Manual de Compostaje Para Municipios

Eva Röben
DED/ Ilustre Municipalidad de Loja

Loja, Ecuador
2002

Indice

1. Introducción
1.1. Porqué Comportar
1.2. Idea Básica del Compostaje
1.3. Experiencias con el Compostaje en el Ecuador

2. Criterios de Selección del Solar para una Planta de Compostaje

3. Tecnologías de Compostaje
3.1. Explicación General del Proceso
3.1.1. Entrada de Desechos
3.1.2. Pre- Condicionamiento
3.1.2.1. Clasificación Manual
3.1.2.2. Desmenuzar los Desechos
3.1.2.3. Clasificación Mecanizada
3.1.3. Compostaje
3.1.3.1. Proceso Biológico del Compostaje
3.1.3.2. Manejo del Proceso de Compostaje
3.1.3.2.1. Mezcla/ Revuelta y Movimiento
3.1.3.2.2. Aireación
3.1.3.2.3. Humedecimiento o Riego
3.1.3.2.4. Ajuste General de la Planta de Compostaje
3.1.4. Condicionamiento del Producto
3.1.4.1. Separación de Materiales Foráneos
3.1.4.2. Clasificación del Producto en Fracciones
3.1.5. Tratamiento del Aire y de las Aguas Lixiviadas
3.1.5.1. Tratamiento del Aire
3.1.5.2. Tratamiento de las Aguas Lixiviadas
3.1.6. Diagrama de Flujo de una Planta de Compostaje
3.2. Sistemas de Compostaje
3.2.1. Compostaje en Pilas
3.2.2. Lombricultura
3.2.2.1. Principios Generales de la Lombricultura
3.2.2.1.1. Principios Biológicos de la Lombricultura
3.2.2.1.2. Cuidado de las Lombrices
3.2.2.2. Lombricultura Intensiva y Compostaje con Lombrices
3.2.2.3. Diseño y Construcción de una Planta de Lombricultura
3.2.2.4. Manejo de una Planta de Lombricultura
3.2.2.4.1. Manejo de una Planta de Compostaje con Ayuda de Lombrices
3.2.2.4.2. Manejo de una Planta de Lombricultura Intensiva
3.2.2.4.2.1. Operación Como la Planta de Compostaje con Ayuda de Lombrices
3.2.2.4.2.2. Operación con Carga Continua de Materia Cruda
3.2.2.4.2.3. Uso de las Lombrices
3.2.2.5. Condiciones Especiales de Lombricultura en el Clima Trópico Húmedo
3.2.4. Sistemas Mecanizados
3.2.4.1. Compostaje Mecanizado en Pilas
3.2.4.2. Compostaje en Túneles o Contenedores
3.2.4.3. Lombricultura Mecanizada
3.2.5. Compostaje Individual (Compostaje en el Jardín)

4. Impactos Ambientales
4.1. Aire
4.1.1. Emisiones Olfatorias
4.1.2. Medidas Para Limitar el Impacto de las Emisiones
4.1.2.1. Selección del Lugar

4.1.2.2. Tratamiento del Aire
4.2. Aguas Lixiviadas

5. Criterios de Calidad Para el Compostaje y Para el Uso del Compost
5.1. Calidad del Material Crudo (Basura)
5.1.1. Criterios de Calidad Para Materiales Biodegradables
5.1.2. Mejoramiento de la Calidad por Optimización del Proceso
5.1.2.1. Clasificación Domiciliaria
5.1.2.1.1. Principios Generales de la Clasificación Domiciliaria
5.1.2.1.2. Como Clasificar la Basura Biodegradable
5.1.2.1.3. Como Hacer la Clasificación Domiciliaria Más Confortable Para los Usuarios
5.1.2.1.4. Factores de Éxito Para un Programa de Clasificación Domiciliaria
5.1.2.2. Pre-Condicionamiento de los Desechos Domiciliarios Mixtos
5.2.. Aplicación del Compost
5.3. Calidad del Compost
5.3.1. Calidad del Compost Como Abono Orgánico
5.3.2. Contenido de Metales Pesados
5.3.3. Madurez y Experimento de Autocalentamiento
5.3.4. Clasificación en Fracciones

6. Costos de Inversión y de Operación de una Planta de Compostaje
6.1. Plantas Manuales
6.2. Plantas Mecanizadas

7. Recomendaciones
7.1. Estudio de Factibilidad
7.2. Cuadro de Alternativas

8. Bibliografía

1. Introducción

1.1. Porqué Compostar?

El compostaje es una tecnología sencilla y económica para aprovechar toda clase de basura biodegradable: desechos de jardín o cocina, papeles, estiércoles animales, serraduras etc. Con ayuda de microorganismos y/o de lombrices se produce tierra humus de los desechos orgánicos. Se puede aplicar tanto a gran escala (a nivel municipal o empresarial) como individualmente (en el jardín, en la finca). Para instalar una planta de compostaje no se necesita una gran inversión ni una formación técnica.

Con el compostaje, se pueden lograr las siguientes ventajas económicas y ecológicas:

Ventajas económicas:

- Extensión de la vida útil del relleno sanitario municipal (no es necesario la inversión en un terreno para un nuevo relleno prematuramente)
- Venta o uso del compost
- Venta o uso de las lombrices (si se realiza el compostaje con el sistema de lombricultura)

- Remplazo de fertilizadores artificiales por un producto más económico y natural

Ventajas ecológicas:

- Producción de menos aguas lixiviadas y gases contaminados.
- Menos consumo de terreno, menor impacto al paisaje, al suelo y a las aguas subterraneas (porque se disminuye el volumen de basura que se va al relleno)
- Producción de humus que puede servir como estabilizador contra la erosión.
- El compost es un fertilizador natural que no produce sobrecarga química al suelo.

El compostaje se recomienda a cada municipalidad y también a comunidades pequeñas, cultivadores individuales y empresas agrícolas. Se pueden obtener mejores resultados si se clasifica la basura biodegradable ya dentro del hogar pero se puede también obtener compost de la basura mezclada.

1.2. Idea Básica del Compostaje

El compostaje es un proceso biológico en el cual las materias orgánicas se transforman en tierra de humus (abono orgánico) bajo el impacto de microorganismos. De tal manera que sean aseguradas las condiciones necesarias (especialmente temperatura, C/N tasa, aireación y humedad), se realiza la fermentación aeróbica de estas materias. En plantas de compostaje, este proceso natural es optimizado con ayuda de ingeniería. Después del compostaje completo, el producto - la tierra humus que se llama "compost" o "abono" - es impecable desde el punto de vista de la higiene y se puede utilizar para la horticultura, agricultura, silvicultura, el mejoramiento del suelo o la arquitectura del paisaje. Con la utilización de plantas de compostaje, la cantidad de basura destinada para la disposición final en un relleno o botadero se puede reducir a un 50 %. Este porcentaje puede variar según la composición de la basura. En caso que los desechos reciclables sean recogidos separadamente y los desechos orgánicos sean compostados, el porcentaje de la basura descargada en el relleno puede reducirse a un 35 - 40 %.

Para la selección de la tecnología del compostaje, los criterios más importantes son:

- población y cantidad de desechos
- presupuesto disponible
- recolección mixta o separada de desechos reciclables
- dimensión del solar previsto para la construcción de la planta
- condiciones climáticas
- estructura arquitectónica de la ciudad (aptitud para compostaje individual)

1.3. Experiencias con el Compostaje en el Ecuador

El compostaje es un método conocido en el Ecuador. Se han realizado varias experiencias con el compostaje, tanto a gran escala (a nivel municipal) como

proyectos pilotos que tenían el objetivo de realizar investigaciones sobre el compostaje.

El Cuadro 1 resume las experiencias hechas en el Ecuador, apoyándose sobre observaciones en los lugares mismos, conversaciones con personas involucradas en los proyectos y la literatura respectiva /1/.

Cuadro 1 : Experiencias con el compostaje en el Ecuador /1/

Lugar	Institución responsable	Financiamiento	Tecnología utilizada	Tipo de desechos procesados	Capacidad de la planta	Problemas con la realización	Tiempo de implementa-ción
Ambato	Misión Salesiana	Fondo Ecuatoriano Canadiense	Pre-fermentación en pilas, después troceado de los desechos gruesos y lombricultura en lechos	Desechos de agricultura y estiércoles de ganado	50 m^3 compost/mes	- Control insuficiente del proceso	No hay información
Ambato	Municipio de Ambato/ Universidad Técnica de Ambato		Compostaje en pilas, con métodos diferentes de operación por fines experimentales	Desechos biodegradables del mercado mayorista de la ciudad	100 m^2	- Falta de fondos para hacer una inversión a gran escala - Falta de instrumentos par control científico del proceso	No hay información
Cuenca	Granja integral "El Paraíso"	CARE, Promusta	Clasificación manual de desechos mixtos, lombricul-tura en camas a granel	Desechos vegetales proporcionados por el municipio, desechos animales y vegetales de la granja	240 m^2	- Falta de clasificación previa de los desechos	No hay información
Ibarra	Universidad Técnica del Norte/ Municipio de Ibarra		Clasificación manual de los desechos orgánicos por un obrero, compostaje en pilas, tamizado del producto	Desechos orgá-nicos del mercado	36.8 m^3/mes	- Duración muy corta del proceso (4 semanas) - Contenido demasiado de cenizas	1 año (1996- 1997) Proyecto piloto
Joyocoto (Guaranda, Bolívar)	Comunidad de Joyocoto	Plan Institucional Bolívar, Catholic Relief Services, Consejo Provincial de Bolívar, Municipio de Guaranda	Proceso completamente mecanizado: Separación por tamiz vibradora, banda transportadora para la separación, electroimán, picadora rotativa, compostaje con pilas aireadas + contenedor de compostaje, trituración y después tamizado del producto listo	Desechos orgáni-cos del mercado de Guaranda	53 t/mes	- Problemas organizacio-nales - Costo elevado de ope-ración - No se utiliza la capa-cidad entera de la planta - No hay participación comunitaria para exten-der el proyecto	Desde 1994

Loja	Municipio de Loja		Clasificación domiciliaria de la basura biodegradable, separación manual en el sitio, lombricultura en lechos (con riego), secado, clasificación manual y tamizado del producto	Desechos biodegradables de las casas (actualmente 50 % de la ciudad) y de los mercados, colegios, cementerio etc.	Aproximadamente 20 t/día	- Insuficiente clasificación domiciliaria - Falta de fondos para mecanizar el proceso de pre- tratamiento de los desechos antes del compostaje	Desde 1997
Manglaralto (Sta. Elena, Guayas)	Comunidad de Manglaralto	Fundación Pro- Pueblo (Cemento Nacional)	Lombricultura con lechos, con riego (cisterna de captación del agua)	Desechos orgánicos de la comunidad	No hay información	- Escasez de agua - Falta de conocimiento técnico - Problemas financieros para la continuación de la actividad	Desde 1997
Mindo (Pichincha)	Fundación Puntos Verdes/ Junta Parroquial de Mindo/ Municipio de Los Bancos;	Las instituciones responsables más apoyo del Consejo Provincial (construcción de la infraestructura)	Clasificación domiciliaria de la basura orgánica, lombricultura en lechos, tamizado del producto	Desechos biodegradables de la parroquia de Mindo	Basura de 1000 personas	- Basura demasiado gruesa por falta de picado - Problemas financieros	Desde 2000
Puerto Quito	Universidad Tecnológica Equinoccial/ Escuela Agroforestal		Compostaje en pilas (bajo plataneros o arboles cítricos)	Basura de jardín y cocina, estiércoles animales, cenizas y cal	Escala de laboratorio (10 m^2)	No hay	No hay información
Puerto Rico (Pto. López, Manabí)	Comunidad de Puerto Rico	Hostería Alandaluz, Fundación Pro- Pueblo (Cemento Nacional)	Compostaje en pilas, mezcladas con hierbas y agua.	Desechos orgánicos de la comunidad	No hay información	- Escasez de agua - Proceso muy largo (8 meses) - Problemas financieros	Desde 1995
Puyo	Corporación Saar- Entsa	Municipio de Brunek (Italia), Fundación Natura	Clasificación manual de desechos mixtos, compostaje en pilas (bajo un techo)	Desechos orgánicos mezclados de la ciudad	No hay información	- Desechos mezclados (incluido hospitalarios) - Inundación del terreno - Falta de control del proyecto - Problemas financieros	1995 - 1996
Quito	Empresa Compostec	Fondos propios de la empresa	Clasificación manual de desechos mezclados, compos-	Desechos del camal	32 t/mes de estiércol, 96	- Falta separación en la fuente	Desde 1998

			taje en capas a cielo abierto. Se añaden microorganismos para acelerar el proceso.	metropolitano y de los mercados	t/mes de desechos biodegradables de los mercados	- problemas financieras - Ubicación en la zoma urbana (resistencia de la población; problemas ambientales)	
Riobamba	Asociación Nuevo Camino, organizaciones barriales	Municipio de Riobamba, Swissaid, GTZ	Lombricultura en lechos con control de humedad; tamizado del producto listo	Asociación Nuevo Camino: Desechos de los mercados y del camal; organizaciones barriales: basura domiciliaria biodegradable	35 m^3/día de Desechos de los mercados y del camal; organizaciones barriales: desconocido	- Problemas organizacionales en la asociación - Falta de clasificación en la fuente - Ingresos insuficientes de la comercialización	Desde 1995
Sigsig (Azuay)	Municipio de Sigsig, Fundación Sendas	Cuerpo de la Paz	Clasificación de desechos mixtos, lombricultura en lechos; control de plagas durante la humificación, clasificación manual del producto listo	Desechos del mercado municipal	No hay información	- Falta de separación de los desechos en la fuente - Falta de apoyo político	Desde 1996
Sta. Lucia Bravo (Guamote, Chimborazo)	Comunidad de Santa Lucia Bravo	Programa de las Naciones Unidas para el Desarollo	Clasificación manual de desechos mixtos y lombricultura; operación de la planta en mingas	Desechos biodegradables de la comunidad y desechos del mercado de Guamote	15 m^3/mes	- Falta de clasificación domiciliaria	No hay información
Tena	Municipio de Tena		Clasificación domiciliaria de los desechos biodegradables, después compostaje en lechos de hormigón	Desechos orgánicos producidos por la población	Lechos con un capacidad total de 18.7 m^3	- Problemas con putrefacción anaeróbica por causa del clima - Problemas financieros para la continuación - Mala clasificación domiciliaria	Desde 1995

En este informe se intenta difundir las experiencias con el compostaje, tanto las experiencias positivas como las negativas, con el fin de dar una guía técnica a municipios y comunidades interesadas.

2. Criterios de Selección del Solar para una Planta de Compostaje

Durante el proceso de selección del lugar, hay que considerar los siguientes criterios:

a) Limitaciones, prohibiciones o restricciones legales

- Propiedad del terreno, posibilidades de expropiación
- Lugares bajo protección
- Legislación municipal

b) Condiciones de operación

- Distancia del relleno o botadero: Una máxima proximidad al botadero sería deseable. Para determinar la máxima distancia posible y económicamente sostenible, la tasa de crecimiento demográfico, la disponibilidad del área, la situación de carreteras y otras condiciones específicas de la municipalidad en cuestión deben ser consideradas.
- Condiciones de transporte: Carreteras existentes, calidad de las carreteras, distancia del lugar de procedencia.
- Infraestructura existente (suministro con agua, descarga del agua contaminada o tratada, electridad etc.)
- Aptitud del suelo (factor de permeabilidad y estabilidad). Una baja permeabilidad es muy importante para la protección del suelo y de las aguas subterráneas contra la contaminación por aguas lixiviadas.
- Area del solar y posibilidades de extensión

c) Criterios ambientales

- Existencia de biotopos importantes
- Impacto sobre el paisaje
- Impacto del tráfico esperado (carreteras de transporte a través de lugares con población densa/ dispersa)
- Posibilidad de afincamientos cerca del lugar de la planta (no deseable); planes municipales de urbanización
- Distancia a áreas pobladas y dirección del viento (para la dispersión del olor)
- Medio recipiente de las emisiones (descarga a la canalización o a un agua de superficie etc.)

d) Costos de inversión y operación

Los costos de inversión dependen fundamentalmente de la tecnología. Las tecnologías simples (lombricultura, compostaje en pilas abiertos, compostaje con ayuda de

enzimas etc.) requieren generalmente más espacio, lo que debe considerarse durante la selección del solar. De la misma manera, se necesita menos protección para sitios lejanos de lugares poblados.

El ideal es de conseguir un sitio bastante largo fuera del área poblada para poder realizar un compostaje manual con tratamiento de las aguas lixiviadas en lagunas. Optimamente, la planta de compostaje se encuentra junto o dentro del sitio de disposición final, para minimizar los costos de transporte y para poder utilizar la misma infraestructura.

3. Tecnologías de Compostaje

En este capítulo se explican tecnologías actuales y/o muy corrientes. Se da una énfasis sobre tecnologías con bajo costo de inversión y operación. También se explica el compostaje individual.

3.1. Explicación General del Proceso

Para la valoración biológica de desechos orgánicos, son necesarias las siguientes operaciones:

3.1.1. Entrada de Desechos: Aceptación de los desechos, descarga en una tolva o en una área específica; transporte manual o por banda al área de pre-condicionamiento

Sería favorable la existencia de una balanza y de un registro para los materiales que llegan a la planta de compostaje (para esto también se recomienda una construcción junto al relleno).

Las tolvas de descarga pueden ser construidas con profundidad o en la superficie. La operación de tolvas superficiales o áreas planas de descarga se realiza con cargadores a ruedas (para plantas grandes) o manualmente (en plantas pequeñas). Para tolvas profundas se necesita una grúa.

La ventaja de una tolva profunda consiste en mejores condiciones higiénicas, un mejor ambiente de trabajo para los operadores y el asunto que los recolectores no impidan la operación. Estas ventajas tienen importancia únicamente para grandes plantas de compostaje con una alta frecuencia de llegada de recolectores y una cantidad elevada de basura. Para plantas pequeñas y medianas, no se justifican los costos de una operación con tolva profunda y grúa.

La ventaja de tolvas superficiales o áreas abiertas de descarga son:
- Supervisión más fácil
- Menores costos de construcción
- Menor generación de aguas lixiviadas
- Posibilidad de trabajar manualmente

Es verdad que la contaminación olfática es más elevada para este sistema.

La municipalidad tiene que hacer la selección según sus propios criterios (especialmente: Aspectos de presupuesto contra necesidades ambientales).

Para evitar una contaminación demasiada alta de olor, hay que vaciar las tolvas o áreas de descarga al menos una vez por día. La capacidad de tolvas o áreas de descarga puede variar entre 100 a 300 % de la capacidad diaria. La decisión sobre la redundancia necesaria debe hacerse según el horario de recolección y descarga, la disponibilidad del terreno y los costos de construcción, considerando la eventualidad de que la planta de compostaje pueda encontrarse fuera de servicio durante un o más días.

3.1.2. Pre-Condicionamiento

3.1.2.1. Clasificación Manual

En la tolva o el área de descarga se puede realizar una clasificación preliminar, donde se recogen materias gruesas no biodegradables (p.e., recipientes de plástico o metal, botellas etc.). Para plantas de compostaje completamente manuales, se recomienda que se recojan todos los materiales no biodegradables antes de que se desmenucen los desechos.

También se necesita abrir fundas de plástico y sacar materiales metálicos. Se puede utilizar un imán manual junto a un palo para ese trabajo.

Se necesita separar de la fracción a compostar toda clase de desechos peligrosos (los más comunes a dentro de los desechos domiciliarios: Pilas, residuos de medicamentos, pinturas, solventes).

3.1.2.2. Desmenuzar los Desechos

Para el compostaje de desechos domésticos, hay que desmenuzar los trozos más grandes que podrían detener el proceso de biodegradación. La trituración de trozos grandes es especialmente importante para desechos groseros de huertos o parques.

