Pilas sin airear	Pilas aireadas+volteadora	Volteadora+ Pilas sin airear	Pilas aireadas
7 Afino secundario	Tromel o zaranda (12 mm)	Tromel o zaranda (12 mm)	Tromel o zaranda (12 mm)	Tromel o zaranda (12 mm)
8 Depuración de Olores	No existe	No existe	No existe	No existe

Entradas-salidas	Capacidad 20.000 t/a de material orgánico con humedad media 65-70%			
Fracción orgánica	20.000	20.000	20.000	20.000
Fracción estructurante	9.231	9.231	9.231	9.231
estructurante reciclado	80% reciclado (aprox 7.385 t/a)	80% reciclado (aprox 3.692 t/a)	80% reciclado (aprox 3.692 t/a)	80% reciclado (aprox 3.692 t/a)
estructurante nuevo	20% nuevo (aprox 1.846 t/a)	20% nuevo (aprox 923 t/a)	20% nuevo (aprox 923 t/a)	20% nuevo (aprox 923 t/a)

Duración proceso				
descomposición	3-4 semanas	3-4 semanas	3-4 semanas	3-4 semanas
maduración	8 - 10 semanas	8 semanas	8 - 10 semanas	8 semanas

Equipos				
	Pala cargadora	Pala cargadora	Pala cargadora	Pala cargadora
	Chipeadora	Chipeadora	Chipeadora	Chipeadora
	Volteadora autopropulsada	Volteadora autopropulsada	Volteadora autopropulsada	Mezcladora simple o pala
	Sistema de ventilación	Sistema de ventilación	Sistema de ventilación	Sistema de ventilación
	---	---	---	---
	---	---	---	---
	Tromel de afino	Tromel de afino	Tromel de afino	Tromel de afino

Personal				
Jefe planta	1	1	1	1
Administrativo	1	1	1	1
Peones+palistas	3	3	3	3
Laboratorio+ SS	1	1	1	1
Mantenimiento	1	1	1	1

Consumos				
Electricidad				
mezcla	20-30 kWh - 1.200 h/a	20-30 kWh - 1.200 h/a	20-30 kWh - 1.200 h/a	20-30 kWh - 1.200 h/a
descomposición	10-15 kWh - 8.000 h/a	10-15 kWh - 8.000 h/a	35-40 kWh - 8.000 h/a	35-40 kWh - 8.000 h/a
afino primario	15-20 kWh - 1.200 h/a	15-20 kWh - 1.200 h/a	15-20 kWh - 1.200 h/a	15-20 kWh - 1.200 h/a
maduración	---	---	---	5-10 kWh - 8.000 h/a
afino secundario	15-20 kWh - 2.400 h/a	15-20 kWh - 2.400 h/a	15-20 kWh - 2.400 h/a	15-20 kWh - 2.400 h/a
depuración olores	---	---	---	---
Gas-oil				
Pala+				
Chipeadora estructurante +	5 litros gas-oil/t MO entrada	5 litros gas-oil/t MO entrada	5 litros gas-oil/t MO entrada	3 litros gas-oil/t MO entrada (no hay volteadora, solo pala)
Volteadoras +				
Agua				
Limpieza y consumo	0,1-0,2 m3/t MO entrada	0,1-0,2 m3/t MO entrada	0,1-0,2 m3/t MO entrada	0,1-0,2 m3/t MO entrada

Suministros auxiliares				
fracción estructurante	1.846 t/año	1.846 t/año	1.846 t/año	1.846 t/año
relación volumen Material Orgánico/Fracción estructurante	1:1	1:1	1:1	1:1

Subproductos **				
rechazos (t/a)	1.846 t/año	1.846 t/año	1.846 t/año	1.846 t/año
lixiviados (m3/a)	0	0	0	0

* Los consumos que se consignan pueden ajustarse en el momento en el que se decide como va a funcionar la instalación y se realiza un dimensionamiento de la misma

** Depende de la configuración de los espacios de recepción y del contenido de improprios en los residuos a tratar-se considera consumo total de lixiviados y rechazo el 20 % de las corrientes rechazo/estructurante

Etapas procesos	CASO 5	CASO 6	CASO 7	CASO 8	CASO 9
1 Recepción	Playa/Box	Playa/Box	Playa/Box	Playa/Box	Playa/Box
2 Mezcla	Volteadora	Volteadora	Volteadora	Volteadora	Volteadora
3 Trituración estructurante	Chipeadora	Chipeadora	Chipeadora	Chipeadora	Chipeadora
4 Descomposición	Túneles	Túneles	Trincheras dinámicas aireadas	Volteadora en puente grúa	Volteadora en puente grúa
5 Afino primario	Tromel o zaranda (80 mm)	Tromel o zaranda (80 mm)	Tromel o zaranda (80 mm)	Tromel o zaranda (80 mm)	Tromel o zaranda (80 mm)
6 Maduración	Volteadora+ Pilas sin airear	Pilas aireadas+volteadora	Pilas aireadas	Volteadora+ Pilas sin airear	Pilas aireadas
7 Afino secundario	Tromel o zaranda (12 mm)	Tromel o zaranda (12 mm)	Tromel o zaranda (12 mm)	Tromel o zaranda (12 mm)	Tromel o zaranda (12 mm)
8 Depuración de Olores	Biofiltro	No existe	No existe	Biofiltro	No existe

