



**MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA
VICEMINISTERIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO**



Guía para el Aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos

**1era Versión
Diciembre/2010**



Regresa a la Tierra lo que es Suyo!

ÍNDICE

Guía para el Aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos

CAPITULO 1: RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

- 1.1. Caracterización de los residuos sólidos a nivel Nacional
- 1.2. Definición de Residuo Orgánico
- 1.3. Clasificación de los Residuos de Acuerdo al Reglamento en Gestión de Residuos Sólidos
- 1.4. Efectos de los Residuos Sólidos Orgánicos en el Relleno Sanitario.
- 1.5. Programa para el Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos
- 1.6. Componentes del Programa de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos
 - 1.6.1. Separación
 - 1.6.2. Recolección
 - 1.6.3. Tratamiento
 - 1.6.3.1. Residuos orgánicos como fuente de alimento para animales
 - 1.6.3.2. Residuos orgánicos como fuente de energía
 - 1.6.3.3. Residuos orgánicos como materia prima para la producción de abonos
 - 1.6.4. Distribución y Utilización

CAPITULO 2: COMPOSTAJE

- 2.1 Proceso de Compostaje
 - 2.1.1. Porqué Comportar.
 - 2.1.1.1. Ventajas Económicas
 - 2.1.1.2. Ventajas Ecológicas
 - 2.1.1.3. Beneficios del Compostaje.
 - 2.2. El Compostaje en Relación a los Métodos de Recolección
 - 2.2.1. Compostaje de Residuos Sólidos Orgánicos con Selección en Origen
 - 2.2.2. Compostaje de Residuos Sólidos Orgánicos sin Selección en Origen
 - 2.3. Métodos Usuales de Compostaje
 - 2.3.1. Sistemas Abiertos
 - 2.3.2. Sistemas Cerrados
 - 2.4. Principales Parámetros de Control en el Proceso de Compostaje
 - 2.4.1. Relación carbono-nitrógeno
 - 2.4.2. Tamaño de los residuos
 - 2.4.3. Humedad
 - 2.4.4. pH
 - 2.4.5. Temperatura
 - 2.5. Operaciones en el Proceso de Compostaje
 - 2.5.1. *Recepción y selección de los Residuos Orgánicos a Compostar*
 - 2.5.2. *Reducción de tamaño y homogenización de los residuos*
 - 2.5.3. *Composición de la Mezcla de Residuos a Compostar*
 - 2.5.4. *Degradación aerobia de los residuos*
 - 2.5.5. *Maduración del Compost*
 - 2.5.6. *Cribado y clasificación del compost*
 - 2.5.7. *El compost es cribado y se separan las siguientes fracciones*
 - 2.5.8. *Empacado y Almacenamiento*
 - 2.6. Evaluación de la Madurez de un Compost.
 - 2.7. Métodos para determinar el grado de madurez de un compost.
 - 2.7.1. *Test de tipo físico.*
 - *Olor*
 - *Color*
 - *Temperatura estable*
 - 2.7.2. *Test de la actividad microbiana.*
 - 2.7.3. *Test de tipo químico.*
 - a. *Relación C/N (en fase sólida)*
 - b. *Determinación de la Demanda química de oxígeno (DQO) del compost*
 - c. *pH*
 - 2.7.3. *Test de tipo biológico.*

CAPITULO 3: LOMBRICOMPOSTAJE

- a) Lombricompostaje Domestico
- b) Lombricompostaje Municipal
- 3.1. Por que hacer lombricompostaje
- 3.2. La lombriz (principal componente del proceso)
- 3.3. Condiciones optimas para las lombrices
 - 3.3.1. Ausencia de luz
 - 3.3.2. Humedad
 - 3.3.3. Temperatura
 - 3.3.4. pH
 - 3.3.5. Relación Carbono/Nitrogeno
- 3.4. Proceso de lombricompostaje
 - 3.4.1. Materia Prima para el Proceso
 - 3.4.2. Preparación de las camas o lombricomposteras
 - 3.4.3. Principales Parámetros de Control en el Proceso de Lombricompostaje
 - 3.4.3.1. Humedad
 - 3.4.3.2. Temperatura
 - 3.4.3.3. pH
 - 3.4.3.4. Relación Carbono/Nitrógeno
 - 3.4.4. Cosecha y multiplicación de las camas
 - 3.4.4.1. Método con malla
 - 3.4.4.2. Método del raspado
 - 3.4.4.3. Método de la pirámide
 - 3.4.4.4. Método de tamizado
- 3.5. Diseño de Planta de Lombricompostaje
- 3.6. Ventajas y Beneficios de la Lombricultura.

Capitulo 4. DESCOMPOSICIÓN ANAERÓBICA (BIODIGESTIÓN)

- 4.1. Que es un Biodigestor
- 4.2. Desarrollo Histórico de los Biodigestores
- 4.3. Tipos de Digestores
 - 4.3.1. *Batch O Discontinuo*
 - 4.3.2. *Semi Continuos*
 - 4.3.3. *Continuos*
- 4.4. Biogás
- 4.5. Parámetros de Control del Proceso de Digestión Anaeróbica en Biodigestores
 - 4.5.1. *Temperatura*
 - 4.5.2. *Ph*
 - 4.5.3. *Tiempo De Retención*
- 4.6. Ventajas del uso de Biodigestores

CAPITULO 5: COMPOSTAJE DOMICILIARIO O AUTOCOMPOSTAJE

- 5.1. Que es el Autocompostaje
- 5.2. Por que hacer autocompostaje
- 5.3. Quién hace el autocompostaje
- 5.4. Que podemos Compostar en los Domicilios
 - 5.4.1. Residuos Orgánicos que son Apropriados para el Autocompostaje
 - 5.4.2. Residuos Orgánicos que no son Apropriados para el Autocompostaje
 - 5.4.3. Porque no son Apropriados estos Residuos para Compostar
- 5.5. Herramientas son necesarias para hacer autocompostaje
- 5.6. Compostaje en Compostador
 - 5.6.1. Requisitos del Compostador
 - 5.6.2. Parámetros para fabricar de manera casera el compostador
- 5.7. Qué debemos hacer para Obtener un Compost de Calidad
 - 5.7.1. Encontrar un espacio adecuado
 - 5.7.2. Preparar el lecho base
 - 5.7.3. Mezclar siempre restos húmedos y restos secos
 - 5.7.4. Incorporar regularmente materiales
 - 5.7.5. Opcional para Acelerar el proceso
 - 5.7.6. Voltrear a menudo