La meta de trozar los desechos es de aumentar la superficie específica y, por consecuencia. La capacidad de retener aire y agua para facilitar el proceso de biodegradación realizado por los microorganismos. Además, es importante que materiales foráneos no sean trozados juntos con los desechos compostables para evitar una concentración alta de contaminantes en el compost. Las herramientas/ el equipo para trozar deben resistirse a piedras, madera dura y materiales agresivos. Para bajar los costos y facilitar la operación, el sistema de trituración tiene que ser lo más sencillo posible y consumir un mínimo de energía.

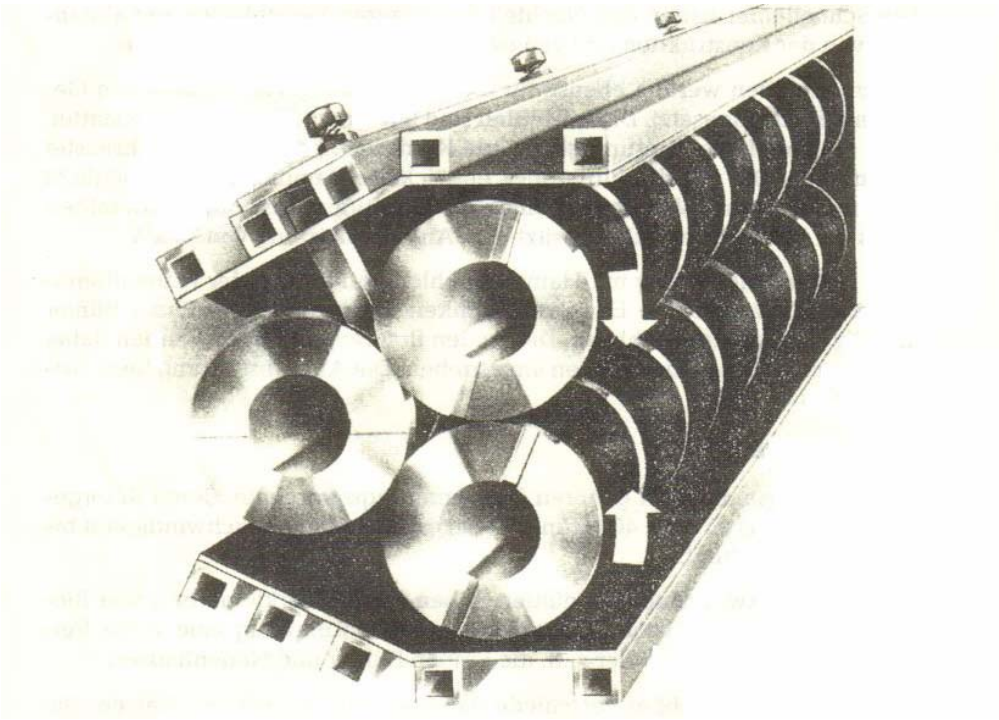
Para plantas de compostaje mecanizadas, el equipo estándar consiste en:

- Molinos trozadores (molinos con tornillo sin fin, molinos de cuchillo)
- Cribas tambores
- Cribas troceadores
- Troceadores cilíndricos

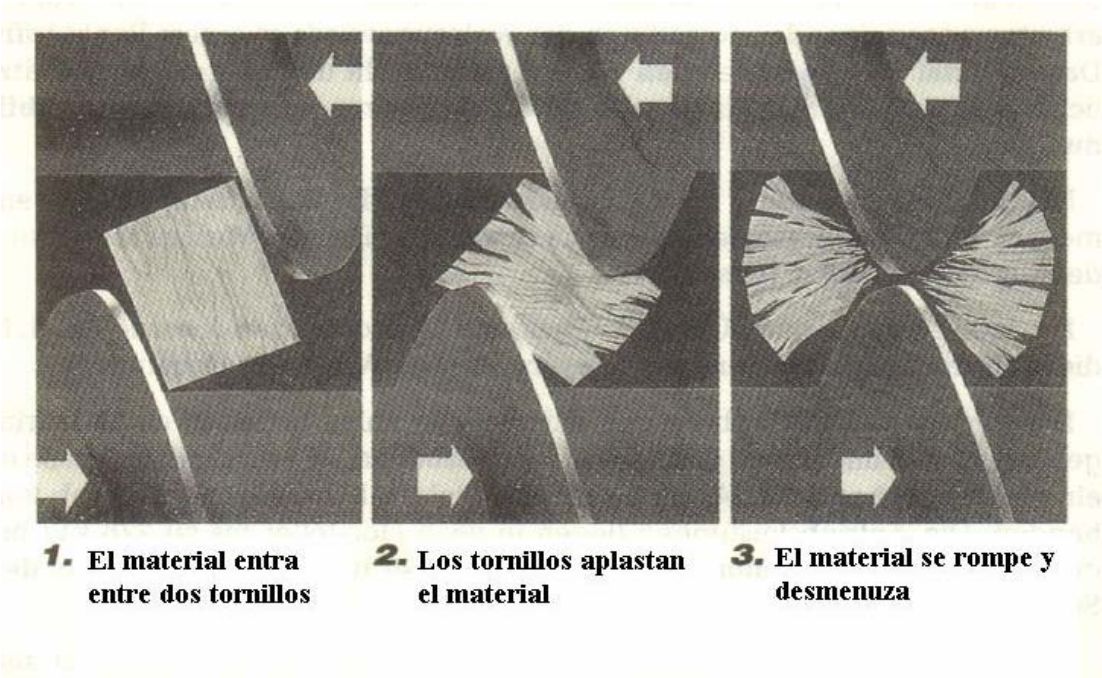
Como el material es húmedo y blando, hay que utilizar troceadores de baja velocidad (< 400 rotaciones/min.).

El principio del molino con tornillo sin fin se presenta en el Dibujo 1 y 2:

Dibujo 1: Molino con tornillo sin fin



Dibujo 2: Funcionamiento del molino con tornillo sin fin



En plantas operadas completamente a mano, se pueden desmenuzar los trozos grandes con machetas o martillos.

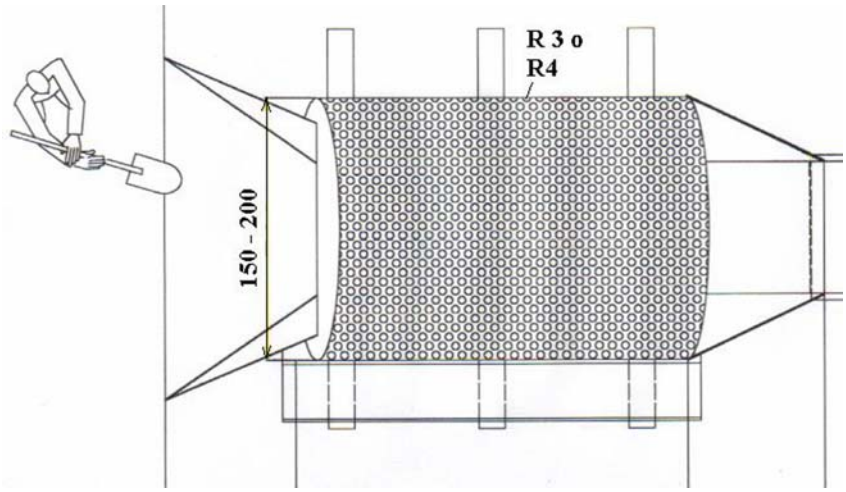
3.1.2.3. Clasificación Mecanizada

La separación de la fracción compostable de los desechos puede hacerse con un separador magnético en combinación con una criba tambor o manualmente. Si es económicamente posible, es preferible utilizar una pre- separación mecanizada.

En plantas de compostaje operadas completamente a mano, la clasificación tiene que realizarse enteramente antes de la trituración.

La criba tambor clasifica los desechos mientras los desmenuza. La clasificación es especialmente importante en lugares donde no hay clasificación domiciliaria. La criba tambor es un equipo muy estándar en las plantas de compostaje. Consiste en un tambor bastante grande, construido en general de hierro galvanizado o de acero inoxidable con aperturas para cribar. Vigas o dientes integrados en la pared interior ayudan a trozar los desechos. Se muestra un ejemplo de una criba tambor en el Dibujo No 3:

Dibujo No 3: Criba tambor



Los desechos se cargan en la parte arriba de la criba, que en general es un poco inclinada. Con la rotación lenta de la criba, los desechos se mezclan, se homogenizan y se desmenuzan por impacto de los dientes o vigas. Simultáneamente a este proceso, los desechos finos se caen por los huecos de la criba y los desechos groseros avanzan en dirección de la inclinación.

Los parámetros estándar para el diseño de cribas tambor para plantas de compostaje se presentan en el Cuadro 2:

Cuadro 2: Parámetros de diseño para cribas tambor /2,3/

Parámetro	Diseño
Fracciones de desecho	Aperturas de la criba: Aperturas redondas con las dimensiones siguientes: Fracción compostable: < 60 - 80 mm Fracción gruesa: > 60 - 80 mm; esta fracción contiene materiales reciclables y trozos voluminosos de madera o de plantas (p.e. troncos de plátano, cáscaras de sandía etc.). Los materiales reciclables se sacan; los materiales gruesos biodegradables se trozan y se agregan a la fracción compostable Fracción fina: < 8 - 12 mm: Se necesita separar la fracción fina en regiones donde es frecuente la calefacción con madera o carbón o la cocina con esos materiales. Además, se recomienda separar la fracción fina en regiones donde los desechos de barrido se recogen mezclado con los desechos a compostar (ver: Capítulo 5.1.2.)
Inclinación	Se debe calcular según las necesidades del proyecto. Se recomienda una inclinación $5° < \alpha < 15°$
Dimensiones	Para la clasificación de la basura cruda, se recomiendan cribas tambores con un diámetro grande (1.5 - 2.5 m). El largo debería ser entre 3 - 6 m.
Carga máxima de basura	No se debe cargar más de 100 kg/m^2 del área del tamiz (solamente área de orificios!)
Velocidad de rotación	10 - 30 rotaciones/ minuto
Consumo de energía	Necesita una capacidad de propulsión de 30 - 80 kW (dependiente de las dimensiones)

Para plantas de compostaje donde se procesan desechos mezclados con ceniza, se necesita una doble criba tambor que separa la fracción fina (las cenizas) de la fracción compostable. Esta criba puede consistir de una pared exterior con huecos finos y una pared interior con huecos grandes (ver: Cuadro 2). Otra alternativa sería utilizar dos cribas sucesivas.

Los parámetros exactos (diámetro de huecos, dimensión) de la criba tambor deben ser determinados según los resultados de un análisis profundo de desechos. Para la determinación de las dimensiones de las aperturas sería importante analizar las dimensiones de los desechos reciclables. En regiones donde se utilizan frecuentemente botellas pequeñas, embalajes pequeños y latas de bebida, se recomiendan aperturas de 60 mm; en regiones donde son más gruesos los desechos reciclables, se pueden utilizar aperturas más grandes y por consecuencia aprovechar de una cantidad más elevada de basura biológica. Las aperturas más grandes impiden también que se congestione el tamiz.

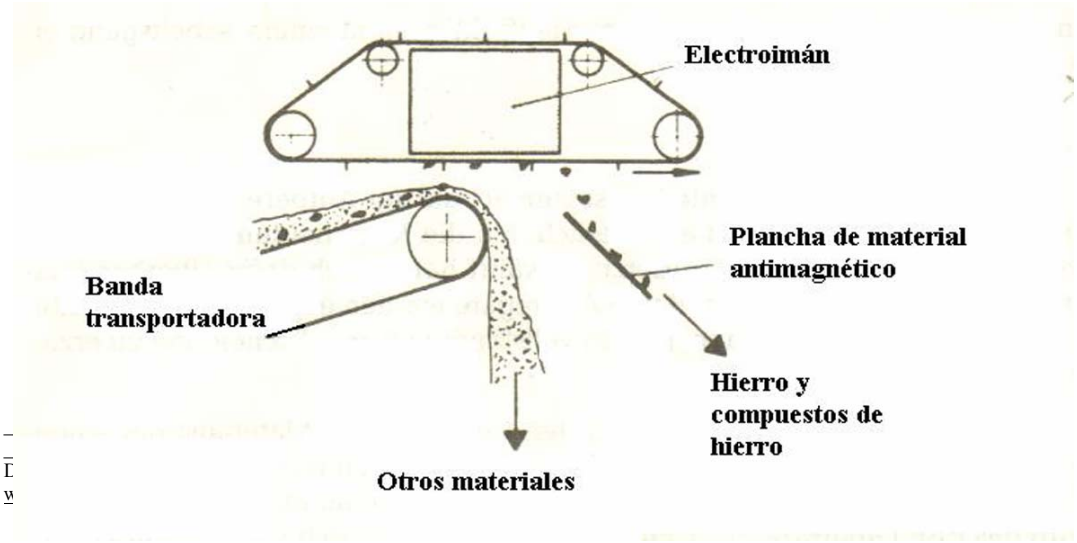
Es importante también tomar en consideración si hay clasificación domiciliaria o no, lo que cambia fundamentalmente la composición de los desechos que ingresan.

Además de la clasificación en fracciones, se deben separar los siguientes materiales de la fracción compostable:

- Ceniza (la ceniza aumenta la tasa C/N, impide al proceso de compostaje y perjudica a la calidad del producto)
- Plásticos (no son compostables y disminuyen la calidad del abono)
- Vidrio (por la misma razón de los plásticos)
- Metales (razón similares que los plásticos)
- Materiales voluminosos (en general, estos materiales forman la fracción reciclable)

Los metales se pueden separar con ayuda de un electroimán. El principio de la función del electroimán se muestra en el Dibujo 4.

Dibujo 4: Funcionamiento del electroimán /3/



Los plásticos y vidrios gruesos generalmente se separan con la fracción reciclable; los finos se pueden separar mecánicamente o manualmente del producto listo después del proceso terminado.

3.1.3. Compostaje

La unidad de compostaje forma el corazón de la planta de compostaje. Existen tres tipos fundamentalmente diferentes de procesos de compostaje:

- el compostaje manual con o sin ayuda de organismos aditivos (lombrices, enzimas etc.)
- el compostaje semi- mecanizado
- el compostaje mecanizado

Aunque sean muy diferentes las operaciones técnicas para estos tipos de compostaje, son el mismo el proceso biológico, la necesidad de mezcla/ revuelta, movimiento, aireación y humedecimiento del material y los parámetros de ajuste de la planta. Estos temas generales se tratan en el sub-capítulo 3.1.3.2. En el sub-capítulo 3.2. se explicarán diferentes sistemas de compostaje manual; en el sub-capítulo 3.3. se tratará de plantas de compostaje semi-mecanizadas. Como tiene costos de inversion y de operación muy elevados el compostaje mecanizado, estos sistemas no se incluyeron dentro de este informe.

3.1.3.1. Proceso Biológico del Compostaje

La pre-fermentación es la primera fase del proceso de compostaje, que comienza bajo el impacto de bacterias mesófilas. En esta fase, la temperatura del material aumenta rápidamente y el proceso de biodegradación empieza. La temperatura puede subir hasta 75°. Esto es equivalente al grado 1 de madurez (ver capítulo 5.3.3.). La pre-fermentación se realiza durante los primeros días del compostaje.

Durante la segunda fase, la fermentación principal, la temperatura sigue manteniéndose en un nivel relativamente alto por causa del calor producido por la actividad microbiológica. En esta fase, la biodegradación se realiza por bacterias termófilas (grado 2 - 3 de madurez). La fase principal del compostaje puede durar entre 2 a 4 semanas en plantas mecanizadas, el doble, en plantas manuales. Eso depende de la tecnología y de la definición exacta de la fermentación principal (lo que cambia según las interpretaciones de productores y científicos).

La velocidad del proceso de compostaje alcanza a su nivel más alto durante las dos primeras fases. Paralelamente, las emisiones y la necesidad de aireación y humedecimiento también se encuentran sobre su nivel más alto. Por esta causa, el control del proceso es especialmente importante durante este tiempo. Para grandes plantas mecanizadas muy cercanas a habitaciones, se recomienda un edificio cerrado con buena epuración del aire contaminado. En pequeñas plantas y plantas medianas no mecanizadas, un sistema de succión del aire sería ventajoso si es económicamente

factible. Una alternativa muy económica y bastante eficiente es de cubrir el material con pasto o material similar para impedir emisiones.

La última fase del proceso de compostaje es la maduración e higienización. El proceso de biodegradación se desarrolla más despacio y las emisiones también se disminuyen. En general, no hay necesidad de aireación o humedecimiento durante esta fase. Sin embargo, en esta fase es ventajoso continuar la mezcla/ revuelta y el movimiento del material para obtener un producto homogéno e higiénico. Al fin de la última fase, el compost tiene el grado 4 o 5 de madurez (ver: capítulo 5.3.3.).

Un porcentaje de aproximadamente 50 % del material original se pierde durante la fermentación por causa de la evaporización y digestión microbiológica.

3.1.3.2. Manejo del Proceso de Compostaje

Los factores más importantes para el compostaje son los siguientes:

1. Mezcla/ revuelta y movimiento
2. Aireación
3. Humedicimiento

3.1.3.2.1. Mezcla/ Revuelta y Movimiento

Al inicio del proceso de compostaje, el cuerpo de desechos tiene poros de varias dimensiones que son dispersadas de forma heterogénea. El aire (venido de aireación natural o artificial) pasa por las aperturas más grandes. Por consecuencia, pueden ocurrir condiciones anaeróbicas en lugares con alta densidad y poros pequeños. La biodegradación anaeróbica no es deseable en una planta de compostaje, por causa de olores fuertes y de impedimento del proceso de biodegradación aeróbico.

Se necesita mezclar/ revoltar y mover los desechos frecuentemente y con regularidad para evitar la putrefacción anaeróbica. En plantas semi- mecanizadas, la mezcla-revuelta y el movimiento del material se realiza con ayuda de cargadores; en plantas operadas completamente a mano, ese trabajo se realiza con palas. En las plantas de lombricultura (ver: capítulo 3.2.2.), las lombrices garantizan una mezcla/ revuelta continua del material a micro-escala. Esta aplicación es más barata y más sencilla que la operación con máquinas automáticas y asegura un mejor ambiente de trabajo para los obreros que la mezcla/ revuelta con palas. Sin embargo, el compostaje con ayuda de lombrices puede ser aplicado solamente en plantas pequeñas (o plantas que dispongan de un área muy extendida). Además, eso es un método muy apropiado para el compostaje individual en el huerto, jardín o incluso sobre la terraza o el balcón (ver: capítulo 3.2.2.4.1.).

Una circulación suficiente del aire puede asegurarse solamente si está garantizada una dispersión homogénea del cuerpo de basura. Por eso, la mezcla/ revuelta y el movimiento del material son imprescindibles no obstante el sistema de compostaje. Un impacto positivo colateral de esta operación es que la temperatura es también

homogenizada dentro del cuerpo de material. Eso es muy importante para obtener una higienización suficiente.

En plantas donde la mezcla/ revuelta del material es realizada con máquinas cargadoras, máquinas automáticas o por obreros con palas, el material se mueve según el desarrollo del proceso de compostaje de la entrada a la salida del área de compostaje. Si el compostaje se realiza con montones (pilas) triangulares, el material es transportado de la primer pila (desechos en bruto) al segundo, después de un cierto tiempo (en general: una semana), al tercero etc. hasta el último (compost maduro). En las plantas de lombricultura, el material se queda en la misma área durante el proceso entero (ver: capítulo 3.2.2.).

Un ejemplo de un sistema automático de mezcla/ revuelta y movimiento se muestra en el Dibujo 15.

3.1.3.2.2. Aireación

Para asegurar una buena aireación, hay que agregar un cierto porcentaje de material grueso. Los materiales gruesos deben agregarse especialmente para estructurar la basura cuando la densidad de los desechos es demasiado alta (> 700 kg/m^3) y, por consecuencia, no se realiza una libre circulación del aire. En general, el suministro de material grueso se puede realizar con la fracción gruesa que había sido separada antes o con la fracción gruesa del compost listo.