Entradas-salidas					
Fracción orgánica	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
Fracción estructurante	9.231	9.231	9.231	9.231	9.231
estructurante reciclado	80% reciclado (aprox 3,692 t/a)	80% reciclado (aprox 3,692 t/a)	80% reciclado (aprox 3,692 t/a)	80% reciclado (aprox 3,692 t/a)	80% reciclado (aprox 3,692 t/a)
estructurante nuevo	20% nuevo (aprox 923 t/a)	20% nuevo (aprox 923 t/a)	20% nuevo (aprox 923 t/a)	20% nuevo (aprox 923 t/a)	20% nuevo (aprox 923 t/a)

Duración proceso					
descomposición	3 semanas	3 semanas	3semanas	3 semanas	3 semanas
maduración	8 - 10 semanas	8 semanas	8 semanas	8 - 10 semanas	8 semanas

Equipos	Pala cargadora	Pala cargadora	Pala cargadora	Pala cargadora	Pala cargadora
	Chipeadora	Chipeadora	Chipeadora	Chipeadora	Chipeadora
	Mezcladora simple o pala	Mezcladora simple o pala	Mezcladora simple o pala	Mezcladora simple o pala	Mezcladora simple o pala
	Túneles con ventilación	Túneles con ventilación	Volteadora sobre carriles	Volteadora en puente grúa	Volteadora en puente grúa
	Volteadora	Volteadora	---	Volteadora	---
	---	Sistema de ventilación	Sistema de ventilación	---	---
	Tromel de afino	Tromel de afino	Tromel de afino	Tromel de afino	Tromel de afino

Personal					
Jefe planta	1	1	1	1	1
Administrativo	1	1	1	1	1
Peones+palistas	3	3	2	2	2
Laboratorio+SS	1	1	1	1	1
Mantenimiento	1	1	2	2	2

Consumos					
Electricidad					
mezcla	20-30 kWh - 1.200 h/a	20-30 kWh - 1.200 h/a	20-30 kWh - 1.200 h/a	20-30 kWh - 1.200 h/a	20-30 kWh - 1.200 h/a
descomposición	50-55 kWh - 8.000 h/a	50-55 kWh - 8.000 h/a	40-45 kWh - 8.000 h/a	190-200 kWh - 8.000 h/a	100-150 kWh - 8.000 h/a
afino primario	15-20 kWh - 1.200 h/a	15-20 kWh - 1.200 h/a	15-20 kWh - 1.200 h/a	15-20 kWh - 1.200 h/a	15-20 kWh - 1.200 h/a
maduración	---	5-10 kWh - 8.000 h/a	5-10 kWh - 8.000 h/a	---	5-10 kWh - 8.000 h/a
afino secundario	15-20 kWh - 2.400 h/a	15-20 kWh - 2.400 h/a	15-20 kWh - 2.400 h/a	15-20 kWh - 2.400 h/a	15-20 kWh - 2.400 h/a
depuración olores	50-55 kWh - 8.000 h/a	---	---	50-55 kWh - 8.000 h/a	---
Gas-oil					
Pala+ Chipeadora estructurante + Volteadoras +	5 litros gas-oil/t MO entrada	5 litros gas-oil/t MO entrada	3 litros gas-oil/t MO entrada (no hay volteadora con gasoil)	4 litros gas-oil/t MO entrada (hay volteadora con uso solo en maduración)	3 litros gas-oil/t MO entrada (no hay volteadora con gasoil)
Agua					
Limpieza y consumo	0,4-0,6 m3/t MO entrada	0,4-0,6 m3/t MO entrada	0,2-0,3 m3/t MO entrada	0,4-0,6 m3/t MO entrada	0,2-0,3 m3/t MO entrada

Suministros auxiliares					
fracción estructurante	1.846 t/año	1.846 t/año	1.846 t/año	1.846 t/año	1.846 t/año
relación volumen Material Orgánico/Fracción estructurante	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1

Subproductos **					
rechazos (t/a)	1.846 t/año	1.846 t/año	1.846 t/año	1.846 t/año	1.846 t/año
lixiviados (m3/a)	0	0	0	0	0

* Los consumos que se consignan pueden ajustarse en el momento en el que se decide como va a funcionar la instalación y se realiza un dimensionamiento de la misma