- 5.7.7. Controlar la Humedad y regar en caso necesario
- 5.7.8. Recoger el compost cuando este maduro
- 5.7.9. Cuándo está listo el compost
- 5.8. Como podemos Utilizar el Compost Final
- 5.9. Solución a problemas frecuentes

CAPITULO 6: PLANTA MUNICIPAL DE COMPOSTAJE

- 6.1. Consideraciones Preliminares
- 6.2. Factibilidad de una Planta Municipal de Compostaje
 - 6.2.1. Disponibilidad de Materia Prima
 - 6.2.2. Disponibilidad de Mercado de Compost
 - 6.2.3. Capacidad Institucional
 - 6.2.4. Financiamiento del proyecto
- 6.3. Criterios de Diseño de la Planta Municipal de Compostaje
 - 6.3.1. Identificación y Cuantificación de los Residuos a Compostar
 - Unidad de Compostaje (Uc)
 - El Tiempo de Compostaje (Tc)
 - Área de Compostaje
 - 6.3.2. Determinación del Área requerida para la Planta de Compostaje Municipal
 - a) Requerimiento de área para el Proceso de Compostaje
 - 1. Área para la Recepción y Selección Previa de los Residuos a Compostar
 - 2. Área para la Reducción de Tamaño y Homogenización de los Residuos
 - 3. Área para la Composición de la Mezcla de Material a Compostar
 - 4. Área para la degradación aeróbica de los Residuos
 - 5. Área para el Proceso de Maduración del Compost
 - 6. Área de Cribado y Clasificación del Compost
 - 7. Área de Empacado y Almacenamiento
 - b) Requerimiento de Área para Administración y Operación de la Planta
 - Área administrativa.
 - Almacén de equipos y herramientas
 - Servicios sanitarios
 - Drenaje pluvial (Zanja de Coronamiento)
 - Cerca perimetral y cerco vivo de arboles
 - Área de amortiguamiento
- 6.4. Ubicación de la Planta de Compostaje
 - 6.4.1. Restricciones normativas
 - 6.4.2. Restricciones de transporte
 - 6.4.3. Restricción del tamaño del predio
- 6.5. Infraestructura de la Planta de Compostaje
 - 6.5.1. **Obras Preliminares**
 - 6.5.1.1. Limpieza y Desbroce del Sitio de Emplazamiento de la Planta de Compostaje.
 - 6.5.1.2. Vías de circulación
 - 6.5.2. **Infraestructura Proceso de Compostaje**
 - 6.5.2.1. Recepción y Selección de los residuos a compostar
 - 6.5.2.2. Reducción de tamaño y homogenización de los residuos
 - 6.5.2.3. Composición de la Mezcla de Residuos a Compostar
 - 6.5.2.4. Degradación aerobia de los residuos
 - 6.5.2.5. Maduración del Compost
 - 6.5.2.6. Cribado y clasificación del compost
 - 6.5.2.7. Empacado y Almacenamiento
 - 6.5.3. **Infraestructura Administrativa y Obras Complementarias**
 - 6.5.3.1. Área administrativa.
 - 6.5.3.2. Almacén de equipos y herramientas
 - 6.5.3.3. Servicios sanitarios
 - 6.5.3.4. Drenaje pluvial (Zanja de Coronamiento)
 - 6.5.3.5. Cerca perimetral y cerco vivo de arboles
 - 6.5.3.6. Área de amortiguamiento

Bibliografía Consultada

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadro 1: Bolivia, Clasificación Básica de Residuos Sólidos Según su Procedencia y Naturaleza
Cuadro 2: Comparación del Compostaje Realizado con Selección en Origen y el que no cuenta con Selección
Cuadro 3: Comparación de Sistemas Abiertos con los Sistemas Cerrados
Cuadro 4: Tiempo de Retención Según Temperatura
Cuadro 5: Residuos no Apropriados para el Autocompostaje y sus Efectos Negativos
Cuadro 6: Usos para el Compost

Figura 1.1: Selección Diferenciada Domiciliaria
Figura 1.2: Selección Diferenciada Básica Municipal
Figura 1.3: Sistemas de Recolección de Residuos Sólidos con Clasificación en Origen
Figura 1.4: Proceso de Bio Degradación Anaeróbica de la Materia Orgánica
Figura 1.5: Proceso de Biodegradación Aeróbica de la Materia Orgánica
Figura 1.6: Distribución y Utilización del Producto del Aprovechamiento de la Materia Orgánica
Figura 2.1: Proceso de Compostaje Aeróbico
Figura 2.2: Temperaturas en Diferentes Secciones de una Pila de Compost
Figura 2.3: Etapas de Incremento de Temperatura y Remoción o Volteo de los Residuos Orgánicos
Figura 2.4: Conformación de Montones, pilas o hileras Estáticas con Aireación Natural
Figura 2.5: Conformación de Montones, pilas o hileras Estáticas con Aireación Forzada
Figura 2.6: Conformación de Montones, pilas o hileras por Volteo
Figura 3.1: Lombricompostera
Figura 3.2: Diseño de un Lecho para Lombricompostaje
Figura 4.1: Biodigestor
Figura 4.2: Productos de los Biodigestores
Figura 5.1: Proceso de Autocompostaje
Figura 5.2: Residuos Adecuados para Compostaje Domiciliario o Autocompostaje
Figura 5.3: Residuos que no son Apropriados para el Autocompostaje
Figura 5.4: Herramientas para el Autocompostaje
Figura 5.5: Compostador Domiciliario de Madera y Malla de Gallinero
Figura 5.6: Modelos de Composteras Domiciliarias
Figura 5.7: Etapas del Auto Compostaje
Figura 5.8: Prueba de la Bolsa (Madures del Compost)
Figura 5.9: Cribado y Cosecha del Compost
Figura 6.1: Conformación de Montones, Pilas o Hileras
Figura 6.2: Dimensiones de la Unidad de Compostaje (Uc)
Figura 6.3: Dimensiones de los montones, pilas o hileras para compostaje
Figura 6.4: Preparación del Terreno para el Emplazamiento de la Planta Municipal de Compostaje
Figura 6.5: Ejemplificación de las Áreas de Recepción, Selección y Reducción de Tamaño
Figura 6.6: Preparación de la Mezcla de residuos para compostar
Figura 6.7: Área de degradación de los residuos orgánicos
Figura 6.8: Área de maduración del compost
Figura 6.9: Proceso de Cribado del Compost Maduro
Figura 6.10: Área de Almacenamiento del Compost
Figura 6.11: Área administrativa para la Planta de Compostaje
Figura 6.12: Preparación de obras complementarias
Figura 6.13: Cerca Típica y Cortina Arbórea