La aireación del material puede hacerse con presión o succión. Para pequeñas plantas de compostaje y plantas de lombricultura, es suficiente la mezcla/ revuelta del material para garantizar la aireación. En el caso que se haga un compostaje en pilas, la tubería para la aireación se integra generalmente en el suelo del área de fermentación. Para plantas abiertas es mejor la aireación con succión para impedir una dispersión de emisiones olfatorias.

En plantas donde no hay aireación artificial, el tamaño de las pilas o de las celdas de compostaje está limitado. Para evitar que ocurran condiciones anaeróbicas, se recomienda no formar pilas más altas de 1.5 m, con un corte de triángulo simétrico. Si se hace el compostaje en celdas (p.e., la lombricultura); la altura del material no debe exceder a 1,2 m.

Cuando se utiliza el aireación artificial, la necesidad de aireación cambia entre 5.9 - 7.9 l aire/(kg material seco*hora).

3.1.3.2.3. Humedecimiento o Riego

Se necesita una humedad entre 40 - 60 % (contenido de agua del material) para asegurar una biodegradación óptima. Si es demasiado seco el material, se para el proceso de biodegradación; si es demasiado húmedo, se transforma el proceso en putrefacción anaeróbica incontrolada.

El humedecimiento se puede realizar manualmente o mecánicamente. El principio es lo mismo para los dos sistemas. Se riega el material con regadora manual o con aspersor puesto sobre las pilas o lechos de material. En regiones con poca lluvia, se puede dejar abierta la planta de compostaje para que la lluvia funcione como riego natural. En plantas cubiertas, se puede acumular el agua de los desagües de lluvia para reemplazar parcialmente o completamente el agua fresca. Se recomienda ese sistema para regiones donde llueve mucho para proteger el material de la abundancia del agua sin perder este recurso.

3.1.3.2.4. Ajuste General de la Planta de Compostaje

Hay que mantener la humedad (contenido de agua) del cuerpo de material entre 40 % - 60 % para asegurar condiciones óptimas de compostaje. Si es más alta la humedad, puede ocurrir el caso de putrefacción anaeróbica. Para esto, las plantas de compostaje en regiones con mucha lluvia deben ser cubiertas al menos durante el periodo de lluvia. Cuando es muy húmedo el material al compostar, se puede añadir material con menos humedad (papel no reciclable, desechos de parques y jardines, desechos de carpintería etc.).

La temperatura del material debe mantenerse al menos una semana sobre 65°C o durante 2 semanas sobre 55°C para lograr una higienización suficiente (eliminación de organismos nocivos al suelo o a plantas).

El pH óptimo sería 7. Se puede añadir cal o químicos según los característicos de la basura cruda. El contenido de materia orgánica dentro de la basura cruda se puede mesurar a través de la pérdida de ignición, la cual tiene que ser más del 40 % para asegurar un compostaje satisfactorio.

La tasa C/N es otro parámetro importante que debe ser controlado. Ese parámetro no es muy importante para determinar el proceso de fermentación pero para asegurar la calidad del abono para la fertilización. Para poder utilizar el compost como abono, la tasa C/N no debe pasar 35:1 o ser menor de 15:1. Se recomienda una tasa C/N de 30:1. Si no se puede realizar esa tasa con los desechos como tales, se puede bajar la tasa C/N agregando a los desechos crudos lodos de tratamiento de las aguas servidas, heces fecales de la agricultura o de fosas sépticas. De la misma manera, se puede aumentar la tasa C/N agregando materiales de base celulósica, como papel, desechos de la industria de madera etc.

3.1.4. Condicionamiento del Producto

3.1.4.1. Separación de Materiales Foráneos

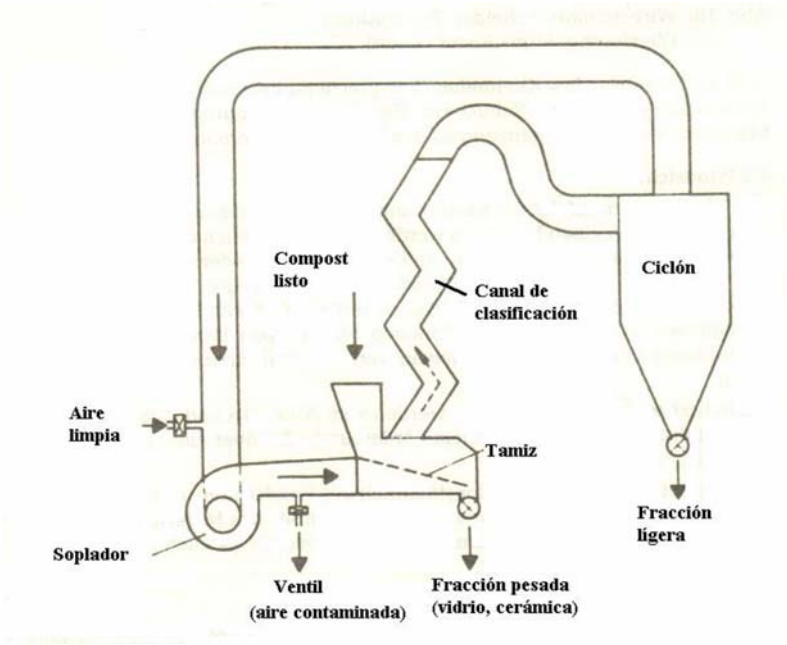
Se quedan generalmente elementos foráneos a dentro del compost producido de desechos domiciliarios (clasificados en la fuente o mezclados). Estos son trozos de plástico, vidrio o metal que son tan pequeños que no se pueden separar anteriormente

con la criba tambor o manualmente. Es más fácil separar estos materiales del producto listo, que ya es mucho más homogéneo que los desechos crudos.

En las plantas operadas manualmente, se separan los materiales foráneos a mano. Este es un procedimiento lento y difícil, como son generalmente trozos de pequeñas dimensiones. Por eso, si se intenta mecanizar una planta de compostaje pero no existe un presupuesto suficiente para mecanizar todos los procesos de condicionamiento, se recomienda mecanizar primeramente la clasificación del producto listo.

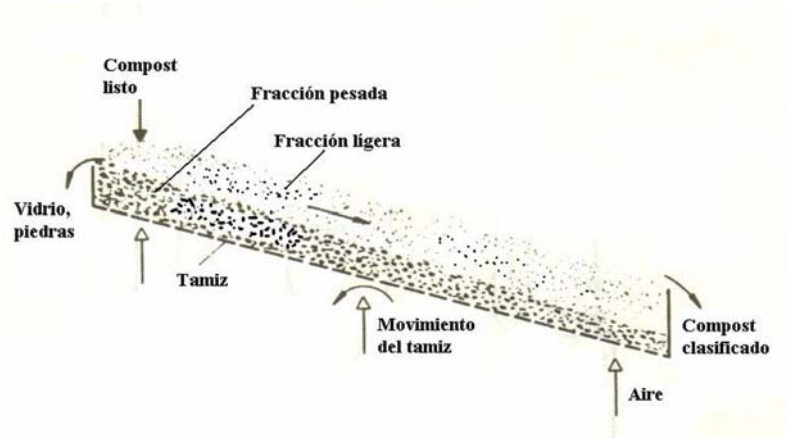
En plantas mecanizadas, la separación de materiales foráneos se hace con ayuda de equipo balístico o ciclones que separan los materiales más pesados (piedras, trozos de vidrio) de los más ligeros (abono). El principio de un separador balístico se muestra en el Dibujo 5.

Dibujo 5: Separador balístico /3/



Los elementos muy ligeros (papel, plástico) se separan con ayuda de tamices aireados o separadores con corriente de aire. Algunas tamices se pueden ajustar para fracciones diferentes (1. Ajuste: Fracción pesada: vidrio, piedras etc./ fracción ligera: compost; 2. Ajuste: Fracción pesada: compost/ fracción ligera: plástico, papel). Además, se recomienda utilizar una vez más un imán para asegurar que se separen todos materiales ferrosos del abono. Se puede realizar una eficiencia de separación de 98 % con este equipo. El principio de un tamiz aireado se muestra en el Dibujo No 6.

Dibujo No 6: Tamiz aireada /3/



Es verdad que son muy altos los costos de energía para los separadores balísticos y los separadores de corriente de aire, ya que necesitan un volumen muy alto de aire. Es por esto que se recomienda preferir un tamiz aireado en lugar de un ciclono o separador con corriente de aire.

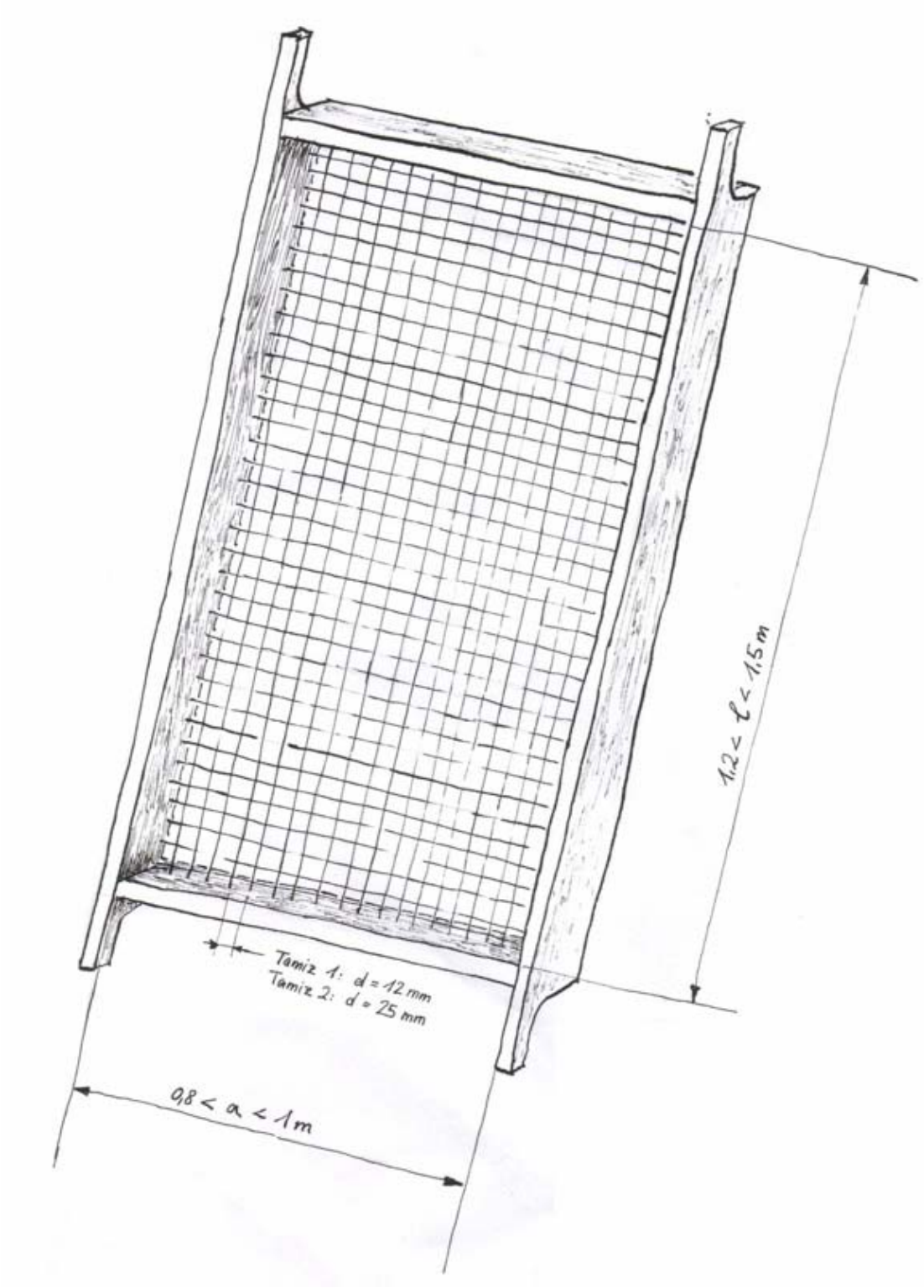
3.1.4.2. Clasificación del Producto en Fracciones

El abono listo se clasifica con ayuda de unos tamices en 2 o 3 fracciones. Las dimensiones estándar de las fracciones se presentan en el Cuadro 19, capítulo 5.3.4.

La fracción fina y mediana se puede utilizar como abono, para aumentar la calidad o estabilidad del suelo. La fracción gruesa se puede utilizar como material de filtro biológico, como cobertura del relleno sanitario, como material de relleno en la arquitectura del paisaje o como material de estructura dentro de la planta de compostaje.

La clasificación en fracciones se puede realizar con tamices manuales o con tamices tambor. Si es suficientemente eficaz la clasificación manual, no se recomienda utilizar un tamiz tambor sino para plantas de compostaje muy grandes. Un tamiz manual estándar se muestra en el Dibujo No. 7:

Dibujo 7: Tamiz manual estándar



3.1.5. Tratamiento del Aire y de las Aguas Lixiviadas

3.1.5.1. Tratamiento del Aire

El tratamiento del aire contaminado es necesario para plantas de compostaje mecanizadas (con aireación artificial) que se encuentran cerca de una área habitada. Se puede tratar el aire con ayuda de filtros biológicos o de columnas de lavaje (ver: capítulo 4.1.2.2.). La aireación artificial acelera el proceso de biodegradación pero produce una contaminación olfatoria mucho más elevada que la contaminación generada en plantas sin aireación artificial. La contaminación más elevada se encuentra en el área donde se realiza la fermentación principal. En plantas donde se hace una aireación con succión, el aire pasa el cuerpo de basura y se conduce por la tubería subterránea directamente al filtro biológico o a la columna de lavaje. Se necesita cerrar completamente el área de fermentación si se intenta hacer la aireación artificial con presión. En este caso, se saca el aire usado por ventilador y se conduce a la unidad de tratamiento. Esta solución es mucho más costosa que la aireación con succión y se recomienda solamente si no hay un terreno adecuado fuera de las áreas habitadas, y si es garantizado que el presupuesto municipal permita asumir los costos operativos a largo plazo.

En plantas manuales, no se necesita un tratamiento tecnológico del aire. Es verdad que hay emisiones olfatorias fuertes durante las primeras dos fases de descomposición y cada vez que se remueve el material, pero se pueden minimizar los impactos negativos con métodos sencillos y económicos. Se pueden cubrir los lechos o pilas de material con pasto o con una capa fina (5 - 10 cm) de abono listo de la fracción gruesa. Los dos materiales sirven como filtro biológico y pueden añadirse al material a compostar cuándo se termine su vida útil.

3.1.5.2. Tratamiento de las Aguas Lixiviadas

Se producen aguas lixiviadas en cada planta de compostaje. Estas aguas se generan con el agua que contiene la basura y que se desintegra por causa de presión y descomposición, con el agua de lluvia y el agua de riego (manual o artificial).

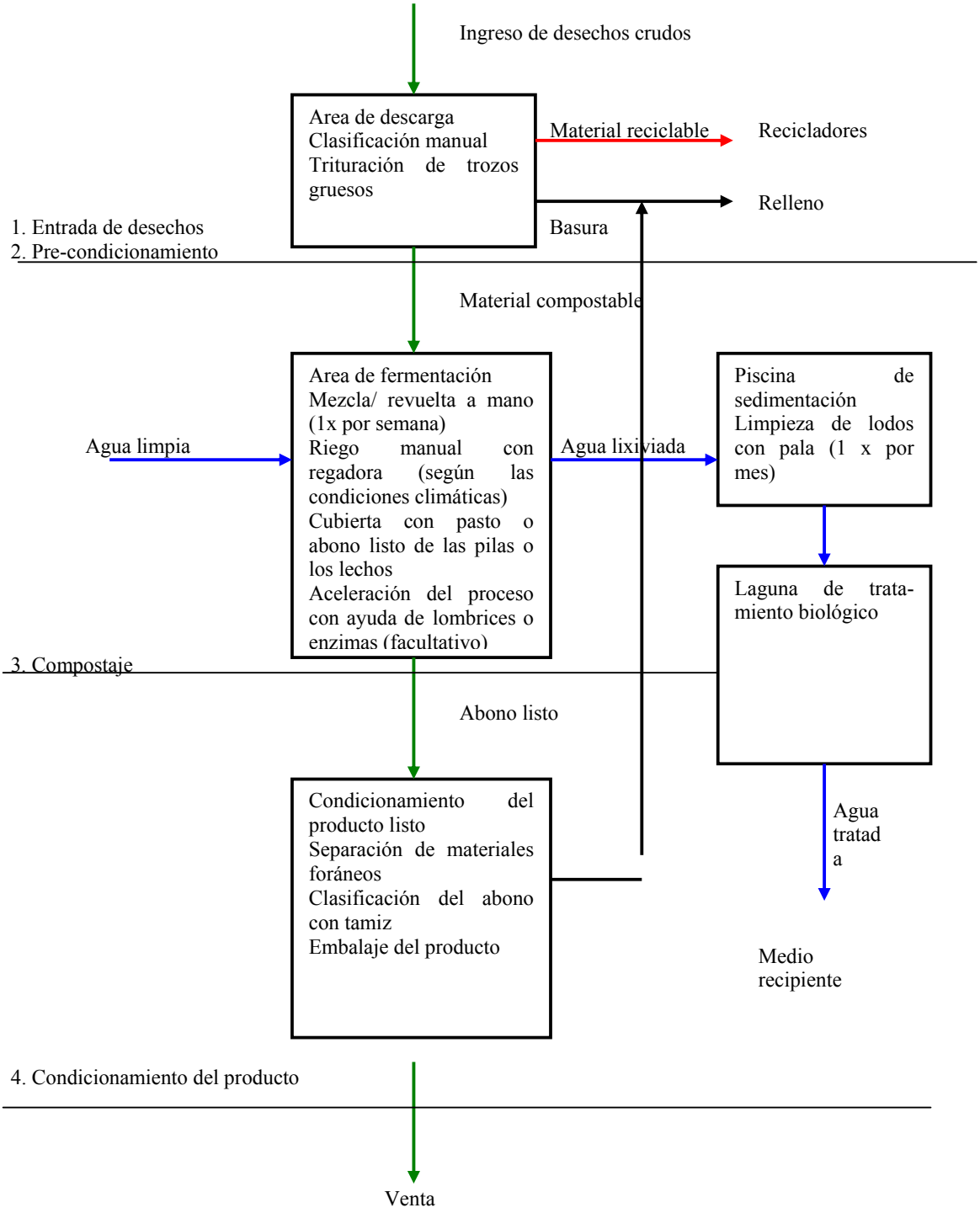
Las aguas producidas en el área de fermentación son altamente contaminadas. Se necesita un tratamiento para proteger el medio recipiente (aguas superficiales, alcantarillado) del impacto de esta contaminación.

Si se cuenta con un terreno bastante grande, se recomienda una piscina de sedimentación que permita aplicar un tratamiento en laguna, lo que es la alternativa más económica y más sencilla. El tratamiento de las aguas lixiviadas se explica en el capítulo 4.2.