** Depende de la configuración de los espacios de recepción y del contenido de improprios en el residuos a tratar-se considera consumo total de lixiviados y rechazo el 20 % de las corrientes rechazo/estructurante

ANEXO II – COMPARATIVA CUALITATIVA TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN DE ABONOS ORGANOMINERALES PARA UNA CAPACIDAD DE 30.000 t/a.

datos básicos de partida

Capacidad anual	30.000 t/a	Producción diaria	133 t/d		
Días de trabajo	260	Densidad mat entrada	0,5		
Número de turnos	2	Densidad material salida	0,8		
Horas efectivas/turno	6,5	Días almacenamiento	días	m3	m2
Capacidad horaria	8,88 t/h	entrada	15	3.981	1.327
Sobredimensionamiento	15,00%	salida	15	2.488	829
Capacidad horaria	10,21 t/h	Altura almacenamiento	3		

INVERSIONES A REALIZAR

Maquinaria y Equipos	Ud	USD/Equipo	CASO A	CASO B	CASO C
Pala cargadora	2	50.000	100.000	100.000	100.000
Tolvas de alimentación y control dosificación	2	25.000	50.000	50.000	50.000
Molinos de martillos	2	15.000	30.000	30.000	30.000
Captación de polvo	2	15.000	30.000	30.000	30.000
Zarandas	2	20.000	40.000	40.000	40.000
Cintas y estructuras	1	175.000	175.000	192.500	201.250
Ensacadora	1	15.000	15.000	15.000	15.000
Pelitizadora	1	250.000	x	250.000	250.000
Secador+caldera	1	350.000	x	x	350.000
Electricidad+Control	1	15%	66.000	106.125	159.938
TOTAL EQUIPOS			506.000	813.625	1.226.188

Obra civil	m2	USD/m2 o m3	CASO A	CASO B	CASO C
Playa recepción (m3)	1.300	300	62.400	62.400	62.400
Nave proceso (m2)	2.800	900	2.520.000	2.520.000	2.520.000
Almacén (m2)	900	900	2.520.000	2.520.000	2.520.000
Oficinas (m2)	300	900	270.000	270.000	270.000
Viales+paking (m3)	530	300	159.000	159.000	159.000
TOTAL OBRA CIVIL			5.531.400	5.531.400	5.531.400

Otros (proyectos/permisos/puesta en marcha/repuestos/etc)	12%	724.488	761.403	810.911
-----------------------------------------------------------	-----	---------	---------	---------

TOTAL INVERSIÓN USD	6.761.888	7.106.428	7.568.498
----------------------------	------------------	------------------	------------------

DATOS BÁSICOS ESTUDIO DE COSTES

Cambio divisas	1 €	US\$1,11
	1 €	35,80 URU
	1 US\$	32,35 URU
Consumibles		
Gasoil	38,70 URU/litro	
Electricidad	4,26 URU/kWh	
Hormigón armado	9.705,20 URU/m3	
	300,00	
Gasoil	1,20 USD/L	

ESTUDIO DE COSTES DE EXPLOTACIÓN PLANTA INDUSTRIAL ORGANO -MINERALES

INGRESOS PREVISTOS

	t/año	USD \$/t	
1 Venta de abonos	30.000	0,00	0

TOTAL INGRESOS (1+2) 0

COSTES PREVISTOS					USD \$/año	CASO A	CASO B	CASO C
2 Personal		ocupación				15.325	15.598	15.870
	jefe de planta	102.395	1,00	1	3.165	3.165	3.165	3.165
	encargado	46.420	1,00	1	1.435	1.435	1.435	1.435
	resp. MA/seguridad	60.699	1,00	1	1.876	1.876	1.876	1.876
	mantenimiento	44.044	1,00	2	2.723	2.723	2.995	3.267
	peón	33.032	1,00	6	6.126	6.126	6.126	6.126
3 Electricidad (USD/kWh)		0,132				72.325	130.186	159.116
4 Mantenimiento y fungibles								
	equipamiento electromecánico 5 % sobre inversión	5%		1		22.000	34.500	52.000
	obra civil 0,5 % sobre inversión	0,20%		1		11.063	11.063	11.063
5 Agua de red								
6 Gas-oil maquinaria móvil	t / maquina	consumo/t						
	pala cargadora	30.000	0,667	2	40.020	48.024	48.024	48.024
	secador	30.000		1	0	x	x	598.126
7 Seguro de Planta		0,004		1	0	0	0	0
8 Gastos Generales de Operación					0			
9 Vigilancia Ambiental					0			
10 Seguridad					0			
11 Otros Gastos					0	10000	10000	10000
SUBTOTAL 1 (suma de la pos. 3 a la pos. 12)					55.345	178.738	249.370	894.199
12 Beneficio Industrial					5.535	17.874	24.937	89.420
TOTAL COSTES					60.880	196.611	274.307	983.618