Diagrama 1: Programa de Aprovechamiento de Residuos Orgánicos
Diagrama 2: Proceso de Transformación de la Materia Orgánica
Diagrama 3: Sistemas de Compostaje
Diagrama 4: Proceso de Autocompostaje
Diagrama 5: Proceso de Compostaje en una Planta Municipal
Diagrama 6: Parámetros Utilizados para el Diseño de la Planta de Compostaje Municipal

Anexo 1: Técnica para la formulación de la mezcla para el compostaje.
Anexo 2: Usos recomendados para la composta.
Anexo 3: Valoración de experiencia y tecnologías utilizadas sobre compostaje Municipal
Anexo 4: Comparación de las Alternativas de Aprovechamiento de Residuos Orgánicos
Anexo 5: Valores de Generación de Biogás

PROPÓSITO DE LA GUÍA

La presente guía está dirigida fundamentalmente a aquellas personas que desde los gobiernos municipales tienen la responsabilidad de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos. Presenta la problemática del manejo y tratamiento de los residuos sólidos orgánicos en el sitio de disposición final, proporciona alternativas para transformar en forma razonable, equilibrada y fundamentalmente ecológica una parte importante de dichos residuos orgánicos, se establecen conceptos y criterios estándar para afrontar proyectos de compostaje domiciliario y compostaje Municipal.

Contenido de la Guía

Capítulo 1: El primer capítulo de la presente guía proporciona la definición de residuo orgánico, la clasificación de los residuos de acuerdo a la legislación vigente, los principales problemas que ocasionan los residuos orgánicos en el sitio de disposición final.

Capítulo 2: El segundo capítulo presenta el marco teórico del proceso de compostaje aeróbico.

Capítulo 3: El tercer capítulo presenta el marco teórico de la lombricultura.

Capítulo 4: En el cuarto capítulo se presenta el marco teórico del proceso de digestión anaeróbica (biodigestores).

Capítulo 5: El capítulo tercero realiza una descripción a detalle del proceso de Auto Compostaje, así mismo los criterios técnicos de composteras domiciliarias y los parámetros de control para obtener un compost de calidad.

Capítulo 6: En el capítulo cuarto se presenta las consideraciones, técnicas, económicas, sociales y ambientales que podrán ser tomadas en cuenta por los técnicos municipales para diseñar y evaluar la factibilidad de la instalación de una planta de compostaje municipal.

CAPITULO 1: RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

1.1. Caracterización de los Residuos Sólidos en Bolivia

Los datos de generación de residuos y su composición son los datos de partida para una buena planificación de la gestión de residuos, por ello, es necesario contar con información fidedigna para establecer y diseñar los programas de aprovechamiento de los residuos sólidos.

A nivel nacional, la producción per-cápita promedio de residuos sólidos es de 0,48 Kg/habitante-día, La generación municipal de residuos equivale a un total de 1.799.498 toneladas al año, de los cuales el 55% es materia orgánica o biodegradable (989.723,9 toneladas al año), el 22% es material reciclable (395.889,56 toneladas al año) y el resto se considera como material no aprovechable (413.884,9 toneladas al año).

1.2. Definición de Residuo Orgánico

En el proyecto de Norma Boliviana NB 69017 se presenta la siguiente definición para el residuo orgánico “Los residuos orgánicos son todos aquellos que tienen su origen en los seres vivos, animales o vegetales. Incluye una gran diversidad de residuos que se originan naturalmente durante el “ciclo vital”, como consecuencia de las funciones fisiológicas de mantenimiento y perpetuación, o son producto de la explotación de los recursos bióticos.”

El diccionario define “Residuo orgánico: todo desecho de origen biológico, que alguna vez estuvo vivo o fue parte de un ser vivo, por ejemplo: hojas, ramas, cáscaras y residuos de la fabricación de alimentos en el hogar, etc.”

1.3. Clasificación de los Residuos de Acuerdo al Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos

El Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos (RGRS) Decreto Supremo N° 24176 de fecha 08 de diciembre de 1995, realiza la siguiente Clasificación de los Residuos Sólidos, según su Procedencia y Naturaleza:

Cuadro 1: Bolivia, Clasificación Básica de Residuos Sólidos Según su Procedencia y Naturaleza

A. Residuos Domiciliarios	
B. Residuos Voluminosos	
C. Residuos Comerciales	
D. Residuos Procedentes de la Limpieza de Áreas Públicas	
E. Residuos Especiales	E.1 Vehículos y electrodomésticos desechados E.2 Neumáticos desechados E.3 Residuos sanitarios no peligrosos E.4 Animales muertos E.5 Escombros E.6 Jardinería
F. Residuos Industriales Asimilables a Domiciliarios	
G. Restos de Mataderos	
H. Lodos	
I. Residuos Agrícolas, Ganaderos Y Forestales	
J. Residuos Mineros y Metalúrgicos	
K. Residuos Peligrosos	

Fuente: Ley de Medio Ambiente N° 1333, Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos

Básicamente los residuos orgánicos se encuentran dentro de los residuos domiciliarios, comerciales (mercados), residuos de jardinería, lodos de depuradoras de tratamiento biológico y residuos agrícolas, ganaderos y forestales.

1.4. Efectos de los Residuos Sólidos Orgánicos en el Relleno Sanitario.

La fracción orgánica de los residuos generados en un municipio corresponde a más del 50% del total de los residuos, por lo que es un componente fundamental e influye en todas las etapas del servicio de aseo, elevando los costos tanto en la recolección, el transporte y la disposición final. Estos residuos orgánicos además ocasionan los siguientes problemas en el sitio de disposición final:

- El gran contenido de humedad (50 a 80 %) de esta fracción orgánica, es una de las principales fuentes de generación de lixiviado en el sitio de disposición final de los residuos sólidos, convirtiéndose en el principal problema ambiental de un relleno sanitario. La captación de lixiviados y el tratamiento de estos en un relleno sanitario es uno de los mayores problemas técnico-económico que enfrentan los rellenos.
- La degradación anaeróbica de la fracción orgánica en el interior del relleno sanitario tiene como consecuencia la generación de gases orgánicos (biogás) como el metano, gases de efecto invernadero que deben ser captados y tratados antes de ser emitidos a la atmósfera. La captación y tratamiento de biogás en un relleno supone también dificultades técnicas y económicas en los rellenos.
- Disminuyen la vida útil del relleno sanitario incrementando significativamente la cantidad de residuos que serán depositados.
- Dificultan la operación del relleno sanitario por el grado de humedad y el requerimiento de mayor cantidad de material de cobertura.
- La degradación en condiciones anaeróbicas de la materia orgánica provoca emanación de olores desagradables.