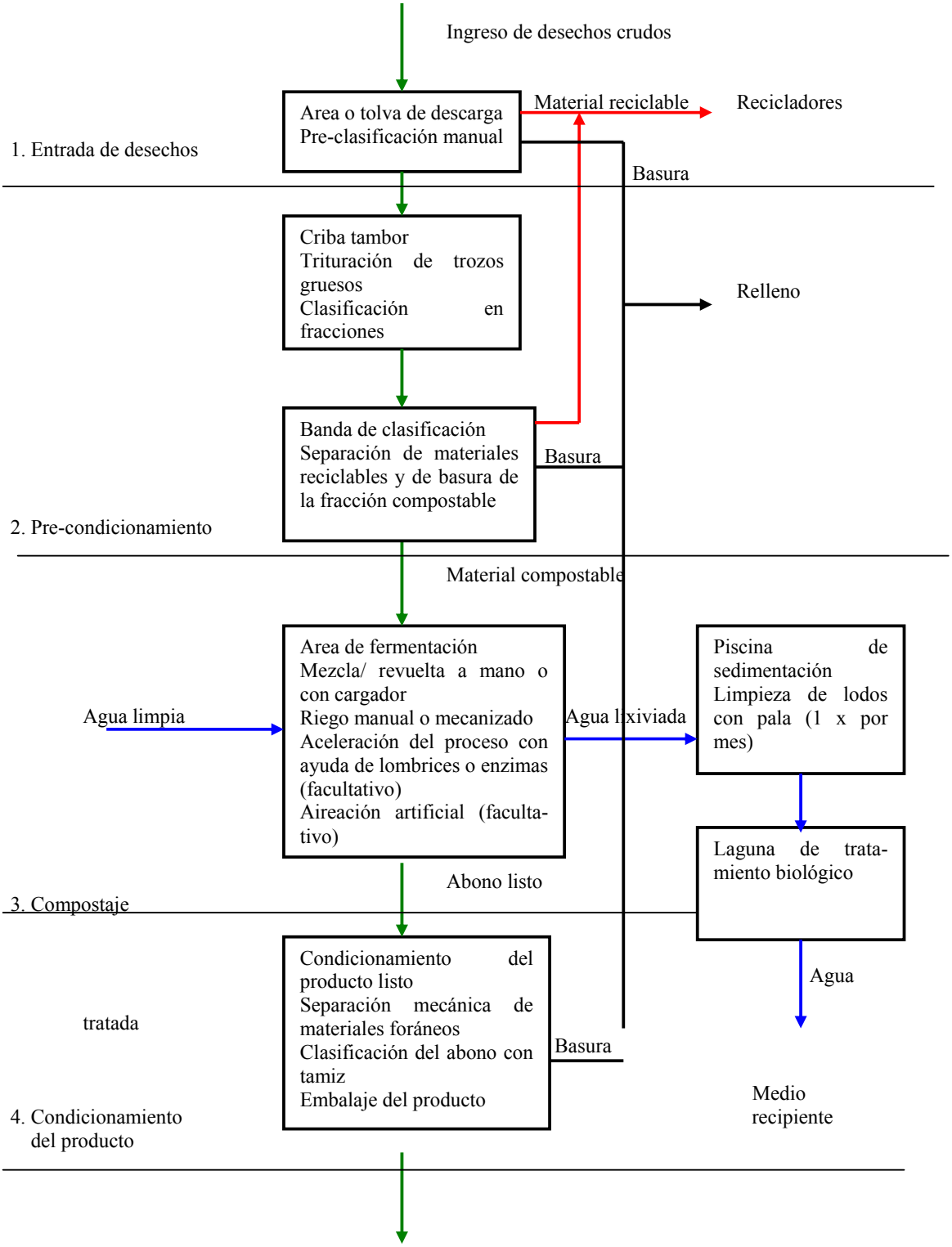
3.1.6. Diagrama de Flujo de una Planta de Compostaje

En el Dibujo 8, se presenta un diagrama de flujo ejemplar para una planta manual de compostaje, y en el Dibujo 9, se presenta un diagrama de flujo ejemplar de una planta semi- mecanizada.

Dibujo 8: Diagrama de Flujo de una Planta de Compostaje Manual



Dibujo 9: Diagrama de Flujo de una Planta de Compostaje Semi- Mecanizada



3.2. Sistemas de Compostaje

3.2.1. Compostaje en Pilas

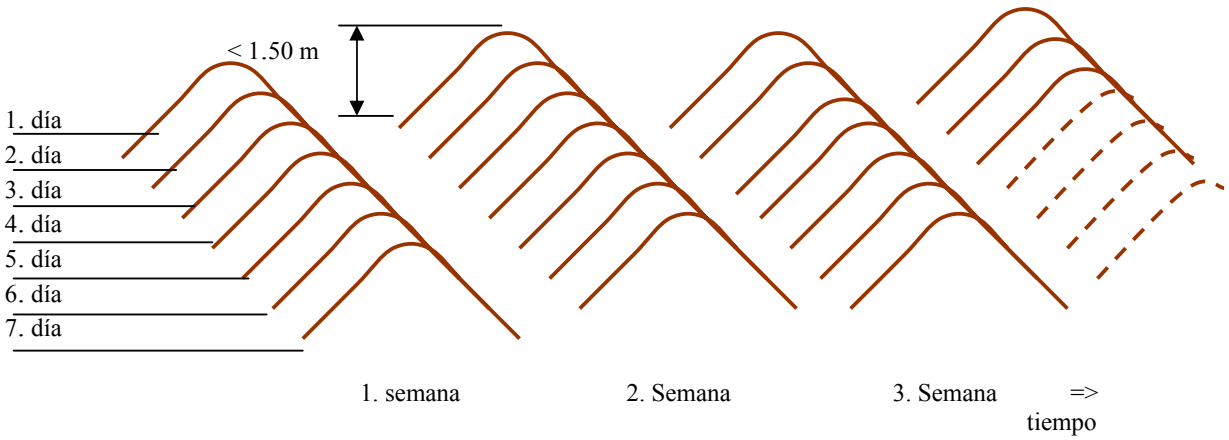
El compostaje en pilas es el sistema más antiguo y más sencillo. La operación de este sistema es muy fácil. Después de haber separado todo material foráneo (materiales no biodegradables) de la basura biodegradable que llega al relleno, el material se coloca en pilas triangulares.

El tamaño de las pilas es muy importante para el proceso de compostaje. No debe superar in cierto máximo, y tampoco debe quedarse bajo un volumen mínimo. Para asegurar la proliferación de los microorganismos que realizan el compostaje, se necesita una "masa crítica" mínima de 50 - 100 kg de basura biodegradable. Con esa masa, ya se puede prender y mantener durante un tiempo suficiente la reacción exóterma del proceso aeróbico que asegura las temperaturas necesarias para la higienziación del material. Esta "masa crítica mínima" es especialmente importante para el compostaje individual.

Para la aplicación por municipios, es más importante no superar el tamaño máximo de una pila. Si las pilas son más altas que 1.50 m, el aireación natural se impide y pueden ocurrir condiciones anaeróbicas (para sistemas de compostaje con aireación artificial, ese límite es de 2.50 - 3.00 m).

Una tonelada de basura corresponde aproximadamente a una pila (pila no aireada de 1.50 m altura). Se formarán filas con los montones de basura; una fila correspondiente al material de una semana. El sistema se muestra en el Dibujo 10.

Dibujo 10: Compostaje en montones o pilas



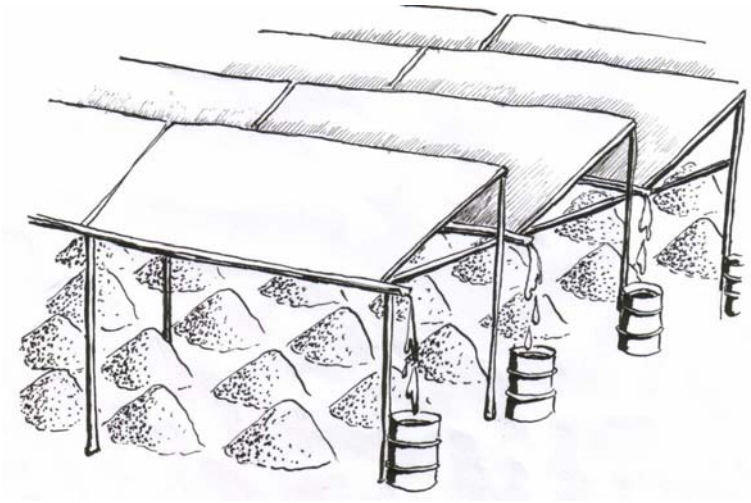
Las pilas de material biodegradable se deben cubrir con pasto, hojas de planta de banano o material similar para evitar el problema de olor y no atraer las moscas. Una vez por semana se deben mezclar las pilas para airear y homogenizar el material. La

mezcla/ revuelta del material se puede hacer manualmente con palas. Se debe remover el material de cobertura para la mezcla/ revuelta.

Si se realiza el compostaje en la Amazonía, es importante tomar en consideración las conidiciones climáticas. Como la Amazonía es una región de alta pluviosidad, se estima que la precipitación será demasiado alta para permitir un compostaje sin techo. Si se moja demasiado el material, pueden ocurrir condiciones anaeróbicas, lo que significa una putrefacción sin oxigeno. Bajo condiciones anaeróbicas, se proliferan los malos olores y hay una alta producción del gas metano.

Cuando se construye el techo, es importante que no impida el ingreso de viento. Se recomienda hacer una construcción ligera abierta a los cuatro lados. El techo se puede cubrir con zinc o con materiales naturales de construcción (pasto, hojas de palma, helecho, fronda, bananero etc.). El Dibujo 11 muestra un ejemplo como se podría cubrir el área de compostaje.

Dibujo 11: Cubierta del área de compostaje



Se pueden poner ductos para conducir el agua de lluvia a recipientes. De esta manera, se puede acumular el agua de lluvia para el riego de las pilas (si necesitan riego), en lugar de traer agua de afuera, lo que sería difícil y costoso. El riego se puede hacer con regadoras manuales, como se utilizan en la horticultura.

La biodegradación principal ocurre durante los primeros 3 meses del proceso. Es importantísimo que se haga regularmente la mezcla/ revuelta del material y que se controle la humedad. Se puede medir la humedad con un método muy simple, sin instrumentos. Se toma una pequeña cantidad del material en la mano y se apreta el material. Si salen 2 - 5 gotas de agua, la humedad es buena. Si sale menos agua, se necesita regar; si sale más, el riego debe ser interrumpido o, si es por causa de demasiada lluvia, se debe construir un techo para la planta de compostaje.

El compost debe ser humedecido durante los primeros 3 meses. La duración total del proceso será de 6 meses. Después de este periodo, el compost será maduro y no contendrá ingredientes fitotóxicos, bacterias patógenas y otros materiales nocivos. Si se cosecha el compost antes del periodo de 6 meses, no se puede garantizar que el producto esté completamente higienizado. Se recomienda construir el techo de manera que toda el área de compostaje se quedé bajo techo.

Como el volumen del material disminuye con el progreso de la biodegradación, se pueden combinar dos pilas para hacer una, con el fin de economizar el espacio. Si se combinan pilas, es importante que sean pilas que tengan aproximadamente la misma edad, para no mezclar compost maduro con compost inmaduro.

3.2.2. Lombricultura

3.2.2.1. Principios Generales de la Lombricultura

3.2.2.1.1. Principios Biológicos de la Lombricultura

En las plantas de lombricultura, se siembran lombrices para apoyar al proceso de compostaje o para realizarle completamente. Se utilizan los siguientes tipos de lombrices en la lombricultura:

- Lumbricus rubellus
- Eisenia Foetida (lombriz roja californiana)
- Eisenia Andrei

Entre estos tipos de lombrices, la lombriz roja californiana es la más común en América Latina. La lombricultura con Eisenia Foetida se realiza a larga escala en Cuba, Argentina, Chile, Perú y en el Sur del Ecuador.

Las lombrices de la especie Eisenia Foétida, (lombriz roja californiana), Eisenia Andrei o Lumbricus Rubellus, ingieren grandes cantidades de materia orgánica descompuesta. De esta ingesta, hasta un 60 % se excreta en una sustancia llamada humus de lombriz, lombricompuesto o vermicompuesto, que constituye un sustrato ideal para la proliferación de microorganismos útiles. Las lombrices transforman los minerales no asimilables presentes en los desechos y residuos animales, en nitratos y fosfatos directamente asimilables por las plantas.

El humus de lombriz es inodoro, no se pudre ni fermenta y su apariencia general es similar a la borra del café. En los análisis químicos realizados al humus de lombriz se detecta la presencia de hasta un 5 % de nitrógeno, 5 % de fósforo , 5 % de potasio, un 4 % de calcio, una carga bacteriana de 2 billones por gramo y un pH entre 7 y 7,5. De todos los estudios realizados se concluye que el lombricompuesto es un fertilizante orgánico de altísima calidad, acción prolongada, fácil y económica producción.

La producción de lombricompuesto está directamente ligada a la cantidad de lombrices operando y al cuidado que se dispense. Si se comienza, por ejemplo, con un núcleo de 10.000 lombrices, se podría obtener unos 50 kg mensuales durante los primeros meses. Pero tomando en cuenta el aumento en la población de lombrices, al cabo de un año la producción asciende a una cantidad que oscila entre 1,5 y 2,5 toneladas mensuales. Y si continúa manteniendo su población de lombrices, en seis meses más podrá recolectar unas 20 toneladas mensuales. Cuanto mayor sea el número de lombrices, mayor será la producción de humus y las ganancias.

Las lombrices son animales invertebrados del tipo anélidos, o sea, gusanos segmentados. Son hermafroditas y depositan sus huevos protegidos en una cápsula llamada cocón.

Hasta la actualidad se conocen entre 6 y 7 mil especies diferentes de lombrices, siendo la más conocida la Lumbricus Terrestris (lombriz de tierra); ésta vive exclusivamente en la tierra y se alimenta de la materia orgánica descompuesta presente en los suelos. En estado adulto llega a medir entre 9 y 30 cm. de largo. Su apareamiento se produce generalmente cuando asoman a comer a la superficie. La puesta de huevos se realiza a razón de un cocón por animal cada 45 a 60 días. Vive de 4 a 5 años.

No todas las especies son aptas para la cría. La mayoría, requiere condiciones muy precisas y difíciles de lograr.

Sin embargo existe una especie, llamada Eisenia Foétida, conocida como lombriz roja californiana, que no sólo es la que mejor se adapta al cautiverio, sino que posee características sorprendentes. En estado adulto mide entre 3,5 cm y 8,5 cm de largo, y en raros casos llega hasta 13 cm. Su peso oscila entre 0,4 y 0,6 gramos, si bien en condiciones apropiadas de cría, se logran ejemplares que pueden alcanzar 1 gramo.

De naturaleza estiércolera, es capaz de ingerir también grandes cantidades de materia celulósica, como rastrojos, aserrines, pulpas de celulosa, y en general cualquier desecho orgánico en descomposición. Es muy voraz, llegando a comer hasta el 90 % de su propio peso por día. De esta ingesta, excreta entre el 50 y 60 % convertido en un nutriente natural de altísima calidad, conocido como lombricompuesto o humus de lombriz.

Estas lombrices son muy prolíficas. Se aparean semanalmente, poniendo un cocón por lombriz cada diez días, refiriéndonos siempre a lombrices adultas. Estos huevos eclosionan a las 2 ó 3 semanas de puestos y dan a luz entre 2 y 20 lombrices cada uno. Estas recién nacidas alcanzan la madurez sexual luego de 6 a 10 semanas. Son inmunes a las enfermedades y tienen una increíble capacidad de regeneración. La longevidad de esta especie se estima en alrededor de 15 ó 16 años. Cuando la cría se realiza con todos los cuidados, se obtienen los mejores resultados /4/.

3.2.2.1.2. Cuidado de las Lombrices

Las lombrices soportan temperaturas entre 0° - 45°C. Se recomienda una temperatura entre 20° - 25° C para asegurar la mayor eficiencia del sistema. Para no matar a las

lombrices, no se pueden sembrar durante la fase de pre-fermentación o al comienzo de la fermentación principal.

Las lombrices necesitan un ambiente húmedo pero no demasiado húmedo para evitar que se ahoguen.

Es imprescindible asegurar que no ocurran condiciones anaeróbicas a dentro del cuerpo de basura. Las lombrices no pueden realizar el compostaje bajo condiciones anaeróbicas y se van de una región anaeróbica hacia regiones con oxígeno.

Se puede realizar la lombricultura con un pH entre 3 - 8; el óptimo es un pH entre 6 - 7.

Las lombrices prefieren un ambiente oscuro. Para asegurar que se dispersen homogenamente por todo el cuerpo de basura, se recomienda cobrar el área de lombricultura. Eso se puede hacer con pasto, con hojas de banano, tierra humus o con compost listo.

3.2.2.2. Lombricultura Intensiva y Compostaje con Lombrices

Se pueden diferenciar dos tipos de lombricultura. Hay el compostaje con ayuda de lombrices, y hay la lombricultura intensiva. La diferencia es la siguiente: Si se hace el compostaje con ayuda de lombrices, las lombrices ayudan con su movimiento a mezclar, mover y airear el cuerpo de basura. En la lombricultura intensiva, las lombrices comen los materiales compostables completamente. El producto de la lombricultura son las heces fecales de las lombrices (lombricompuesto) que son un humus extremamente fino, sin elementos tóxicos y con característicos excelentes de fertilizador. Si se siembran pocas lombrices al cuerpo de basura, se realiza el compostaje con ayuda de lombrices. Si se siembra una cantidad alta al cuerpo de basura, se produce el compost de heces de lombrices. Las diferencias entre los dos metódos y el compostaje estándar se muestran en el Cuadro 3:

Cuadro 3: Lombricultura Intensiva y Compostaje con Lombrices [1]

Asunto	Lombricultura Intensiva	Compostaje con Lombrices	Compostaje estándar manual
Objetivo	- Cría de lombrices como alimento agropecuario - Producción de humus como fertilizador - Valoración de la basura orgánica - Economía de terreno	- Producción de humus como fertilizador - Valoración de la basura orgánica - Economía de terreno	- Producción de humus como fertilizador - Valoración de la basura orgánica
Cantidad de compost producido	Aproximadamente 40 % del peso de la basura cruda	Aproximadamente 50 % del peso de la basura cruda	Aproximadamente 50 % del peso de la basura cruda
Siembra de lombrices	4000 lombrices por m^3 o 1 - 2 kg de lombriz para 1 kg de basura producida diariamente (sembrar 1 vez al comienzo de la implementación)	600 - 700 lombrices o 200 g de lombrices por m^3 (sembrar antes de cada implementación)	-
Tiempo necesario	3 meses	5 - 6 meses	6 - 9 meses
Producto	Heces de lombriz (humus arcilloso)	Compost	Compost
Valor nutritivo	Ver Cuadro 14	Ver Cuadro 14	Ver Cuadro 14
Materiales que se pueden compostar	Desechos de cocina (salvo carne), papel, heces fecales humanos o animales, no obstante la composición	Desechos de cocina (salvo carne), papel, heces fecales humanos o animales	Desechos de cocina (salvo carne), papel, heces fecales humanos o animales
Cosecha de lombrices	2 meses después del comienzo de la implementación; entonces cada mes	Paralelamente a la cosecha del producto	-
Problema de olores	No hay	Poco (durante la descarga de material y la mezcla/ revuelta)	Durante la descarga de material y la mezcla/ revuelta
Aptitud para compostaje individual	Si	Si	Si
Productos colaterales	Lombrices (comida para pollo, polluelo, pescado, camarones etc.)	Compost grueso (material de filtre biológico, material de estructura o relleno)	Compost grueso (material de filtre biológico, material de estructura o relleno)

3.2.2.3. Diseño y Construcción de una Planta de Lombricultura

Hay diferentes modelos comunes para construir una planta de lombricultura. El principio de construcción no es diferente si se trata de una lombricultura intensiva o del compostaje con ayuda de lombrices. El primero es el compostaje en pilas como esta descrito en el capítulo No. 3.2.1. (ver Dibujo 10). En esta aplicación, las lombrices se añaden simplemente a la superficie de la pila, de donde migran al interior del cuerpo de basura.

Otra posibilidad es el compostaje en lechos, que se pueden construir de ladrillos, madera, cemento o de otro material conveniente y económico. Los lechos no deben tener una profundidad de más que 50 cm, para evitar que ocurran condiciones anaeróbicas. De la misma manera, deben tener un ancho de no más que 1 m para

[1] Elaborado por la autora con base de referencias nacionales y literatura

facilitar el trabajo de los obreros que hacen la cosecha del material y de las lombrices, el mantenimiento y la operación de la planta. El largo de los lechos es técnicamente sin importancia. Se recomienda construir los lechos considerando la producción de basura. En plantas municipales de lombricultura, donde se descargan algunas toneladas de basura diariamente, se recomienda seleccionar el largo de los lechos de tal manera que cada lecho contenga el volumen de la basura que se produce diariamente. Como se puede cargar la basura cruda hasta 50 cm arriba del lecho, el volumen del lecho tiene que ser la mitad del volumen de la basura. Para una producción diaria de 10 toneladas de desechos biodegradables, el cálculo del volumen del lecho sería el siguiente:

10 toneladas de basura biodegradable con una densidad de 0.7 t/m^3 = 14.3 m^3 de basura
Volumen necesario del lecho = 1/2 del volumen de la basura = 7.15 m^3
Ancho del lecho = 1 m (fijo)
Profundidad del lecho = 0.5 m (fijo)
=> Largo del lecho = 14.3 m (seleccionado: 15 m)

Para comunidades pequeñas, los lechos se pueden diseñar para contener la cantidad de basura que se produce durante 2 o 3 días o durante una semana. No deben ser más grandes los lechos para asegurar un proceso de pre-fermentación homogéneo.