Identificación de Fuentes de Generación de Residuos Sólidos Orgánicos: Las principales fuentes de generación de residuos sólidos orgánicos dentro de un municipio, se pueden agrupar en las siguientes:

- Residuos orgánicos domésticos separados de origen en las viviendas.
- Residuos verdes de mercados y ferias.
- Residuos verdes provenientes de podas en parques y jardines (incluyen podas de las empresas de energía eléctrica, universidades, cementerios y aéreas verdes)
- Residuos de plantas de tratamiento de aguas residuales (algunos lodos, pero se requiere de cierto conocimiento y experiencia para su utilización).
- Residuos de las empresas procesadoras de alimentos de la región (incluye restaurantes)
- Residuos de las actividades agropecuarias de la región (estiércol)

1.5. Programa para el Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos

El Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos a través de un programa municipal es una opción que permite la reducción de hasta un 50% en el peso de los residuos que vayan a ser depositados en el relleno sanitario, por consiguiente el incremento de la vida útil del relleno sanitario, a demás de su aprovechamiento, ya sea reincorporándolo al ciclo natural de la materia orgánica generando abono, ya sea obteniendo energía a partir de la generación de biogás.

Un programa Municipal para el Aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos tendrá 5 componentes básicos: la Selección, Recolección, Tratamiento, Distribución y la Utilización del Producto.

Diagrama 1: Programa de Aprovechamiento de Residuos Orgánicos



La selección, Tratamiento y La utilización del producto cobran mayor importancia cuando se realiza a pequeña escala, mientras que la recolección y distribución cobraran mayo importancia cuando se trabaja con poblaciones medianas y grandes.

1.6 Componentes del Programa de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos

1.6.1. Selección: Consiste en segregar en origen, es decir, en el lugar dónde se generan, los residuos orgánicos. La selección en origen de los residuos orgánicos es fundamental para obtener un residuo libre de contaminación y por lo tanto un producto de calidad. Entre más cerca al origen de la generación se realice esta separación, menos contaminados estarán los residuos y, consecuentemente, mayor será la calidad del producto a obtener.

Una correcta selección o separación en origen de la materia orgánica, también hará incrementar la calidad de los residuos inorgánicos reciclables, incrementando así sus posibilidades de reciclaje. En otras palabras, el éxito de un programa de reciclaje tanto para materiales orgánicos como inorgánicos, depende de una correcta separación en el origen ya que aumentará la pureza de cada tipo de residuos y la eficiencia de su tratamiento.

La selección en origen de los residuos orgánicos se podrá realizar a diferentes niveles en el municipio:

Selección diferenciada en los domicilios: El grado de detalle en la selección diferenciada dependerá del grado de madurez y concientización del municipio, así como de diferentes factores relativos al contexto municipal. En general se pueden plantear las siguientes opciones:

Figura 1.1: Selección Diferenciada Domiciliaria



Selección Diferenciada a nivel Municipal: A nivel municipal, esta selección puede ocurrir en la recolección domiciliaria o en una planta de recuperación de materiales municipal..

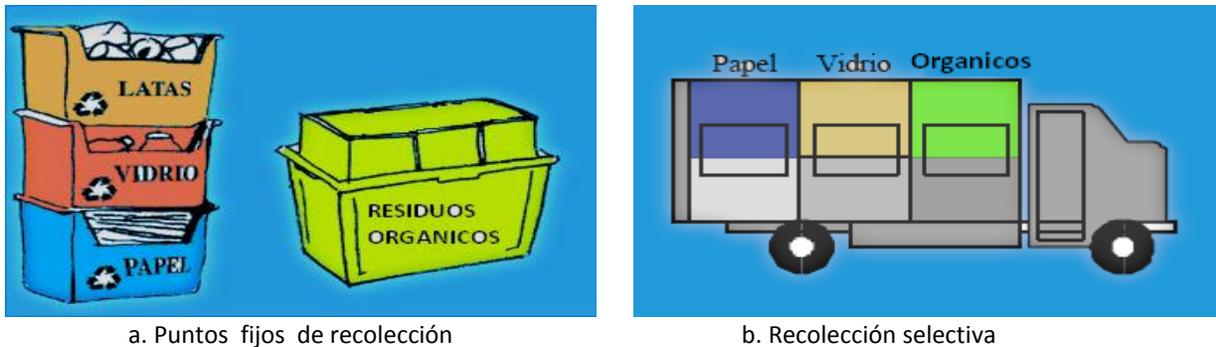
Figura 1.2: Selección Diferenciada Básica Municipal



1.6.2. Recolección: Consiste en el traslado de forma diferenciada de los residuos seleccionados de las diversas fuentes de generación al sitio de tratamiento. Cuando se trata de una operación doméstica o de pequeña escala, generalmente hay sólo una o dos fuentes de generación (la cocina y el jardín, por ejemplo), y el traslado es a una distancia pequeña y puede realizarse a mano o con una carretilla. Cuando se trata de residuos municipales de ciudades intermedias o grandes, existen muchas fuentes (hogares, establecimientos, etc.); las distancias son mayores y suele requerirse de vehículos para trasportar los residuos orgánicos al sitio de tratamiento.

El equipo y los vehículos de recolección deben ser adecuados y suficientes para los volúmenes recolectados. Asimismo, las frecuencias de recolección y las rutas deben ser bien planeadas y bien comunicadas a los usuarios. En un programa municipal de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos es conveniente seleccionar en primer lugar los barrios o comunidades que muestren mayor interés en la separación, para aprovechar el entusiasmo existente y así encauzar los esfuerzos necesarios para el arranque del nuevo sistema.

Figura 1.3: Sistemas de Recolección de Residuos Sólidos con Clasificación en Origen



1.6.3. Tratamiento: Existen diferentes alternativas para el tratamiento de los residuos orgánicos. Estos se pueden agrupar en:

- Residuos orgánicos como fuente de alimento para animales.
- Residuos orgánicos como fuente energética.
- Residuos orgánicos como fuente para la generación de abonos.

1.6.3.1. Residuos orgánicos como fuente de alimento para animales

La utilización de los residuos orgánicos de la actividad agropecuaria como fuente de alimento para los animales, así como la aplicación directa en el suelo de los mismos como abonos, son quizás las alternativas de reutilización de mayor data histórica. La actividad agroindustrial genera una gran cantidad y diversidad de residuos susceptibles de ser transformados en forrajes para los animales.

Algunos residuos de la industria de frutas y legumbres, cereales, láctea y azucarera pueden ser utilizados en forma directa como alimento para los animales. Muchos desechos de la industria frigorífica e industria del pescado, son la materia prima para la producción de harinas de sangre, hígado, hueso, etc.

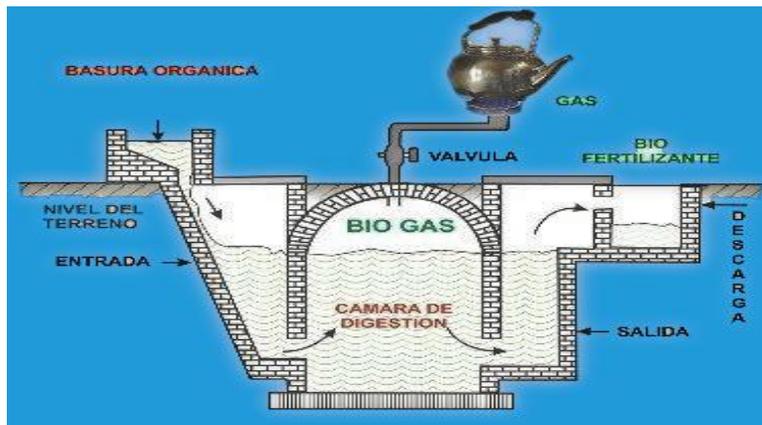
1.6.3.2. Residuos orgánicos como fuente de energía

Los residuos orgánicos presentan una biomasa que puede ser utilizada con fines energéticos, Stout (1980), estableció como aprovechamiento de los residuos orgánicos como fuente de energía la biodigestión anaerobia y la fermentación alcohólica.

Biodigestión anaerobia: Se puede definir a grandes rasgos como un proceso mesófilo, de degradación anaerobia de la materia orgánica con la obtención final de una mezcla gaseosa conocida como biogás. Este contiene aproximadamente entre un 50 a 60% de gas metano y un 30% de dióxido de carbono. Además se obtiene un lodo residual con valor de fertilizante enriquecido y un sobrenadante rico en nutrientes. El biogás es aprovechado para la obtención de energía y el resto de subproductos como fertilizante.

Fermentación alcohólica: Es un proceso bioquímico mediado por levaduras que degradan los azúcares fermentables. El producto final de la fermentación es el etanol, que es extraído por destilación fraccionada. El etanol como combustible, puede utilizarse como sustituto de la gasolina o en mezclas de alcohol-nafta (hasta un 20% de alcohol), sin requerir adaptaciones en los motores. En esta mezcla se eleva el octanaje, con lo que se reduce en gran parte el agregado de compuestos de plomo altamente contaminantes.

Figura 1.4: Proceso de Bio Degradación Anaeróbica de la Materia Orgánica



1.6.3.3. Residuos Orgánicos como Materia Prima para la Producción de Abono

Los abonos orgánicos o bioabonos, son aquellas sustancias o compuestos de origen biógeno vegetal o animal que pertenecen al campo de la química orgánica, y que son en general incorporados directamente al suelo sin tratamientos previos. La aplicación de estiércoles y purines es una práctica tradicional de abonado orgánico.

Para aprovechar el potencial que los residuos orgánicos tienen como abonos, estos deben pasar por un proceso de biodegradación aeróbica previo antes de su integración al suelo. Una de las técnicas que permite la biodegradación controlada de la materia orgánica previo a su integración en el suelo es el Compostaje y el producto final es conocido como Compost.

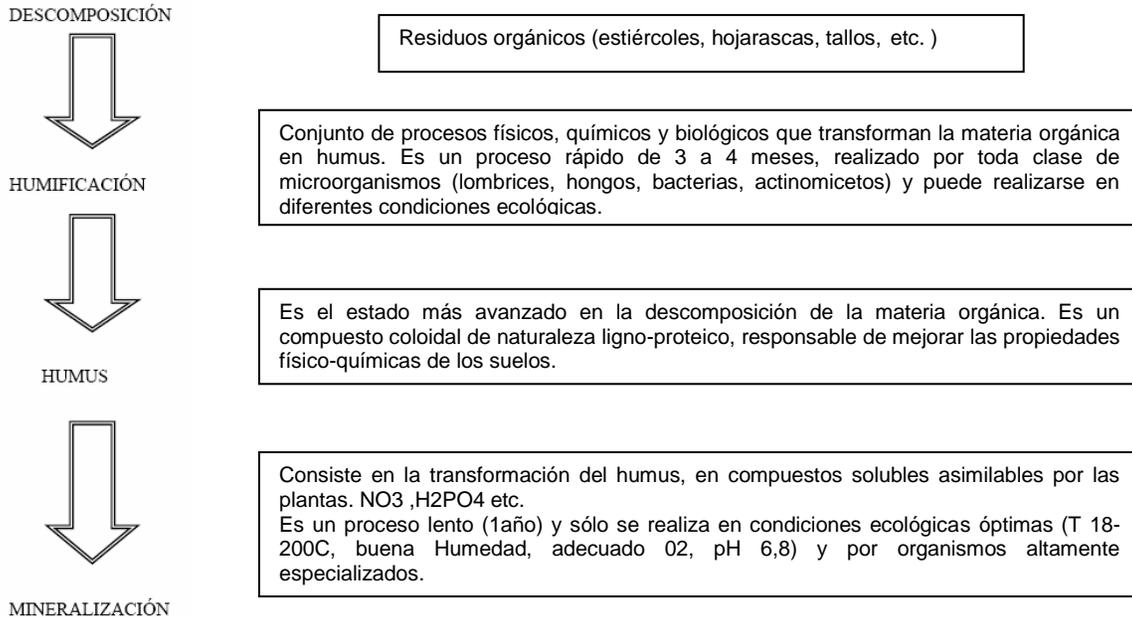
Figura 1.5: Proceso de Biodegradación Aeróbica de la Materia Orgánica



Proceso de transformación de la materia orgánica.

El proceso de transformación de la materia orgánica se clasifica en descomposición (degradación), humificación y mineralización.

Diagrama 2: Proceso de Transformación de la Materia Orgánica



Fuente: Manual para la Producción de Abonos Orgánicos (PNUD, 2002)

1.6.4. Distribución y Utilización: La distribución es el traslado del producto obtenido en el tratamiento de los residuos orgánicos a los sitios en donde se va a utilizar. En operaciones a pequeña escala, no requiere de mayor planeación ni equipo, puesto que las distancias suelen ser muy cortas y pocos sus usuarios finales. En el caso de grandes operaciones, es necesario identificar a los usuarios y las formas de acceder a ellos para la entrega de dicho producto o bien los horarios y mecanismos para que los usuarios la recojan en la misma planta. Para la distribución deben considerarse los vehículos, las rutas, los contenedores, los empaques, la frecuencia, así como las necesidades de los usuarios finales.