La cantidad de lechos debe ser suficiente para asegurar que se quede el material durante al menos 5 - 6 meses si se trata de una lombricultura con ayuda de lombrices o 3 - 4 meses si se trata de una lombricultura intensiva. Considerando la perdida de aproximadamente 50 % del material y volumen durante el proceso de biodegradación, se puede calcular la cantidad necesaria de lechos como se muestra en el Cuadro 4:

Cuadro 4: Cantidad necesaria de lechos[2]

Tipo de lombricultura	Lechos contienen el volumen diario de basura	Lechos contienen el volumen de basura que se produce en 2 días	Lechos contienen el volumen de basura que se produce en 1 semana
Lombricultura intensiva	50	25	8
Compostaje con ayuda de lombrices	90	45	13

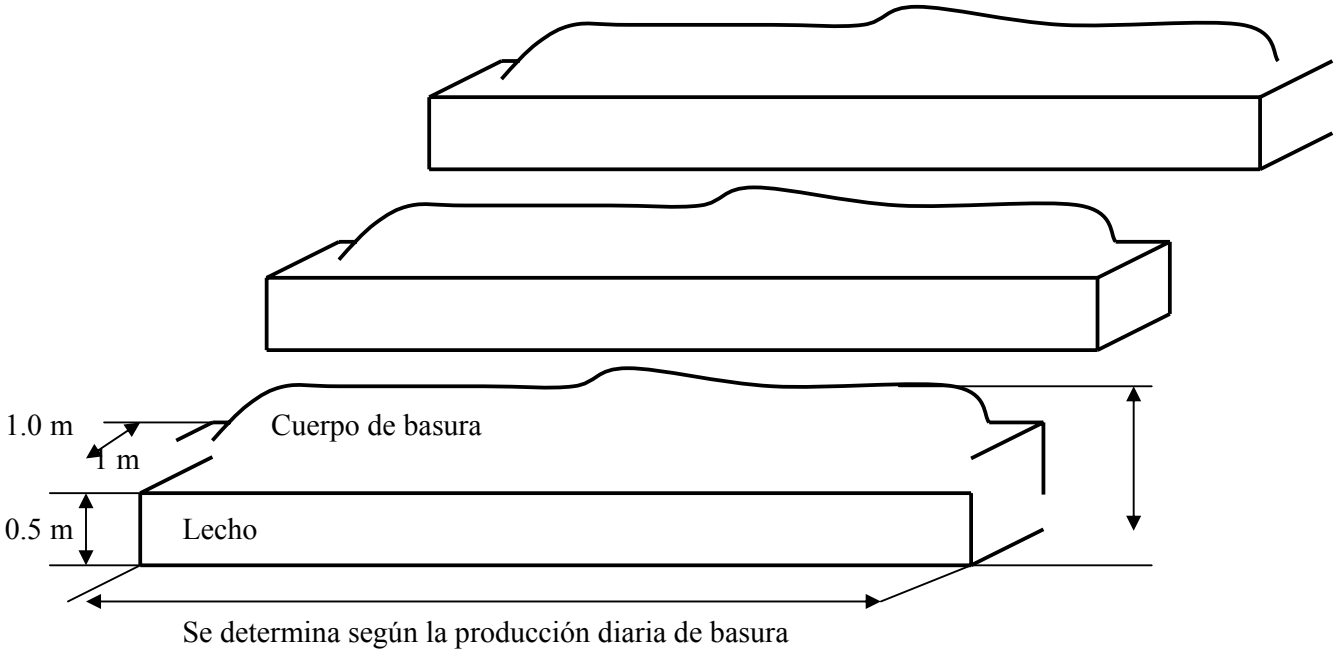
La formula de cálculo para el número de lechos es:

$$N = \frac{0.5 * \text{No. de días que tarda el proceso}}{\text{No. de descargas que se pueden hacer a un lecho por semana}}$$

Se muestra un esquema de construcción de una planta de lombricultura a base de lechos en el Dibujo 12.

[2] Cálculo hecho por la autora en base de las fórmulas siguientes

Dibujo 12: Construcción de una planta de lombricultura con lechos.

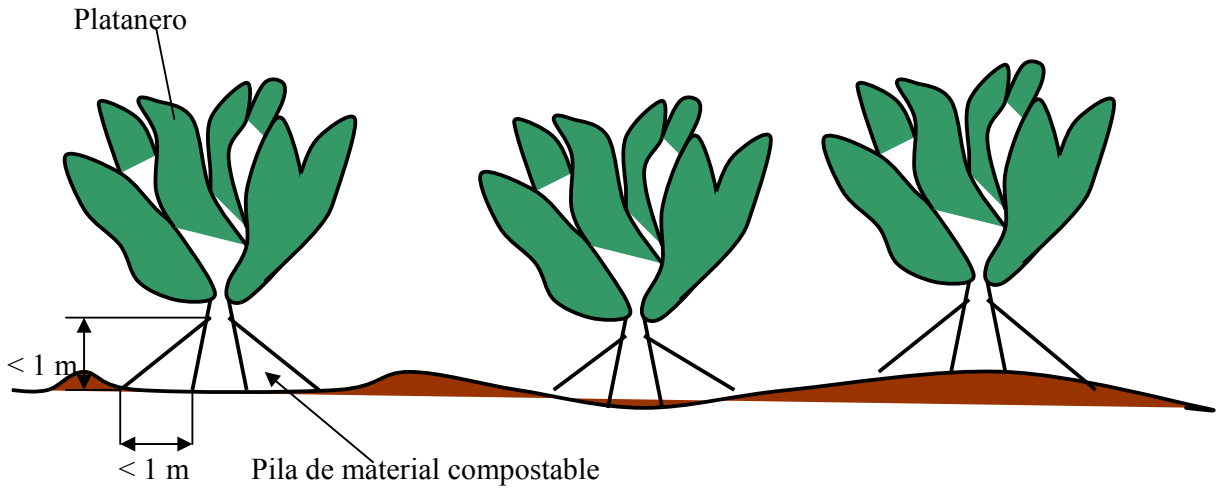


Para un desagüe fácil de las aguas lixiviadas, se debe construir el lecho con una inclinación de 1 - 2 % y un orificio de desagüe. Con esa medida, se impide la putrefacción del material dentro del lecho.

En las regiones donde hay cultivo de plátano, se recomienda otra posibilidad de construir una planta de lombricultura para reducir los costos de riego. Es posible construir pilas triangulares de material compostable abajo de los plataneros que se riegan junto con el plátano. Las aguas lixiviadas del compostaje se consumen por el platanero. Esas pilas no deben ser muy altas, para evitar que ocurran condiciones anaeróbicas. Se recomiendan pilas con una altura de 1 m por 1m. de un ancho.

Se muestra el principio de la construcción de la lombricultura abajo de los plataneros en el Dibujo 13:

Dibujo 13: Construcción de una planta de lombricultura abajo de los plataneros



Se recomienda hacer la lombricultura bajo plataneros solamente con desechos vegetales (hojas de plátano, desechos de cocina sin carne, desechos celulósicos etc.) para evitar una contaminación elevada del suelo, lo que puede afectar los plataneros e indirectamente también la salud humana.

3.2.2.4. Manejo de una Planta de Lombricultura

Es diferente el manejo de las plantas de lombricultura intensiva y de las cuales donde se realiza el compostaje con ayuda de lombrices. Por esta razón, se trata el manejo en dos subcapítulos diferentes.

3.2.2.4.1. Manejo de una Planta de Compostaje con Ayuda de Lombrices

La operación de una planta de compostaje con ayuda de lombrices se realiza en un principio como esta descrito en el Dibujo 8.

Lo que es importante es que no se ponga la lombriz durante el primer mes del compostaje. Ya que se realiza la pre-fermentación y comienza la fermentación principal, la temperatura es muy elevada y se puede morir la lombriz. Se recomienda compostar el material durante un mes antes de sembrar las lombrices. Durante ese tiempo, se puede mezclar el material una vez por semana para airear y homogenizar.

Las lombrices se siembran cuando haya bajado la temperatura del material hasta unos 30° - 35°C. Se necesita al menos una cantidad de 600 - 700 lombrices por m^3, lo que corresponde a 200 g/m^3. No hay inconveniente si se ponen más lombrices. Si se hace el compostaje con lechos largos, se recomienda sembrar las lombrices en diferentes lugares del lecho, para que se desarrolle el proceso de biodegradación homogeneamente.

Cuando esté listo el compost, se pueden cosechar las lombrices. La cosecha se puede hacer poniendo pasto húmedo arriba del material. Como el material ya está compostado, no ofrece mucha comida para los lombrices que prefieren irse hacia el pasto húmedo. Otra alternativa es poner basura cruda a un lado del lecho. Las lombrices se van en dirección de la basura cruda, abandonando el producto listo. Esta migración tarda entre 2 días y semanas.

Cuando se hace el compostaje con ayuda de lombrices, el producto es un compost normal, mezclado con un cierto porcentaje de heces de lombrices (lombricompuesto). Ese compost contiene partículas de diferentes dimensiones que se deben clasificar como está descrito en el capítulo 3.1.4.

El Apéndice muestra la aplicación en la planta de lombricultura que está operativa en el Municipio de Loja.

3.2.2.4.2. Manejo de una Planta de Lombricultura Intensiva

3.2.2.4.2.1. Operación Como la Planta de Compostaje con Ayuda de Lombrices

La planta de lombricultura intensiva se puede a groso modo operar como la planta de compostaje con ayuda de lombrices. Hay algunas diferencias, estas son:

- la cantidad de lombrices a sembrar es mucho más elevada
- las lombrices se cosechan regularmente (1 x por mes o 1x todos dos meses)
- el producto contiene solamente lombricompuesto homogéneo que no tiene que ser clasificado en fracciones
- el compost se puede cosechar después de 3 - 4 meses, cuando esté transformado todo el material en lombricompuesto.

3.2.2.4.2.2. Operación Con Carga Continua de Materia Cruda

Este tipo de lombricultura se puede operar con los tres modelos descritos en el capítulo 3.2.2.3. La diferencia es que no se pone todo el material a digerir desde el comienzo pero que se añaden sucesivamente capas flacas de material nuevo, siguiendo el proceso de digestión por las lombrices.

La diferencia es que al inicio de la operación se carga una cierta cantidad de basura pre-fermentada de un mes (por ejemplo, 50 kg), a la cual se agrega una cantidad de lombrices de 100 - 200 % del peso de la basura. Entonces se puede agregar cada día la misma cantidad de basura, que se digiere durante el día.

Aproximadamente a los dos meses de comenzada la actividad, la población de lombrices habrá aumentado al doble. Entonces será tiempo de duplicar el espacio del área de lombricultura y también la cantidad de alimento diario. Cuando transcurran otros dos meses, se deberá duplicar nuevamente el espacio y el alimento y así, sucesivamente hasta que se logre la capacidad diaria deseada. Para mantener estable la

población de lombrices, se deben cosechar las lombrices cada mes o cada 2 meses. Si se hace la cosecha cada mes, se debe cosechar un 25 % de la población de lombrices para asegurar que haya bastante lombrices para continuar el proceso de lombricultura. Si se cosechan las lombrices cada 2 meses, se puede cosechar hasta el 50 %.

Antes de comenzar con la primera carga de basura, se debe preparar una "cuna" para las lombrices, para que puedan retirarse de la superficie. Esta cuna puede consistir de heces animales (pre-fermentadas! Sino, se mueren las lombrices), de paja, pasto, papel, tierra o compost. Se debe humedecer el material como esta descrito en el capítulo 3.2.2.1.2. Después se puede sembrar la cantidad de lombrices correspondiente a la cantidad diaria de basura que se intenta poner a la lombricultura. Se puede comenzar a cargar la basura una semana más tarde.

La basura que se agrega regularmente a la lombricultura se debe poner en capas delgadas, no más que 8 - 10 cm de profundidad. Con esto se asegura que las lombrices puedan comer rápidamente el material, antes que se realice la pre-fermentación. Después se debe cubrir el área de lombricultura (con pasto, paja, hojas de plátano etc.) para oscurecer el ambiente de lombricultura y proteger las lombrices del sol. Antes de cargar nuevo material se debe controlar si ya se digerió el material puesto el día anterior. Sino, se debe reducir la cantidad diaria de basura hasta que crezca la población de lombrices y pueda comer una cantidad más. Se puede agregar basura diariamente, cada 2 días o una vez por semana. No se recomienda dejar las lombrices sin suministro de comida durante más que 2 semanas. Si se compostan heces fecales de animales, se recomienda cargar el material 1 vez por semana.

3.2.2.4.2.3. Uso de las Lombrices

Las lombrices cosechadas se pueden utilizar como alimento para animales en la agricultura. El contenido alto de proteínas en las lombrices las convierte en un alimento muy valoroso para el pollo, polluelo, pescado u otros mariscos. Especialmente la lombriz Lombricus rubellus es muy apropiada como alimento para pescado. Con el uso de lombrices secadas como alimento de pollos y polluelos se puede evitar la contaminación de la carne de pollo con salmonella.

3.2.2.5. Condiciones Especiales de Lombricultura en el Clima Trópico Húmedo

El clima trópico húmedo, como lo encontramos en la Amazonía y algunas zonas de la costa ecuatoriana, cambia considerablemente las condiciones de la lombricultura. El Cuadro 5 muestra los parámetros más importantes para el clima trópico húmedo en comparación con el clima templado /5/.

Cuadro 5: Parámetros de compostaje en los climas trópico húmedo y templado /5/

Parámetros	Clima trópico húmedo	Clima templado
Maduración sexual de las lombrices	en 30 días	en 90 días
Frecuencia de postura de cápsulas	Cada 4 días	Cada 12 días
Período de pre- fermentación	20 - 30 días	30 días
No. de nacimientos por cápsula	3 - 4 lombrices	2 – 20 lombrices
Incremento de peso de las lombrices	A los 30 días logra el peso equivalente a 1 gramo	A los 9 meses logra el peso equivalente a 1 gramo
Protección de los lechos	Contra depredadores y lluvia fuerte	Se pueden utilizar lechos al aire libre
Periodo de compostaje con lombrices	4 meses	6 meses

Lo más importante para el éxito de la lombricultura en el clima trópico húmedo es la protección de los lechos contra las condiciones climáticas adversas y los depredadores. Par la protección contra la lluvia, se recomienda construir los lechos bajo un techo sencillo, como se describe en el capítulo 3.2.1., Dibujo 11.

En el clima tropical húmedo, los enemigos naturales de la lombriz más importantes son:

- sapos
- aves rapaces
- hormigas
- ratas
- ciempiés

La mejor protección contra las aves rapaces es una cubierta del material biodegradable con paja, helecho u otras plantas adecuadas, como se recomienda en todo caso para la disminución de malos olores.

Se puede disminuir el ataque de sapos despejando las áreas adyacentes a los lechos; si no es suficiente esta medida, se puede espolvorear aldrín alrededor de los lechos. Este químico previene también que lleguen ratas, hormigas o ciempiés a los lechos.

Es preferible no utilizar pesticidas en vecindad de los lechos, como se pueden mezclar con el material biodegradable y dañar a su calidad como abono biológico. Se puede también trazar un pequeño canal de agua alrededor de los lechos, que impide el ingreso a los ciempiés y hormigas, y se pueden cuidar enemigos naturales de ratas (como algunas serpientes domesticadas, gatos etc.) en la planta de lombricultura.

3.2.4. Sistemas Mecanizados

Existen diferentes sistemas mecanizados para el compostaje. Los más importantes se presentan en los sub-capítulos siguientes:

- Compostaje en pilas con ayuda de maquinaria (con cargadores o con una máquina de mezcla/ revuelta)
- Compostaje en contenedores
- Compostaje en túneles
- Lombricultura mecanizada

En general, todos los sistemas mecanizados disponen de aireación artificial (con presión o succión) y de un sistema automático de riego.

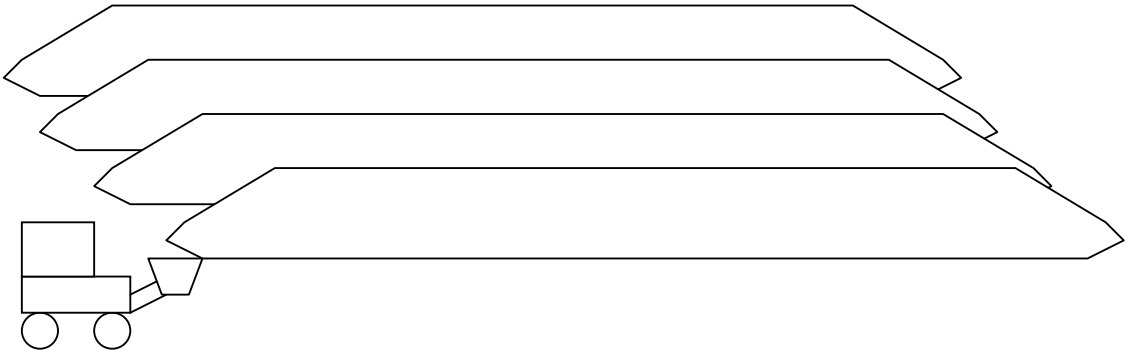
Se realiza generalmente la fase de pre- fermentación y de fermentación intensiva con el sistema mecanizado. Después, se deja el compost tierno para la maduración completa en pilas que ya no deben ser aireadas o humedecidas. La primera fase acelerada tarda en general unas 4 - 6 semanas. La higienización del material tierno necesita unas 6 - 8 semanas más.

3.2.4.1. Compostaje Mecanizado en Pilas

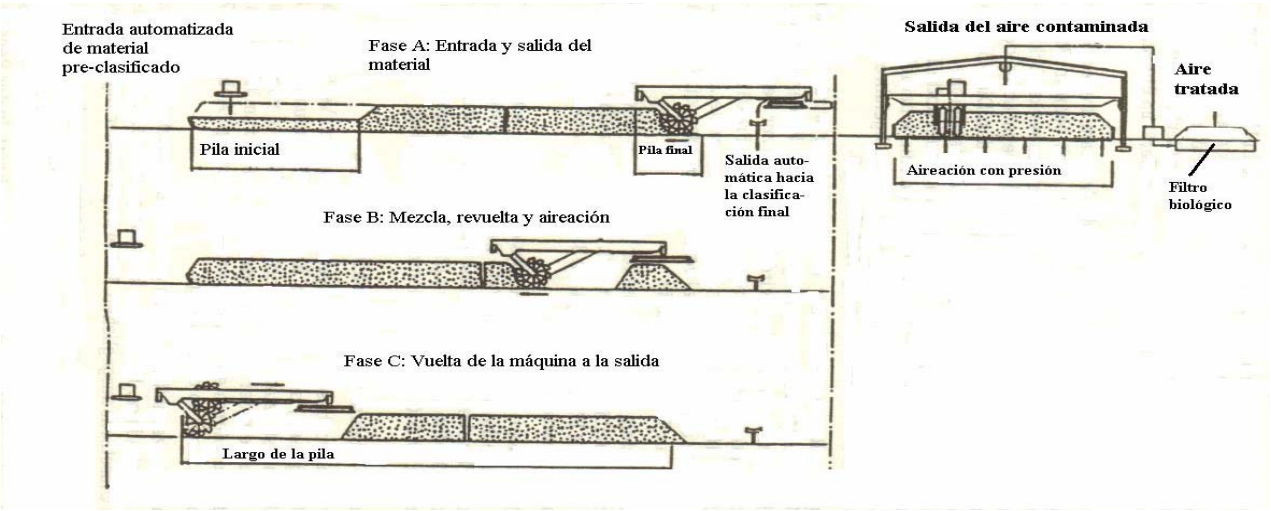
El compostaje mecanizado en pilas es un sistema muy parecido el compostaje manual en pilas. Las diferencias más importantes son:

- La basura biodegradable se la puede colocar en pilas más altas (hasta 2.50 - 3 m)
- Si se utilizan cargadores para la mezcla/ revuelta, se pueden utilizar pilas contínuas; si se utiliza una máquina especial de mezcla/ revuelta, la basura puede colocarse en una sola pila muy extendida (ver: Dibujo 14).
- Con las pilas más altas y mas concentradas, se necesita menos espacio.
- Con la aireación y el riego automático, el tiempo necesario para el compostaje se reduce a aproximadamente 3 meses.