La utilización del producto final uno de los componentes fundamentales a ser desarrollado en un programa de aprovechamiento de residuos orgánicos municipal. Los usos pueden ser varios en función de los requisitos y contexto municipal, desde un uso interno en los viveros municipales, un uso como incentivo a las familias que realizan la selección hasta un uso comercial. En los casos de mediana y gran escala, el no utilizar el Producto obtenido puede detener la operación de la planta si se acumula excesivamente y entorpecer el proyecto.

Figura 1.6: Distribución y Utilización del Producto del Aprovechamiento de la Materia Orgánica



a. A nivel domiciliario o comunal



b. A nivel Industrial o Municipal

CAPITULO 2: COMPOSTAJE

El compostaje es un proceso tan antiguo como la agricultura y hasta hace pocas décadas ha estado ligado exclusivamente a la filosofía de conservación de la fertilidad del suelo. Hoy en día el interés por el compostaje es sobre todo la necesidad de buscar soluciones a la gestión de los residuos orgánicos, cosa que no debe hacer olvidar que en la mayoría de los casos el producto resultante tiene como destino el suelo.

El compostaje se define como la descomposición biológica aeróbica de los constituyentes orgánicos de los residuos orgánicos que se produce en condiciones controladas, en el que intervienen numerosa y variados microorganismos que requieren de una humedad adecuada y sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido (Costa et al., 1991).

El compostaje es un proceso biológico aerobio, que bajo condiciones de aireación, humedad y temperaturas controladas y combinando fases mesófilas (temperatura y humedad medias) y termófilas (temperatura superior a 45%), transforma los residuos orgánicos degradables, en un producto estable e higienizado, aplicable como abono o sustrato. (PNUD, 2002)

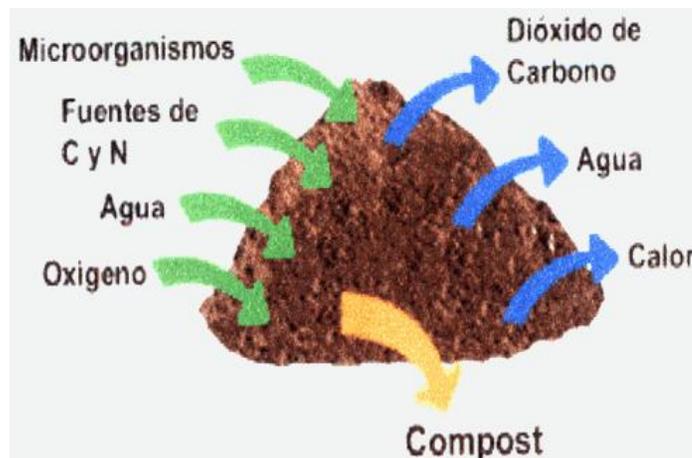
Ocasionalmente la calidad obtenida del compost puede hacerlo inapropiado para usos agrícolas y se le debe buscar otros usos no tan exigentes en calidad

Se denomina compostaje al proceso de descomposición biológica, que en presencia de aire sufren los residuos orgánicos, y que termina produciendo un producto orgánico, higienizado y parcialmente estabilizado, denominado composta que resulta beneficioso para el suelo y el crecimiento de las plantas. Esta biodegradación es un proceso natural, de trámite lento que puede llevarse a cabo tanto en un medio natural como en una instalación artificial. En este último caso su eficiencia radica en la posibilidad de control de las condiciones ambientales durante la operación. Este control jugará un rol preponderante en acelerar el grado de descomposición y mejorar la calidad del producto final.

2.1 Proceso de Compostaje

El proceso de compostaje generará un producto de color oscuro, de consistencia liviana y olor terroso, que no guarda ninguna similitud con los materiales que lo originaron.

Figura 2.1: Proceso de Compostaje Aeróbico



El compostaje es un proceso donde ocurren una serie de biotransformaciones oxidativas similares a las que ocurren en el suelo, que actúan sobre la materia orgánica mineralizando la fracción más fácilmente asimilable por los microorganismos y humificando los compuestos más difícilmente atacables. El resultado final es la obtención de un

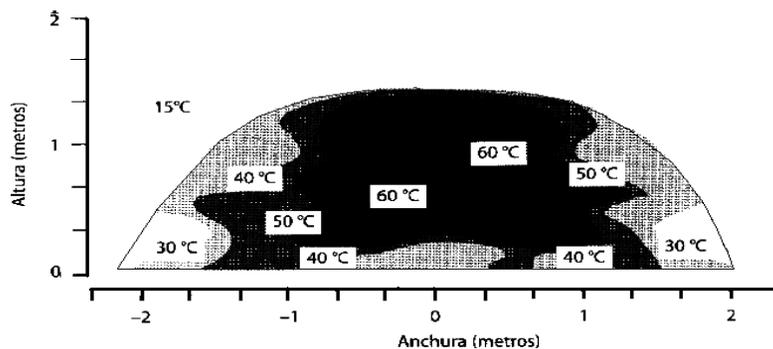
compuesto parcialmente mineralizado y humificado que puede sufrir mineralizaciones posteriores más lentas una vez que incorporado al suelo.

En un proceso de compostaje pueden distinguirse diferentes etapas. En primer lugar y dependiendo de la materia prima de partida, suele ser necesario realizar tratamientos del material previos para facilitar la fase de fermentación propiamente dicha. Por ejemplo, en el caso de residuos líquidos ganaderos, su alto porcentaje de humedad exige un tratamiento previo de desecación o bien su mezcla con otros agentes sólidos como residuos agrícolas y forestales. En la misma situación están los desechos agrícolas y forestales, debido a su bajo contenido en nitrógeno, es aconsejable mezclarlos con fuente nitrogenadas como estiércoles, purines o subproductos, de origen animal (harinas de carne o de pescado, etc.) En general, los pretratamientos llevados a cabo están en función del uso final del producto.

Debemos distinguir en un Montón, pila o hilera dos regiones o zonas:

- La zona central o núcleo de compostaje, que es la que está sujeta a los cambios térmicos más evidentes.
- La corteza o zona superficial que es la zona que rodea al núcleo y cuyo espesor dependerá de la compactación y textura de los materiales utilizados.

Figura 2.2: Temperaturas en Diferentes Secciones de una Pila de Compost



Fuente: Tomado de Atlas y Bartha, 2002

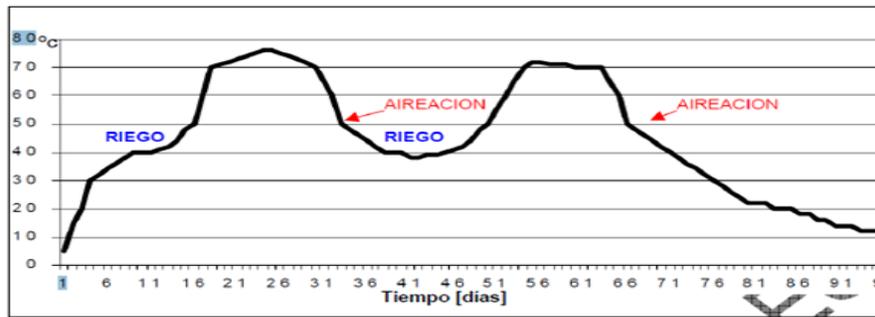
El núcleo actúa como zona inductora de calor. No obstante, todos los procesos que se dan en el núcleo, no alcanzan la totalidad del volumen de la corteza. A los efectos prácticos y utilizando como criterio las temperaturas alcanzadas en el núcleo, podemos diferenciar las siguientes etapas:

Etapas de latencia: Es la etapa inicial, considerada desde la conformación de la pila hasta que se constatan incrementos de temperatura. Esta etapa, es notoria cuando el material ingresa fresco al compostaje. Si el material tiene ya un tiempo de acopio puede pasar inadvertida. La duración de esta etapa es muy variable, dependiendo de numerosos factores, teniendo una duración de 24 a 72 horas en condiciones adecuadas.

Etapas mesotérmica (10-40°C): En esta etapa, se destacan las fermentaciones facultativas de la microflora mesófila. La etapa mesotérmica es particularmente sensible al binomio óptimo humedad-aireación. La actividad metabólica incrementa paulatinamente la temperatura. La duración de esta etapa es variable, depende también de numerosos factores.

Etapas termogénica (40-75°C): la microflora mesófila es sustituida por la termófila debido a la acción de Bacilos y Actinomicetos termófilos. Normalmente en esta etapa, se eliminan todos los mesófilos patógenos, hongos, esporas, semillas y elementos biológicos indeseables.

Figura 2.3: Etapas de Incremento de Temperatura y Remoción o Volteo de los Residuos Orgánicos



Las etapas mencionadas, no se cumplen en la totalidad de la masa en compostaje, es necesario, remover las pilas de material en proceso, de forma tal que el material que se presenta en la corteza, pase a formar parte del núcleo. Estas remociones y reconfiguraciones de las pilas se realizan en momentos puntuales del proceso, y permiten además airear el material, lo que provoca que la secuencia de etapas descrita se presente por lo general más de una vez.

2.1.1. Porqué Compostar

El compostaje es una tecnología sencilla y económica para aprovechar toda clase de residuos biodegradables, con la ayuda de los microorganismos presentes en los mismos residuos. Se puede aplicar tanto a gran escala (a nivel municipal o empresarial) de forma individual (en el jardín, en la finca) o de forma comunitaria (en comunidades rurales)

2.1.1.1. Ventajas económicas:

- Posibilidad de extender la vida útil del relleno sanitario municipal
- Posibilidad de venta o uso del compost/composta o posibilidad de uso de este para fines municipales (viveros, protección de cuencas, reforestación de rellenos clausurados)
- Disminuye la generación de lixiviados en el relleno y por lo tanto los costos de tratamiento de éstos.
- Disminuye la generación de biogás reduciendo el impacto generado por los gases de efecto invernadero y los costos de captación y tratamiento de gases.
- Remplazo de fertilizadores artificiales por un producto más económico y natural

2.1.1.2. Ventajas ecológicas o ambientales:

- Se genera menor cantidad de aguas lixiviadas y gases contaminados.
- Menos consumo de terreno, menor impacto al paisaje, al suelo y a las aguas subterráneas (porque se disminuye el volumen de basura que se va al relleno)
- Producción de compost que puede servir como mejorador de suelos y abono.
- El compost es un fertilizador natural que no produce sobrecarga química al suelo.

2.1.1.3. Beneficios del Compostaje.

Entre los beneficios del compostaje se incluyen:

Acondicionamiento del suelo: La utilización del compost como enmienda orgánica o producto restituidor de materia orgánica en los terrenos de labor tiene un gran potencial e interés, ya que la presencia de dicha materia orgánica en el suelo en proporciones adecuadas es fundamental para asegurar la fertilidad y evitar la desertificación a largo plazo.

Mejora las propiedades físicas del suelo: La materia orgánica contribuye favorablemente a mejorar la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola (serán más permeables los suelos pesados y más compactos los ligeros), aumenta la permeabilidad hídrica y gaseosa, y contribuye a aumentar la capacidad de retención hídrica del suelo mediante la formación de agregados.

Mejora las propiedades químicas: La materia orgánica aporta macronutrientes N, P, K y micronutrientes, y mejora la capacidad de intercambio de cationes del suelo.

Mejora la actividad biológica del suelo: La materia orgánica del suelo actúa como fuente de energía y nutrición para los microorganismos presentes en el suelo. Estos viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización. Una población microbiana activa es índice de fertilidad de un suelo.

2.2. El Compostaje en Relación a los Métodos de Recolección

El compostaje puede ser realizado con residuos sólidos orgánicos que provienen de una selección en origen o con residuos orgánicos que provienen de una selección de la mezcla de residuos en planta de selección. Cada una de las opciones presenta ventajas y desventajas que serán analizadas a continuación.

2.2.1. Compostaje de Residuos Sólidos Orgánicos con Selección en Origen

Los proyectos que tendrán separación en origen dependen de la participación de la comunidad, comercios e instituciones, los que luego serán recolectados, también separadamente del resto de los residuos. El compostaje de estos materiales seleccionados en origen tiene ventajas sobre el proceso hecho a partir de residuos mezclados ya que minimiza el tiempo de selección del material y el espacio destinado a descargas y almacenamiento del material ingresante. A esto se suma una calidad más alta y uniforme del compost obtenido dada la menor presencia de materiales no compostables o contaminantes. Pero se necesita mayor educación ambiental en la población generadora de los residuos.

2.2.2. Compostaje de Residuos Sólidos Orgánicos sin Selección en Origen

Los proyectos de compostaje que tiene como punto de partida los residuos sólidos mezclados no requieren realizar mayores inversiones en el sistema de recolección de los residuos y educación ambiental para la población servida, sin embargo representan mayor trabajo para el ente encargado de su recolección y tratamiento, requieren mayores áreas para las etapas de compostaje y mayores esfuerzos para obtener un compost de calidad.