Dibujo 14: Planta mecanizada con pilas continuas



Dibujo 15: Planta mecanizada con máquina de mezcla/ revuelta /6/



3.2.4.2. Compostaje en Túneles o Contenedores

Para este sistema, se carga la basura cruda en contenedores de un volumen de 20 - 70 m^3. Los contenedores son unidades móviles que se pueden levantar y mover con ayuda de grúas. Tienen equipo para medir las condiciones atmosféricas dentro del contenedor, con el fin de optener aireación y humedecimiento de manera óptima. Con este ajuste, se acelera el proceso de pre-fermentación y de fermentación intensiva. Existen contenedores con maquinaria de mezcla/ revuelta y otros que se operan sucesivamente.

Los desechos se quedan en el contenedor para 1 - 2 semanas. Después, el compost tierno será dejado a una larga fermentación en pilas.

El compostaje en contenedores se puede realizar muy flexiblemente. Ya que se pueden operar varios contenedores independientes, es posible realizar el compostaje de diferentes materiales en diferentes contenedores y arreglar los parámetros (aire, agua) según las necesidades específicas. Las emisiones se pueden controlar muy bien.

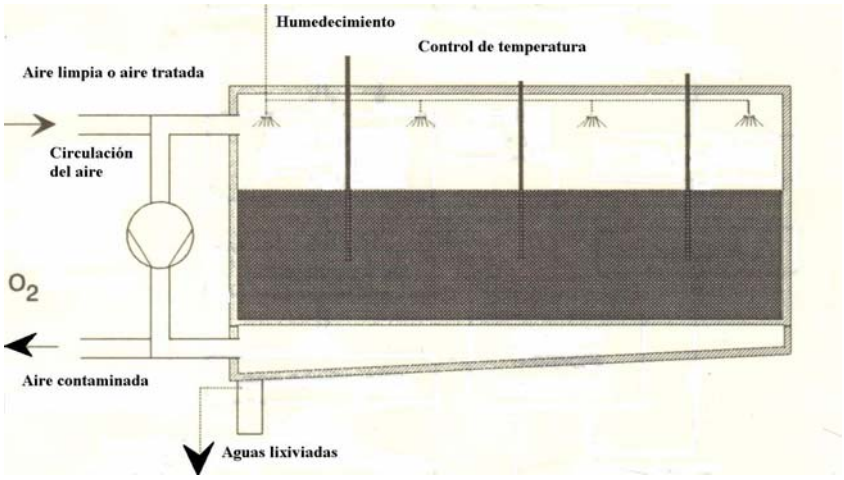
Del otro lado, el sistema tiene algunas desventajas. Por ejemplo, el costo de inversión para los contenedores es muy alto. Además, los contenedores son sistemas susceptibles a daños mecánicos. Son aptos para compostar basura biodegradable con procedencia de la clasificación domiciliaria, desechos de parques y jardines, desechos mezclados con estiércoles etc. pero no se pueden utilizar para el compostaje de basura doméstica no clasificada. El contenido alto de materiales foráneos causaría muy probablemente daños al equipamiento.

El compostaje en contenedores es un sistema apto para municipios de tamaño medio, que tienen bastante recursos para la inversión, la capacidad técnica para operar los contenedores y que ya tienen establecido un sistema de clasificación domiciliaria.

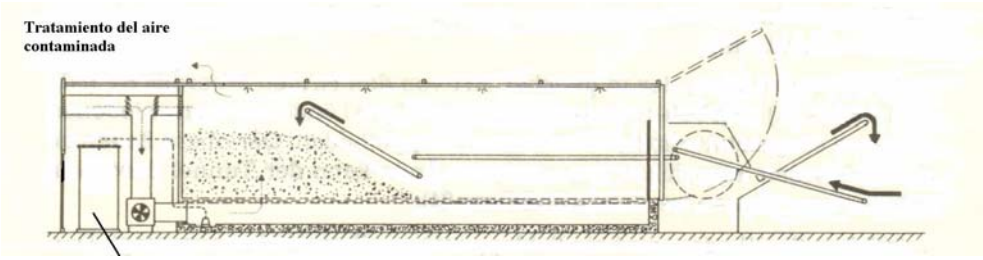
Los túneles de compostaje son un sistema muy parecido a los contenedores. Es la variante apropiada para grandes municipalidades. Son contenedores más largos, mejor equipados y no móviles. Ya que los túneles tienen generalmente equipo automático de mezcla/ revuelta, que en el mismo tiempo compensa la perdida de volumen durante la fermentación, necesitan muy poco espacio. Las otras características, ventajas y desventajas técnicas son los mismos que la de los contenedores.

El principio de funcionamiento de un contenedor de compostaje se muestra en los Dibujos 16 y 17.

Dibujo 16: Control de parámetros técnicos en un contenedor de compostaje /6/



Dibujo 17: Funcionamiento del contenedor de compostaje /6/



3.2.4.3. Lombricultura Mecanizada

Todavía no hay literatura extensiva sobre ese tema. Se pueden obtener más informaciones bajo las direcciones web siguientes:

www.vermigrand.at
www.lombricultura.net
www.lombricultura.com
www.wormdigest.org

3.2.5. Compostaje Individual (Compostaje en el Jardín)

El compostaje individual (compostaje en el jardín) tiene muchas ventajas económicas y ecológicas, por causa de las cuales se debería promover en todo lugar que tiene la estructura arquitectónica necesaria. Las ventaja más importantes que son las siguientes:

- si se compostan los desechos biodegradables individualmente (en el jardín), el costo de la recolección municipal se puede bajar considerablemente.
- Se reduce la cantidad de los desechos que se van al relleno y se extiende la vida útil del relleno, lo que es una ventaja tanto económica como ecológica.
- Se reducen los costos de inversión y operación de la planta de compostaje municipal, si esta existe (esto es un factor importante donde los costos del compostaje son más altos que los ingresos de la venta del humus).
- La calidad del material compostado es generalmente mucho más alta que la que se logra en la clasificación domiciliaria; por consecuencia hay un compost de mejor calidad y menos problemas de contaminación.
- Las personas que producen el compost pueden obtener ventajas económicas vendiendo el compost o utilizándolo en lugar de fertilizador en su propio huerto o campo.

En la ciudad de Riobamba se implementa un sistema de compostaje semi-individualizado, donde se agrupan unas familias de un barrio para realizar juntos la lombricultura en un terreno apropiado. El municipio les asegura el suministro de la basura biodegradable y les da una capacitación inicial. Actualmente hay 13 grupos de compostadores.

El compostaje individual se realiza mejor en comunidades pequeñas con menos de 4000 habitantes /7/, como el porcentaje de personas con jardín es más elevado en las pequeñas municipalidades. También son apropiadas áreas urbano-marginales con baja densidad de población. En general se puede decir que el compostaje individual se puede realizar sin demasiada molestia olfatoria o estética si hay más de 25 m^2 de jardín/ persona (si una familia de 5 personas tiene un jardín de 125 m^2, por ejemplo, ya es suficiente.)

Se puede realizar el compostaje individual con pilas o dentro de un recipiente especial. Si se utilizan pilas, es importante que una pila contenga al menos unos 50 - 100 kg de material (mejor 100), sino, no se prende el proceso de auto-calentamiento y

no se conserva la temperatura necesaria. Los recipientes de compostaje se pueden fabricar en casa; son cajas de listones de madera que permiten que entre bastante aire sin dejar caer afuera el material compostable. En general la caja de madera se pone sobre pies (piedras, trozos de madera, etc) para desagüe de las aguas lixiviadas. Si se hace el compostaje en caja, atrae menos rodeadores, moscas etc. Una caja de compostaje se fabrica según la cantidad de material que se produce en casa.

Los principios de riego y de mezcla/ revuelta del material son los mismos como se a descrito anteriormente. Si se composta en pila, se pueden utilizar palas; si se composta en recipiente, se recomienda utilizar un sistema de lombricultura para acelerar el proceso y asegurar una buena aireación.

Se deben utilizar 2 pilas o 2 cajas, la una para el material crudo y la otra para el material más maduro. Durante 3 meses, se llena la caja o pila de material crudo, después se pasa a llenar la otra. Se deja madurar el material en la primera caja/ pila y se cosecha el compost después de 3 meses. Pues se utiliza esta caja/ pila para el material crudo y se deja madurar el material en la otra caja.

Si se hace el compostaje individual, es también necesario clasificar el compost listo con una tamiz. Se recomienda la confección casera de un tamiz con aperturas de 1 cm. el tamiz se puede apoyar sobre un caballete para que una sola persona pueda realizar la clasificación.

4. Impactos Ambientales

La producción de compost tiene los siguientes impactos ambientales:

- Contaminación olfatoria
- Contaminación del agua (por aguas lixiviadas)
- Contaminación del suelo (si se aplica compost que contiene metales pesados)

La contaminación olfatoria y la contaminación del agua se tratan aquí. Las informaciones sobre la contaminación del suelo se dan en el Capítulo 5.3., ya que este tema es directamente relacionado con la calidad del compost.

4.1. Aire

4.1.1. Emisiones Olfatorias

Se pueden distinguir tres tipos de emisiones en forma de gas que se producen en una planta de compostaje:

- Emisiones olfatorias provenientes de la basura cruda

- Emisiones olfatorias biógenas
  - Productos gaseiformes de la fermentación

- Productos del metabolismo de la fermentación (ellos dependen de la tecnología que se utiliza)
- Productos de la transición anaeróbico - aeróbico (no es técnicamente posible impedir la generación de esas emisiones)

- Emisiones olfatorias abiógenas
  - Productos de pirólisis, productos Maillard y productos de auto-oxidación

Los gases más importantes para el impacto olfatorio son limonen, pentan, campher, alcanes y pentilfuran. Las emisiones olfatorias no son peligrosas, patógenas o contaminantes en la concentración emitida, que es muy baja, pero estos gases ya se sienten en una concentración de unos ppm. El impacto de estas emisiones es una molestia para la población de habitaciones vecinas. Este impacto se aumenta con la capacidad de la planta de compostaje. Además, las emisiones olfatorias de las plantas mecanizadas son más elevadas que las de las plantas manuales (por causa de la mezcla/ revuelta más intensa y del aireación artificial).

4.1.2. Medidas para Limitar el Impacto de las Emisiones

4.1.2.1. Selección del Lugar

Los parámetros más importantes para la selección de un sitio para una planta de compostaje son la distancia entre este lugar y las habitaciones más cercanas, y la dirección prioritaria del viento. Se recomienda que la distancia entre la planta de compostaje y las habitaciones más cercanas sea más de 1 km, y más que 2.5 km en la dirección de viento prioritaria. La distancia puede ser hasta 50 % menos si la planta de compostaje se encuentra encima de una colina o si una barrera natural (loma, bosque) /8/.

Esos números son válidos para plantas municipales, donde se composta la basura de toda una ciudad. El compostaje individual no debe hacerse tan lejos del lugar de la generación de la basura pero se recomienda también instalar el lecho o la pila de compostaje en el rincón más alejado del lote.

Se recomienda que los obreros de la planta de compostaje no trabajen sin masques. Si se opera una gran planta de compostaje con cargador, es preferible un cargador con cabina climatizada.

4.1.2.2. Tratamiento del Aire

No hay necesidad de tratamiento del aire en las plantas manuales o en las plantas semi-mecanizadas sin aireación artificial. Es suficiente cubrir las pilas o los lechos con pasto, compost grueso u otro material adecuado. Ese material absorbe las emisiones que difunden afuera durante el proceso de compostaje.

Es diferente para las plantas mecanizadas con aireación artificial. Aquí el caudal de aire es demasiado alto. Para una reducción eficaz del tufo se necesitan las medidas siguientes:

- Reducción de la cantidad del aire sucio (recirculación del aire)
- Reducción de la concentración de gases fétidos en el caudal remanente (con filtro biológico)
- Impedir el intercambio entre el área de compostaje y el atmósfera (por aireación con un sistema de succión)
- Dilución suficiente del aire descargado (con chimenea o construyendo la planta de compostaje en un lugar elevado y abierto al viento).

Los filtros biológicos se construyen del material mismo que sobre de la producción del compost: con compost grueso. Este material orgánico y poroso retiene las componentes fétidos, que también son orgánicas, por ayuda de microorganismos que se encuentran dentro del compost grueso.

Un filtro biológico se compone de las siguientes unidades:

- Sistema de distribución del aire
- Capa activa de filtro (compost grueso)
- Sistema de humedecimiento (manual o con riego automático)
- Sistema de drenaje de las aguas lixiviadas del filtre biológico

El aire sucio se inyecta a la capa de filtro por un sistema adecuado de distribución (por ejemplo: tubería con huecos para la salida del aire). La capa de compost grueso debe tener una altura de 1 - 1.5 m. El filtro biológico no debe secarse, debe tener la humedad del compost nuevamente cosechado, que se puede mantener con riego manual o automático. Las dimensiones del filtro biológico se calculan según la cantidad de aire contaminada. Los parámetros más importantes para la construcción de filtros biológicos se presentan en el Cuadro 6:

Cuadro 6: Parámetros para construcción de filtros biológicos /9,10/

Parámetro	Necesidad
Area del filtro	1 m^2 para 10 m^3 de aire contaminada
Personal	0.8 - 1 hora de trabajo/(m^2 del área del filtro * año)
Consumo de agua	1 - 1.5 m^3/(m^2 del área del filtro * año)
Consumo de energía	1.8 - 2.5 kW/1100 m^3 de aire contaminada

4.2. Aguas Lixiviadas

Las aguas lixiviadas se producen especialmente durante las primeras semanas del compostaje (pre- fermentación y comienzo de la fermentación intensiva), debido al alto contenido de agua de los desechos sólidos y al riego necesario para mantener la humedad suficiente. Para evitar la contaminación del suelo y, por consecuencia, de las aguas subterráneas, se recomienda seleccionar un terreno con suelo arcilloso para la planta de compostaje.

La cantidad de aguas lixiviadas varia según la composición de los desechos sólidos. Si se compostan desechos biodegradables domiciliarios, se puede estimar una cantidad de aguas lixiviadas entre 15 - 35 litros/ t basura cruda. Se puede bajar considerablemente la cantidad de aguas lixiviadas si se añade papel de servicio o de periódico a la basura cruda.

Como se ve en el Cuadro 7, es muy alta la contaminación de las aguas lixiviadas. Para evitar la contaminación del suelo o del medio recipiente, es imprescindible un tratamiento de las aguas lixiviadas. No se recomienda el reciclaje de las aguas lixiviadas para el riego del compost. Con estas aguas altamente contaminadas, se pone en peligro la higienización del material compostado.

Cuadro 7: Contaminación de las aguas lixiviadas /8/

Contaminante	Concentración (mg/l)	Contaminante	Concentración (mg/l)
DBO_5	30 000 - 50 000	Cr^{6+}	4
CDO	60 000 - 120 000	Pb	1
TSS	7500 - 30 000	CN^-	1
NH_4	400 – 1100	Cd	5
N total	500 – 2100	Fe	1
N orgánico	250 – 800	Cu	15
Grasa	250	Zn	2
P total	80 - 260		

Las aguas lixiviadas se pueden purificar con un tratamiento biológico. Si se dispone de un terreno bastante largo, lo más recomendable sería un tratamiento en laguna, ya que esto es lo más fácil y menos costoso.

La laguna de tratamiento biológico tiene que ser muy superficial para evitar condiciones anaeróbicas y una putrefacción de las aguas lixiviadas. Una profundidad entre de 10 cm al máximo es ideal. Para lograr una buena purificación, las aguas deberían quedarse en la laguna por lo menos 30 días; lo ideal serían 50.

El área necesario para la laguna de tratamiento biológico se da en el Cuadro 8.

Cuadro 8: Area necesaria para la laguna de tratamiento de las aguas lixiviadas[3]

Cantidad de las aguas lixiviadas	Tratamiento mínimo (30 días) Area requerida (m^2/ton basura compostada)	Tratamiento mínimo (50 días) Area requerida (m^2/ton basura compostada)
Baja (15 l/t basura cruda)	45	75
Mediana (25 l/t basura cruda)	75	125
Alta (35 l/t basura cruda)	105	175

Si se composta por ejemplo, una cantidad de 30 t diarias, se reduce la cantidad de las aguas lixiviadas por adición de papel usado, y se desea una purificación óptima, se

[3] Estos datos se calcularon por la autora con base de la información del Cuadro 6

necesitaría una piscina con una superficie de 2250 m^2 (por ejemplo: 45m x 50 m) para el tratamiento biológico en laguna.

Para optimizar la eficiencia del tratamiento en laguna, se puede hacer un tratamiento con plantas. El fondo de la piscina de laguna se debería cubrir con una mezcla de humus y arena (ambos 50 %) de espesor de 10 cm. La misma planta de compostaje puede suministrar el humus.

El tratamiento de plantas se puede realizar con varias plantas que serían totora y otras plantas acuaticas, dependiente del clima y de la flora local.. Se recomienda hacer experimentos con totora, carrizo, eucalipto o aliso durante un año, supervisando el crecimiento de las plantas, su adaptación a las condiciones y el rendimiento del tratamiento.

5. Criterios de Calidad para el Compostaje y para el Uso de Compost

5.1. Calidad del Material Crudo (Basura)

5.1.1. Criterios de Calidad para Materiales Biodegradables

Se necesita asegurar las condiciones siguientes para una biodegradación óptima de los desechos crudos:

- Contenido suficiente de materia orgánica
- Buena relación de elementos nutritivos ($20 < C/N < 40$)
- Humedad apropiada (25 % - 70 %)

El contenido de materia orgánica se mesura con el experimento de ignición. La cantidad de materia perdida (en % de peso) es igual a la materia orgánica.

Además, es importante la forma de las partículas de los desechos. Para asegurar una biodegradación bajo condiciones aeróbicas, las partículas no deben ser muy pequeñas (> 5 - 8 mm) y la estructura del cuerpo de desechos debe permitir un aireación fácil (mecánica, manual o a través de lombrices).

Si se composta solamente una fracción (p.e., solamente desechos de cocina o solamente papel), en general no se pueden asegurar todas condiciones necesarias. Se recomienda entonces el compostaje de varias fracciones mezcladas.

Los característicos de los desechos biodegradables y varios parámetros de aptitud para el compostaje se presentan en los Cuadros 9 y 10.

Cuadro 9: Característicos de Desechos Biodegradables /11/

Desecho	Materia orgánica (%)	Tasa C/N	N (mg/kg)	P_2O_5 (mg/kg)	K_2O (mg/kg)	CaO (mg/kg)	MgO (mg/kg)
Desechos de cocina	20 - 80	12 - 20	0.6 - 2.2	0.3 - 1.5	0.4 - 1.4	0.5 - 4.8	0.5 - 2.1
Desechos biodegradables mixtos	30 - 70	10 - 25	0.6 - 2.7	0.4 - 1.4	0.5 - 1.6	0.5 - 5.5	0.5 - 2
Desechos de parques y jardines	15 - 75	20 - 60	0.3 - 2.0	0.1 - 2.3	0.4 - 3.4	0.4 - 12	0.2 - 1.5
Desechos domiciliarios mixtos	25 - 50	30 - 40	0.8 - 11	0.6 - 0.8	0.5 - 0.6	4.4. -5.6	0.8
Desechos celulósicos (Papel, desechos de madera)	75	170 - 800	0.2 - 1.5	0.2 - 0.6	0.02 - 0.1	0.5 - 1.5	0.1 - 0.4
Estiércoles de							
vaca	20.3	20	0.6	0.4	0.7	0.6	0.2
puerco	25.4	25	0.7	0.3	0.8	0.4	0.2
pollo	10 - 15		9.8	8.3	4.8	17.3	1.7
Heces fecales humanos	15 - 25	6 - 10	2	1.8	0.4	5.4	2.1
Paja		100	0.4	2.3	2.1	0.4	0.2

Cuadro 10: Parámetros de Aptitud de Desechos Biodegradables para el Compostaje /11/

Desecho	Aptitud de forma y estructura para el compostaje (homogenidad, aptitud para aireación)	Aptitud del contenido de agua para el compostaje	Porcentaje máximo del material respectivo permisible para el compostaje	Pre-condicionamiento necesario
Desechos de cocina	Mala (material fino, pegajoso y húmedo; densidad alta)	Demasiado alto	< 50 %	Mezcla con material seco y material grueso; separación de materiales foráneos
Desechos biodegradables mixtos	Buena - mala (depende de la composición)	Bueno - alto	50 % - 100 %	Trituración, homogenización, separación de materiales foráneos
Desechos de parques y jardines	Buena	Bueno - bajo	100 %	Trituración, homogenización
Desechos domiciliarios mixtos	Buena	Bueno	100 %	Trituración, homogenización, separación de materiales foráneos
Desechos celulósicos (Papel, desechos de madera)	Buena	Demasiado bajo	< 60 % (menos si es muy alto el tasa C/N)	Trituración, separación de materiales foráneos
Estiércoles animales	Mala	Demasiado alto	< 30 %	No se necesita
Heces fecales humanos	Mala	Demasiado alto	< 60 %	Secar
Paja	Buena	Demasiado bajo	< 50 %	Cortar

5.1.2. Mejoramiento de la Calidad por Optimización del Proceso

5.1.2.1. Clasificación Domiciliaria

5.1.2.1.1. Principios Generales de la Clasificación Domiciliaria

La clasificación domiciliaria es la medida más importante para aumentar la calidad de los materiales crudos que ingresan a la planta de compostaje. Aquí es muy importante que se clasifiquen positivamente los desechos biodegradables (recipiente y recolección separada de los desechos biodegrables), que no se mezclen la basura biodegradable con los desechos del barrido, que son altamente contaminados con metales pesados (abrasión de llantas, contaminación con gasolina y lubricantes).

Con la clasificación domiciliaria de los desechos biodegradables se reduce considerablemente el contenido de metales pesados dentro del compost, lo que es lo más importante para la salud de la población. Desechos altamente contaminados como pilas, algunos plásticos (OPP) que contienen metales pesados como cobre, níquel o cadmio, no se mezclan con la basura desde la fuente y por consecuencia, se evita completamente la contaminación con estos metales.

Es muy importante que no se mezcle el papel impreso (especialmente: papel de periódico) con los desechos biodegradables, por causa del alto contenido de metales pesados de las tintas de impresión. Además, estos papeles son reciclables y tienen un valor económico importante. En contra, se puede compostar el papel de higienico que no es reciclable por causa de la contaminación fecal (lo que no daña al compost) pero que no tiene alta contaminación con metales pesados.

Además, el contenido de materiales foráneos baja considerablemente con la clasificación domiciliaria. Esto es especialmente importante para plantas manuales donde el pre-condicionamiento del material crudo y el condicionamiento del producto son las tareas más difíciles y mas duras para el personal.

5.1.2.1.2. Como Clasificar la Basura Biodegradable

Se recomiendan los siguientes criterios para la clasificación domiciliaria de desechos biodegradables (Cuadro 11):

Cuadro 11: Criterios recomendados para la clasificación domiciliaria (Fuente: Programa de la clasificación domiciliaria de las ciudades Loja, Ecuador y Stuttgart, Alemania)

Recipiente Verde (Basura biodegradable que será compostada)	**Recipiente Negro (Otra basura)**
Desechos Biodegradables • Cáscaras de verduras, granos, legumbres y frutas • Cáscaras de huevos, nueces etc. • Desechos de horchata, té o café • Papel de servicio usado (papel de baño, papel de cocina) • Cabello cortado, plumas • Desechos de jardín o huerto • Desechos de plantas decorativas (con o sin tierra), flores decorativas • Desechos sólidos de la cocina (pan podrido, cáscaras de queso etc.) • Desechos de madera sin laqueado o pintura, astillas, acepilladura, viruta, etc. • Paja usada de animales domésticos	**Desechos Reciclables:** • Metales • Plásticos • Papel de periódico, papel boon, cuadernos etc. • Aceites minerales, lubricantes • Residuos de pintura o solventes **Desechos no reciclables:** • Comida cocinada, líquida o pastosa • Desechos de carne, piltrafa • Aceites minerales, lubricantes • Desechos de madera pintada o laqueada • Pañales desechables, compresas higiénicas, algodón • Cenizas, colillas, fósforos usados • Desechos de barrido • Medicamentos • Pilas • Desechos químicos, detergentes etc.

5.1.2.1.3. Como Hacer la Clasificación Domiciliaria Más Confortable para los Usuarios

Los siguientes factores son los más importantes para los ciudadanos que participan en un programa de clasificación domiciliaria:

1. Sistema sencillo

No le gusta a la mayoría de la población que sea muy complicado el sistema de clasificación domiciliaria. No tienen tiempo, ganas ni espacio físico para separar los desechos domésticos en tres, cuatro o más fracciones. Si se realiza un sistema de clasificación con dos diferentes fracciones - la basura biodegradable y la basura no biodegradable - ya es bastante para asegurar la calidad de los desechos a compostar (que no se mezclan con metales pesados, plásticos etc.) y de los desechos reciclables (son más fáciles de reciclar si no se contaminan con basura húmeda en putrefacción) y no es un sistema muy exigente para los participantes.

2. Sistema barato

Es muy importante que la introducción de un sistema nuevo de manejo de desechos sólidos no cause gastos importantes a la población que, en este caso, iría a resistir al

sistema nuevo. Se pueden imaginar las alternativas siguientes para tener bajos los costos de la clasificación domiciliaria:

- Clasificación en recipientes estándar de color diferente (verde y negro, como se lo realiza en la ciudad de Loja), que se confeccionan especialmente para el programa de clasificación domiciliaria.
- Clasificación en recipientes estándar que pertenezcan al municipio y que se alquilen a la población a costo bajo (se puede cobrar con la factura de agua como rubro separado)
- Bajar la frecuencia de la recolección para compensar los costos adicionales de la clasificación domiciliaria (esto se puede hacer en la Sierra donde son favorables las condiciones climáticas pero no en la costa o el Oriente, por causa de la putrefacción rápida de los desechos biodegradables). No se necesita la recolección diaria de basura; se pueden recoger las fracciones biodegradable y no biodegradable 1 x vez por semana cada una.
- Clasificación domiciliaria sin compra de recipientes diferentes pero con monitoréo permanente para asegurar que se saquen las fracciones respectivas en el día que corresponda (esto se recomienda para pequeños municipios que no tienen un gran presupuesto pero que se pueden monitorear fácilmente)

3. Sistema limpio

Lo que preocupa muchas personas es el problema de olores por causa del comienzo de la putrefacción de los desechos biodegradables. Esto es un problema grave especialmente en grandes ciudades, urbanizaciones modernas o en las regiones céntricas de ciudades medianas, donde hay una población densa, no hay jardines o patios y los ciudadanos tienen que mantener los recipientes dentro de la casa.

Es posible con unas medidas simples reducir el problema de olor al mínimo. Se necesita comunicar estos métodos desde el inicio del proyecto. Las medidas más importantes son:

- no comprimir los desechos biodegradables
- mezclar los desechos biodegradables con papel higiénico usado y, después de la recolección de basura biodegradable, echar una capa desechos gruesos (trozos de madera, tronchos de banano etc.) al fondo del recipiente, arriba de esto ise papel usado
- no echar desechos líquidos al recipiente de la basura biodegradable
- no poner el recipiente de basura biodegradable al sol
- cerrar el recipiente
- no dejar los desechos biodegradables abiertos antes de ponerles al recipiente. Se deben echar los desechos biodegradables al recipiente inmediatamente después de su generación.
- Limpiar el recipiente de basura biodegradable después de cada recolección
- Si no hay como desembarazarse del tufo, se puede añadir cal apagada a los desechos. La cal no daña al proceso de compostaje, es barata y elimina todo tipo de malos olores.

4. Sistema cómodo

Las experiencias han mostrado que no les gusta a las personas transportar los desechos hacia un lugar fijo donde hay un contenedor. Si la participación de los ciudadanos depende de su propia iniciativa (p.e., en sistemas donde se utilizan contenedores centrales), es mucho más baja que en sistemas donde todo el trabajo es organizado por el municipio.

El mejor sistema es la recolección de la basura biodegradable desde los hogares, con la ayuda máxima que puede brindar el sistema municipal. Si se utilizan recipientes, fundas etc. estándardizados, es mejor que los suministre el municipio que dejar la responsabilidad de comprarlos a los ciudadanos.

5.1.2.1.4. Factores de Exito para un Programa de Clasificación Domiciliaria

Para obtener resultados satisfactorios de la clasificación domiciliaria, los siguientes factores son muy importante

- Capacitación intensiva (lo óptimo es la capacitación personal puerta a puerta) al inicio del proyecto
- Capacitación continua durante la implementación del proyecto (repetición de la capacitación, entrevistas para obtener ideas y críticas de la población, publicación de los resultados del proyecto etc.)
- Sistema sencillo, barato, fácil a aplicar para el municipio y cómodo para las habitantes
- Monitoréo continuo de la clasificación
- Implementación con consecuencia y persistencia por parte del municipio

La experiencia en países, ciudades y culturas diferentes muestra como denominador común que los resultados de la clasificación permanecen a un nivel muy bajo durante los primeros meses. Es muy importante que no se desesperen entonces los iniciadores del proyecto pero que continúen con la capacitación y la implementación del proyecto. Se necesita un tiempo de dos años o más para que la clasificación domiciliaria se haga costumbre en la población.

5.1.2.2. Pre-Condicionamiento de los Desechos Domiciliarios Mixtos

Hay que darse cuenta que no es barata la introducción de la clasificación domiciliaria de los desechos sólidos. Ya que aún no existe un sistema suficiente para retribuir los gastos de manejo de desechos sólidos de los beneficiarios del sistema, la población, se puede recomendar el compostaje de desechos domiciliarios mixtos a municipios pequeños, sin recursos financieros y personales para realizar exitosamente la clasificación domiciliaria de desechos biodegradables.

Los característicos de biodegradación de los desechos domiciliarios mixtos no son muy diferentes de los desechos biodegradables clasificados en el hogar. La gran

diferencia es el contenido de metales pesados y de materiales foráneos dentro de la materia cruda.

Es muy importante que estos materiales se separen de la mejor manera posible antes del proceso de compostaje. Para esto se recomiendan las siguientes operaciones:

1. Separación minuciosa de materiales foráneos

Es importante que se separen todos los metales, plásticos y papel de periódico. Para ello, se puede cooperar con recicladores privados que tienen su beneficio propio de separar la cantidad máxima de estos materiales.

Además, se deben separar todas las pilas y restos de medicamentos que pueden seriamente contaminar el compost. Se recomienda que se haga este trabajo por obreros municipales. Todos los trabajos de separación deben hacerse bajo supervisión municipal para asegurar una calidad permanentemente alta del material ingresante.

2. Separación de la fracción fina

La fracción fina de los desechos domiciliarios mixtos es la fracción más contaminada por causa de los desechos de barrido. Si la logística le permite, se recomienda no mezclar los desechos del barrido con los desechos domiciliarios. Para ello, se necesita un recorrido separado para recoger los desechos del barrido. Esta aplicación es más fácil en municipios que disponen de una cantidad suficiente de recolectores y que pueden dedicar un recolector solamente a esta tarea, o en municipios donde se realiza manualmente el servicio de la recolección y del barrido.

Si no hay la suficiente capacidad para realizar un recorrido separado de los desechos de barrido, se recomienda una clasificación en fracciones de los desechos mixtos durante el pre-condicionamiento. Esta se puede realizar con tamices manuales o una criba tambor con aperturas finas (8 - 12 mm).

Si un municipio tiene el presupuesto para una planta semi mecanizada e intenta agregar una criba tambor para la separación de la fracción fina, se recomienda hacer un estudio si no se puede introducir la clasificación domiciliaria al amenos un recorrido separado de los desechos de barrido en lugar de invertir en una criba tambor. Cuando se trata de minimizar la contaminación de la basura biodegradable, la clasificación domiciliaria y la separación de los desechos de barrido desde la fuente dan resultados mucho mejores que una clasificación mecánica de desechos mixtos.

5.2. Aplicación del Compost

El compost producido en una planta de compostaje o individualmente en el jardín domiciliario, se puede utilizar como abono o como tierra humus para las siguientes aplicaciones:

- Agricultura
- Silvicultura
- Reforestación
- Mantenimiento de parques y jardines
- Arquitectura de paisaje
- Producción de filtros biológicos para el tratamiento industrial del aire usado
- Cobertura diaria y rehabilitación de rellenos sanitarios

El uso del compost en el agricultura se resume en el Cuadro 12; el uso en la silvicultura, cultura de arboles frutales y arquitectura de paisaje se presenta en el Cuadro 13, y el uso en la horticultura se presenta en el Cuadro 14.

Cuadro 12: Uso del compost en el agricultura /8/

Aplicación	Objetivo	Cantidad necesaria de compost (kg/m^2)	Frecuencia de aplicación	Forma de aplicación
Preparación del terreno	Mejorar la calidad de la tierra	< 15 kg/m^2	Una vez	Mezcla del compost con la tierra profundamente
Cultivo de papas, zanahoria y legumbres semejantes	Enriquecimiento de la tierra	3 - 5 kg/m^2	1 x/ 2 años	Mezcla superficial del compost con la tierra
	Uso como abono	3 - 6 kg/m^2	1 x/ año	
Trigo, avena, cebada, centeno, maíz	Enriquecimiento de la tierra, uso como abono	2 - 4 kg/m^2	1 x/ 2 años	Mezcla superficial del compost con la tierra
Pasto, pradera	Enriquecimiento de la tierra	3 - 6 kg/m^2	1 x/ 2 años	Dispersar sobre la superficie

Cuadro 13: Uso del compost para la horticultura, silvicultura y arquitectura del paisaje /8/

Aplicación	Cantidad necesaria de compost (m^3/ha)	Frecuencia de aplicación
Viveros y planteles	10 - 14	1 x/ 2 años
Cultivo de arboles frutales	10 - 14	1 x/ 3 años
Arquitectura de paisaje, siembra de plantas al lado de calles y caminos	500 - 700	Una vez
Mantenimiento del césped	10 - 14	1 x/ año
Mantenimiento de áreas de deporte	25 - 35	1 x/ año
Mantenimiento de macizos	15 - 21	1 x/ año
Floricultura	6 - 8.5	1 x/ año

Cuadro 14: Uso del compost para hortalizas /5/

Tipo de hortaliza	Unidad	Cantidad necesaria	Período de aplicación
Col (cabezas)	g/planta	500	Trasplante
Culantro	kg/m^2	5	Siembra directa
Tomate	g/planta	750	Transplante y en la floración
Vainita	g/planta	500	Siembra directa
Zanahoria	kg/m^2	5	Siembra al aporque
Cebolla	g/planta	250	Siembra directa
Pepino	g/planta	1000	Siembra directa
Nabo	kg/m^2	4	Siembra directa
Rabanito	kg/m^2	4	Siembra directa
Col china	g/planta	500	Trasplante
Ají	g/planta	500	Trasplante y con 3 meses

Además, se puede utilizar el compost para la construcción de filtros biológicos. Los filtros biológicos se pueden utilizar para el tratamiento del aire usado de las industrias siguientes:

- Industria alimentaria
- Industria química (producción de plásticos y de solventes)
- Industria de cuero
- Ganadería y avicultura industrial
- Plantas mecanizadas de tratamiento de desechos sólidos

La densidad de los filtros biológicos debe ser entre 0.4 - 0.5 t/m^3; la dimensión de las partículas tiene que ser más que 4 mm. Las dimensiones de los filtros biológicos se diseñan según la aplicación industrial, la cantidad y la contaminación del aire tratado.

5.3. Calidad del Compost

5.3.1. Calidad del Compost como Abono Orgánico

Los criterios de aptitud del compost como abono orgánico se resumen en el Cuadro 15. Se trata del contenido de materias nutritivas y de criterios generales de calidad. Si se encuentran más del 75 % de las muestras analizadas del producto de una planta de compostaje dentro de los márgenes indicados, se considera como compost de buena calidad fertilizador. Si el contenido de materias nutritivas es muy bajo, el compost no sirve como fertilizador. En el caso inverso, puede ocurrir una sobrefertilización que puede lixiviar el suelo a largo plazo y que puede causar graves daños a las aguas subterráneas.

Cuadro 15: Criterios de calidad para el compost /12/, /5/

Parámetro	Unidad	Mínimo	Promedio	Máximo
Perdida de ignición	% TS	25	35	45
Residuo de ignición	% TS	55	65	75
Contenido de agua	%	35	36	50
Contenido de proteínas	%	30	33	35
Contenido de celulosa	%	3	4	5
Densidad	kg/m^3	550	680	850
Contenido de sal soluble	kg/m^3	2	4	8
Conductividad eléctrica	mnhos/cm	2	2.5	4
pH	-	7.0	7.6	8.3
N total	% TS	0.8	1.1	1.5
N mínimo	mg/l compost	100	150	400
Fósforo (P_2O_5 total)	% TS	0.4	0.7	1.0
Fósforo (P_2O_5 soluble)	mg/l compost	500	1200	2000
Potasio (K_2O total)	% TS	0.6	1.2	1.5
Potasio (K_2O soluble)	mg/l compost	1000	2500	5000
Magnesio (MgO total)	% TS	0.2	0.4	0.7
Magnesio (MgO soluble)	mg/l compost	150	250	500
Calcio (CaO total)	% TS	2	3	6

Aquí se muestra un ejemplo del análisis regular que se realiza para el compost producido en la planta de lombricultura del Municipio de Loja. Ese análisis ha sido hecho en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Loja.

Parámetro	Contenido (µg/ml)	Parámetro	Contenido (meq/110 g)
N	185,00	Ca^{++}	8,80
P_2O_5	465,00	Mg^{++}	3,40
K_2O	480,00	Na^{+}	0,20
Metales pesados		K^{+}	4,25
Fe	5,00	pH	7,84
Cu	6,00	Materia orgánica (%)	17,75
Mn	0,00		
Zn	0,20		

5.3.2. Contenido de Metales Pesados

Otro parámetro muy importante es el contenido de metales pesados. Si se aplica un compost con alto contenido de metales pesados al suelo, los metales pesados pasan a las aguas subterráneas y a las plantas cultivadas en esa área. Los metales pesados ingeridos por seres humanes o animales aumentan considerablemente el riesgo de algunas enfermedades graves, dentro de las cuales el cáncer es una de las más importantes. Se resumen los riesgos que provocan los metales pesados en el Cuadro 16.

Cuadro 16: Riesgos para la salud causados por metales pesados /13/

Metal	Riesgo para la salud
Plomo	anemia, tóxico para los riñones (causa lesiones y cáncer de riñon), reducción del periodo de gestación, problemas de desarrollo intelectual del niño, problemas del desarrollo del oido del niño, afecta el sistema nervioso central (saturnismo), hipertensión
Cromo	Cáncer, infecciones de sangre, leucemia
Mercurio	daños neurológicos, especialmente peligroso para niños
Cadmio	Afecta el riñón, hipertensión, afecciones de tipo vascular, cáncer de próstata, infertilidad, bronquitis

Aquí en el Ecuador, todavía no existe legislación que determina los límites máximo para la concentración de metales pesados en el compost. No obstante, se recomienda analizarla de vez en cuando para asegurar que el compost no confiera riesgos para la salud. Es verdad que es muy costoso el análisis de metales pesados y que no se hace en todas las ciudades. Pero considerando la importancia de la salud humana se debería hacer el análisis de metales pesados al menos una vez por año.

Se muestra en el Cuadro 17 como referencia los valores límites que provee la Unión Europea para la concentración de metales pesados dentro del compost /12/. Estos límites no tienen ninguna validez legal aquí pero pueden ser usados como referencia interna. Como el estándar técnico de la protección del medio ambiente es muy diferente en varios países de la Unión Europea, los límites en cuestión se determinaron de manera que puedan cumplir también los países menos avanzados. Las experiencias muestran que no es difícil lograr un nivel muy bajo de metales pesados si se aplica la clasificación domiciliaria de la basura biodegradable /14/.

Cuadro 17: Valores límites de la concentración de metales pesados dentro del compost /12/

Metal	Límite de concentración de metales pesados dentro del compost (mg/kg TS)	Límite de carga al suelo[4] g/ (ha*año)
Plomo	250	1500
Cadmio	2.5	15
Cromo	200	1500
Cobre	200	1200
Níquel	100	300
Mercurio	2	10
Cinc	750	3000

Para un compost que contiene el máximo de los contaminantes permitidos en el Cuadro 17, se recomienda no aplicar más que 30 t compost seco/(ha*año).

[4] Esos valores de límite son conformes a la Ordenanza No. 86/278/EEC de la Unión Europea.

5.3.3. Madurez y Experimento de Autocalentamiento

Además, un parámetro importante es la madurez del compost. Es muy importante que sea maduro para que no contenga materias fitotóxicas. La madurez es un parámetro que muestra si se ha completado el proceso de biodegradación y de higienización del compost. Se mesura con la temperatura que se obtiene en el experimento de autocalentamiento. Los grados de madurez se muestran en el Cuadro 18:

Cuadro 18: Categorías de madurez para compost

Grado de madurez	Temperatura obtenida en el experimento de autocalentamiento (°C)	Categoría de producto
I	> 60	Materia cruda (basura)
II	50 - 60	Compost tierno
III	40 - 50	Compost tierno
IV	30 - 40	Compost maduro
V	< 30	Compost maduro

Se debe lograr el grado de madurez IV, mejor V, en la planta de compostaje antes de que se venda el compost. Si se vende compost tierno, el producto contiene todavía gérmenes patógenos o fitotóxicos y puede causar daños tanto a la salud de la persona que lo maneja como al suelo o a las plantas donde se aplica.

Para realizar el experimento de autocalentamiento, se seca el material que se intenta analizar[5] a 105 °C. Se toman 3 muestras de 600 g cada una y se humedecen hasta que tengan una humedad de 35 %, 40 % y 45 % respectivamente. Se añaden 30 g de compost maduro o de tierra humus para iniciar el proceso de fermentación. Las muestras se mezclan algunas veces, se dejan 30 minutos abiertas y entonces se ponen dentro de recipientes dewar. Se cierren los recipientes dewar con una tapa de caucho que tiene 3 huecos; uno para poner un termómetro eléctrico en el centro de la muestra, uno para el aireación y el tercero para la evacuación del aire sucio a través de succión. Se pueden utilizar bombas estándar de acuario para el aireación.

Si se realiza el experimento con basura cruda y no se aumenta la temperatura, la basura en cuestión no se puede compostar (esto puede ocurrir para algunos desechos de la industria alimentaria). Si pasa los 40 °C, muy probablemente se puede compostar.

Si se realiza el experimento con compost listo, se pueden determinar los degres de madurez según las categorías dadas en el Cuadro 18.

[5] Se puede realizar el experimento de autocalentamiento con dos tipos de basura:

1. con basura cruda para ver si es posible compostar un cierto tipo de basura
2. con el producto listo para verificar el degre de madurez del compost.

5.3.4. Clasificación en Fracciones

Se clasifica el compost listo en fracciones con diferentes diámetros de partículas. Las fracciones estándar se presentan en el Cuadro 19:

Cuadro 19: Fracciones estándar del compost [6]

Fracción	Diámetro de las partículas	Aplicaciones del compost
Compost fino	< 12 mm	Abono, mejoramiento del suelo
Compost mediano	12 - 25 mm	Abono, mejoramiento del suelo, material de filtros biológicos
Compost grueso	> 25 mm	Material de estructura para mejoramiento del suelo, material de estructura para compostaje, material de cobertura del relleno sanitario, material de relleno para trabajos de construcción o de arquitectura de paisaje.

6. Costos de Inversión y de Operación de una Planta de Compostaje

6.1. Plantas Manuales

Aparte de la compra y nivelación del terreno, las plantas manuales casi no tienen costo de inversión. Si se realiza la lombricultura, se deben construir los lechos con ladrillo; alternativamente se puede también aplicar un sistema en pilas, lo que no cuesta nada. Además se deberían confeccionar las tamices, comprar palas y, según el clima, se debe construir un techo para las pilas o lechos.

Los costos de operación son los siguientes:

- Costos de personal: 1 obrero para 3 toneladas diarias, 1 técnico o ingeniero forestal con buenos conocimientos de biología para la supervisión del trabajo (puede ser a la mitad del tiempo en plantas pequeñas)
- Costos de herramientas: palas, trinches, picas, carretillas, lampas, regadoras etc.
  1 unidad por obrero y por año
- Equipamiento personal de los obreros (uniformes, botas, guantes, masques):
  2 overoles por año, 6 pares de guantes por año, 1 par de botas/año
- Compra de materiales: Saquillos, hilo, malla etc.
- Agua de riego

El precio de venta del compost listo se debe determinar según las condiciones locales (demanda del mercado local). En el Ecuador, los precios de venta del compost cambian entre 1.20 US$/ saquillo (Riobamba) y 3 US$ / saquillo[7] (Loja).

Se da como ejemplo el balance de ingresos y costos de la planta de compostaje del Municipio de Loja (de Junio 1999 - Junio 2000) en el Cuadro 20:

[6] Elaborado por la autora con base de experencias en el Ecuador, Turquía y Alemania
[7] Se trata de saquillos de 60 litros.

Cuadro 20: Balance de ingresos y egresos de la planta de compostaje municipal de Loja, año 2000 /15/

Rubros	Egresos	Ingresos
Personal	6338	
Compra de material	56	
Uniformas, ropa	17	
Herramientas	235	
Otros		
Venta de humus		7200
Sub-total	**6646**	**7200**

El cuadro muestra que es posible obtener una modesta utilidad con la producción de compost. El monto de esta utilidad (si la hay) depende mucho de la administración eficaz.

6.2. Plantas Mecanizadas

Para las plantas mecanizadas, se deben tomar en consideración los costos de inversión par una o más de las unidades siguientes:

Pre-condicionamiento:

- Confección de tamiz tambor
- Confección de banda transportadora
- Confección de una trituradora/ molino

Compostaje:

Alternativamente:
- Cargador
- Contenedores o túnel de compostaje
- Máquina de mezcla/ revuelta

Además:
- Tubería y motor de aireación
- Filtro biológico (con tubería de aireación y desagüe)

Condicionamiento del producto listo:

- Tamiz tambor (si no se continua utilizar tamices manuales)
- Equipo para separar materiales foráneos (ciclón, tamiz aireada, separador a corriente del aire)

Ya que todavía no hay experiencias con el compostaje mecanizado en el Ecuador, no es posible dar informaciones sobre los precios de la maquinaria. Es posible

confeccionar en el país todo el equipo salvo los contenedores o túneles de compostaje, la máquina de mezcla/ revuelta y el cargador.

Los costos para la mano de obra son principalmente los mismos que para el compostaje manual. Ya que se necesita una fase de maduración en pilas, se necesita todavía la mano de obra para la construcción de las pilas, para mantenimiento de la maquinaria etc.

Además, hay costos de electricidad o de combustible, dependiente del tipo de la maquinaria. Se deberían obtener cotizaciones para el consumo de energía para cada tipo de maquina requerida. En general, se puede decir que cambia el consumo de energía eléctrica entre 10 kWh/ (t de basura cruda) y 50 kWh / (t de basura cruda) /2/. Se obtiene el valor bajo si se utiliza solamente un tamiz tambor con banda transportadora para el pre-condicionamiento de la basura cruda, y un tamiz aireado para la separación de los materiales foráneos del producto listo. Si se intenta hacer una planta sofisticada con aireación, filtro biológico y máquina de mezcla/ revuelta, y por supuesto, pre-condicionamiento y condicionamiento del producto, el consumo de energía sube hacia los 50 kWh/ (t de basura cruda).

Los costos de repuestos y de mantenimiento se pueden estimar entre 5 - 10 % de los costos de inversión.

7. Recomendaciones

7.1. Estudio de Factibilidad

Antes de construir una planta de compostaje, se debería estudiar minuciosamente la situación actual y las posibilidades del municipio en cuestión. Esto es especialmente importante para grandes municipalidades. Los pequeños municipios siempre tienen la posibilidad de construir una pequeña y sencilla planta manual de compostaje junto al relleno sanitario, pero para un municipio mediano o grande, la selección del buen lugar y de la tecnología apropiada es un factor económico muy importante.

El estudio de factibilidad debería comprender al menos los siguientes puntos:

1. Desechos sólidos

- Cantidad de los desechos sólidos
- Cantidad de los desechos biodegradables
- Hay clasificación domiciliaria o se puede introducir?
- Hay desechos biodegradables especiales para considerar (industria alimentaria, agropecuaria, avicultura etc.); cantidad y tipo de esos desechos

2. Lugar previsto de la planta de compostaje

- Posibilidad de construir la planta de compostaje junto al relleno
- Distancia de las habitaciones más cercanas

- Distancia del centro de la ciudad
- Distancia al relleno (si no se puede construir al lado)
- Area disponible (considerando la tecnología que se intenta implementar, la cantidad de material, un área adecuado para almacenar el compost y una laguna de tratamiento de las aguas lixiviadas)
- Material del suelo
- Costo del terreno

3. Clima local

- Nivel de precipitaciones (importante especialmente en la Amazonía)
- Temperaturas bajo de 0 °C (importante en el Páramo)

4. Operación de la planta de compostaje

- Personal disponible en el municipio (obreros, personal técnico)
- Posibilidades de contratar nuevo personal
- Nivel de formación del personal
- Capacitaciones necesarias
- Alternativa de contratar el manejo de la planta de compostaje a una (micro-) empresa
- Análisis económico y técnico

5. Tecnología seleccionada

- Planta manual o mecanizada?
- Lombricultura o compostaje convencional?
- Cuales unidades de la planta se pueden o deben mecanizar?
- Presupuesto necesario para inversión y operación de las alternativas consideradas
- Ventajas y desventajas técnicas
- Capacidad financiera del municipio para asumir los costos
- Cotizaciones de diferentes productores para las unidades mecanizadas

7.2. Cuadro de Alternativas

Se presenta un resumen de recomendaciones según diferentes condiciones individuales en el Cuadro 21: Este resumen no reemplaza un estudio de factibilidad, solamente da unos puntos de referencia, sobre los cuales se debería apoyar el estudio de factibilidad.

Cuadro 21: Alternativas de Compostaje y Recomendaciones[8]

Alternativa	Se recomienda en las situaciones siguientes	No se recomienda en las situaciones siguientes
Planta de compostaje completamente manual	- Municipio pequeño o mediano - Municipio con fondos escasos - Terreno barato - Terreno vasto - Mano de obra barata y suficiente - No hay personal calificado	- Municipio muy grande - Terreno caro - Limitaciones de terreno - Mano de obra cara
Mecanización del pre-condicionamiento (tamiz tambor, banda transportadora)	- no hay clasificación domiciliaria de los desechos biodegradables - Municipio muy grande - Presupuesto suficiente para inversión y operación	- Municipio pequeño - Escasez de fondos
Mecanización del condicionamiento del producto (tamiz aireada)	Se recomienda siempre cuando hay fondos disponibles	- Escasez de fondos
Clasificación mecanizada del producto (tamiz tambor)	- Muy grandes municipios - Fondos suficientes - Escasez de mano de obra	- Municipio mediano o pequeño - Escasez de fondos
Compostaje mecanizado	- Muy grandes municipios - Fondos suficientes - Terreno caro - Existe mano de obra calificada - Si una compañía productora o vendedora de ese equipo ofrece asumir todos los costos de inversión para el derecho de vender el compost	- Municipio pequeño - Escasez de fondos - Terreno vasto - Terreno barato - Mano de obra barata
Lombricultura	Se recomienda en casi todos los casos, especialmente: - compostaje individual - pequeños municipios o comunidades - plantas completamente manuales - regiones con mucha avicultura, camaroneros, piscicultura	- Condiciones climáticas extremas que perjudican a la vida de las lombrices
Tratamiento de las aguas lixiviadas en laguna	Siempre cuando se producen aguas lixiviadas, especialmente para: - Municipio mediano o pequeño - Terreno suficiente	
Clasificación domiciliaria de los desechos biodegradables	Se recomienda en casi todos los casos, especialmente: - Municipios pequeños y medianos - Estructura urbana con bastante espacio, casas con jardines o patios - Clima moderado (en el clima caliente se deben recoger los desechos biodegradables a menos 2 veces por semana)	
Compostaje de desechos no clasificados	- Municipio muy grande que no puede introducir la clasificación domiciliaria rápidamente - Fondos suficientes para la mecanización del pre-condicionamiento	En todos los casos donde es posible la clasificación domiciliaria

[8] Elaborado por la autora con base de experencias en el Ecuador y Turquía

8. Bibliografía

/1/ Saskya Lugo
Evaluación de los Proyectos de Compostaje en el Ecuador
Fundación Natura/ REPAMAR/ CEPIS/ GTZ
Quito, Marzo 1998

/2/ Eva Röben
R&R Bilimsel ve Teknik Hizmetler Ltd. Şti./ DHV Milieubeheer
Kompostlaştırma Tesislerinin Yer Seçimi ve Tasarlanması Kılavuzu
(Guía para la Selección del Lugar y el Diseño de Plantas de Compostaje)
Proyecto del Banco Mundial para el Fortalecimiento Institucional del Ministerio Turco del Medio Ambiente
Estambul, 1999

/3/ Dipl.-Ing. Jürgen Emberger, Dipl.-Ing. Günter Müller
Technische Einrichtungen für Anlagen der biologischen Abfallbehandlung
(Instalaciones Técnicas para Plantas de Tratamiento Biológico de Desechos Sólidos)
Müllhandbuch
Erich Schmidt- Verlag
Berlin, 1998

/4/ www.lombricultura.net

/5/ Olga Zarela Ríos, Sonia Salas, Miguel Sánchez
Manual de Lombricultura en Trópico Húmedo
Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana
Iquitos, 1993

/6/ Dipl.-Ing. Jürgen Emberger, Prof. em. Dipl.-Ing. Bernhard Jäger
Die hauptsächlichen Verfahren der Kompostierung
(Los Métodos Principales del Compostaje)
Müllhandbuch
Erich Schmidt- Verlag
Berlin, 1998

/7/ Dr. Ing. Ulrich Wiegel
Eigenkompostierung von Hausgartenabfällen
(Compostaje individual de desechos biológicos domiciliarios)
Müllhandbuch
Erich Schmidt- Verlag
Berlin, 1998

/8/ İstanbul Katı Atık İşleme ve Kompostlaştırma Tesisi ÇED Raporu
(Estudio de Impacto Ambiental de la Planta de Reciclaje y Compostaje del Municipio Metropolitano de Estambul)
Rust Mühendislik Hizmetleri Ltd. Şti. (MİR Ortak Girişimi)

Estambul, 1995

/9/ J. Jager, K. Kuchta, C. Eckrich, T. Reinhardt, S. Kirsch
Geruchsemissionen bei der Kompostierung
(Emisiones olfatorias durante el compostaje)
Müllhandbuch
Erich Schmidt- Verlag
Berlin, 1995

/10/ Dr.-Ing. Detlef Eitner
Abluftaufbereitung mit Biofilteranlagen
(Tratamiento del aire contaminada con filtros biológicos)
Müllhandbuch
Erich Schmidt- Verlag
Berlin, 1996

/11/ Dr.-Ing. Werner Bidlingmaier
Charakteristik fester Abfälle im Hinblick auf ihre biologische Zersetzung
(Característicos de los desechos sólidos concerniente su biodegradación)
Müllhandbuch
Erich Schmidt- Verlag
Berlin, 1992

/12/ LAGA Merkblatt M 10
Qualitätskriterien und Anwendungsempfehlungen für Kompost
(Criterios de Calidad y Recomendaciones de Uso para el Compost)
LAGA, 1995

/13/ www.gecen.org
www.ecoportal.com.ar
www.sima.com.mx

/14/ Dipl.-Ing. Ulrich Wiegel
Eigenkompostierung in Kleinkompostern
(Compostaje individual en cajas compostadoras)
Müllhandbuch
Erich Schmidt- Verlag
Berlin, 1988

/15/ Proyecto de Gerencia Integral de los Desechos Sólidos
Ilustre Municipio de Loja
Loja, 2000

Apéndice

Informaciones Sobre la Planta de Lombricultura en Loja

EL municipio de Loja está operando una planta de lombricultura adyacente al vivero municipal desde 1995. Al comenzar, los desechos de los mercados fueron tratados en esa planta; con el proyecto de clasificación domiciliaria, es agregaron los desechos biodegradables domésticos.

La planta de lombricultura está manejada por 5 obreros, baja la gerencia del ingeniero forestal Fabián Ayala.

La basura que llega a la planta de lombricultura se clasifica para separar los materiales no biodegradables. La clasificación se hace manualmente. Llega un recolector una vez por semana para llevar la basura no biodegradable al relleno sanitario.

Después, se carga la basura a las celdas de lombricultura. La planta de lombricultura consiste de 45 celdas de las dimensiones siguientes:

Largo:	20 m
Ancho:	1.10 m
Alto:	0.45 m

Se muestra una vista de la planta de lombricultura en la Fotografía No. 1:

La basura cruda se carga con un alto de 1.20 m; con la descomposición y la perdida de volumen baja la altura hasta 0.45 m durante el primer mes. Con la basura biodegradable de una semana se llenan 3 celdas. Se cobra con pasto para mantener la humedad y evitar la generación y dispersión de olores. Después del primer mes, la basura será removida y las lombrices (lombriz roja californiana) se agregan. Se presenta una vista del material removido por lombrices en la Fotografía No. 2.

El material se queda durante 5 meses en las celdas y se transforme en abono. Después, se clasifica otra vez para separar las impurezas (pequeños trozos de plástico, metal etc.).

Fotografía No 1: Vista de la planta de lombricultura.

Fotografía No 2: Vista de las lombrices

Esa clasificación se realiza manualmente con dos tamices, una con mallas de 2.5 cm, la otra con mallas de 0.5 cm. La clasificación del abono se muestra en la Fotografía No. 3.

Fotografía No. 3: Vista del área de clasificación de abono

Se cosecha un promedio mensual de 10 toneladas de abono. El abono listo se embala en saquillos de 60 l y se vende en el almacén municipal dentro del mercado mayorista. Una parte importante del abono se utiliza directamente en el vivero para el cultivo de plantas que también se venden al público o para el mantenimiento de parques municipales. La demanda del público viene generalmente de amas de casa para plantes de jardín o de casa y de agricultores.

Para cumplir con las cantidades de basura biodegradable aumentadas sucesivamente, se construyó una extensión de la planta de lombricultura en el relleno sanitario. Esa planta tiene actualmente 20 celdas y un área suficiente para extenderla hacia 200 celdas, lo que está en construcción actualmente.