Cuadro 2: Comparación del Compostaje Realizado con Selección en Origen y el que no cuenta con Selección

Residuos con Selección en Origen	Residuos Mezclados
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Menor posibilidad de contaminación – Mayor calidad del producto final (compost) – Menor costo de procesamiento del material – Promueve la participación de la comunidad 	<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> – No modifica la tarea de recolección de los residuos – No depende de la comunidad
<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Requiere de la separación de los residuos por parte de la comunidad. – Puede requerir mayor trabajo de recolección y nuevos recipientes o bolsas. 	<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Mayor potencial de contaminación (lo que deriva en menor calidad del producto final). – Mayor costo de procesamiento.

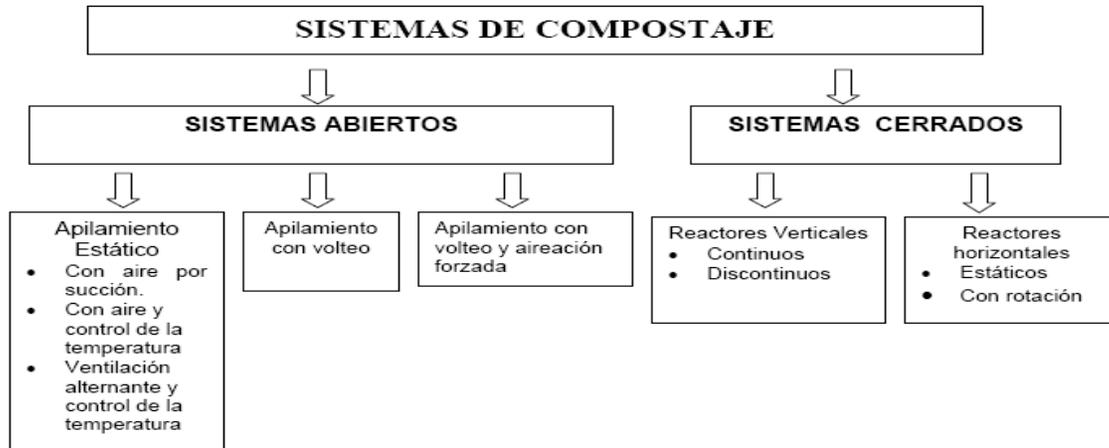
Fuente: USEPA 94

2.3. Sistemas de Compostaje

Los sistemas de compostaje tienen como finalidad facilitar el control y la optimización de los parámetros operacionales, como el control de la composición de la mezcla, la temperatura, la humedad, la aireación y tiempo, de forma de obtener un producto final con la suficiente calidad requerida para su utilización como abono orgánico.

Los sistemas utilizados se pueden clasificar en dos grupos: sistemas abiertos y sistemas cerrados. En los primeros, el compostaje se realiza al aire libre, en pilas o montones, mientras que en los segundos, la fase de fermentación se realiza en reactores. Los sistemas abiertos son los más utilizados en USA, mientras que los sistemas en fermentador son denominados con frecuencia "europeos" en razón de su origen. (Gasser, 1984)

Diagrama 3: Sistemas de Compostaje



2.3.1. Sistemas Abiertos

Los sistemas abiertos son los sistemas tradicionales de compostaje, los residuos orgánicos a compostar se disponen en montones, pilas o hileras que pueden estar al aire libre o en naves cubiertas. La aireación de la masa fermentable puede hacerse por volteo manual, volteo mecánico o mediante ventilación forzada de las pilas, a continuación se describen los sistemas de pilas estática y con volteo.

Apilamiento estático (montones, pilas o hileras)

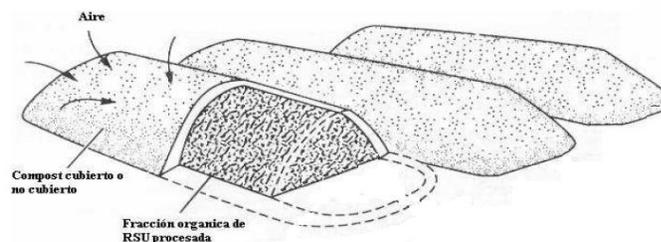
- Compostaje en montones, pilas o hileras estáticas con aireación natural
- Compostaje en montones, pilas o hileras estáticas con ventilación forzada

Apilamiento con volteo (montones, pilas o hileras)

- Compostaje en montones, pilas o hileras por volteo

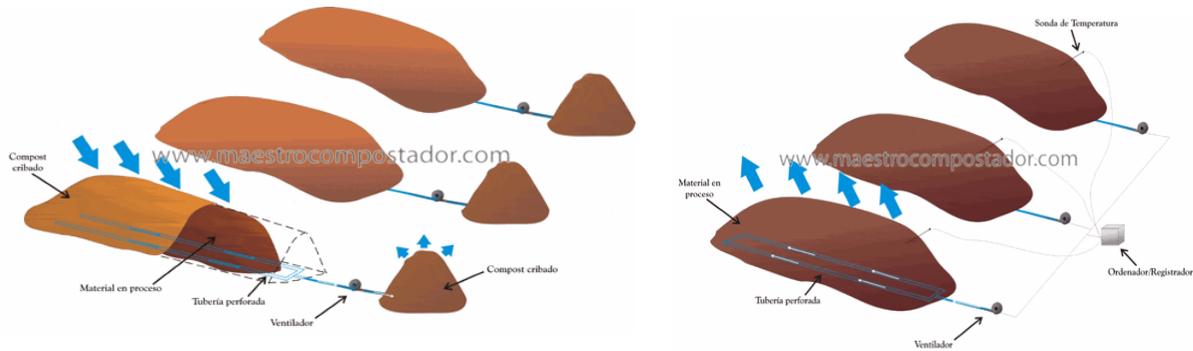
A. Compostaje en montones, pilas o hileras estáticas con aireación natural: Es el sistema más antiguo que se conoce y se realiza en montones, pilas o hileras, de altura reducida. Las pilas no se mueven durante el proceso de compostaje. La ventilación se da de forma natural a través de los espacios de la masa a compostar. Las dimensiones de los montones pueden estar en función de los equipos utilizados para compostar, pero para este sistema, usualmente se utiliza una altura de 1,5 m, con un ancho en su base de unos 2,5-3m, y de frente triangular, debiendo presentar el terreno pendiente para época lluviosa.

Figura 2.4: Conformación de Montones, pilas o hileras Estáticas con Aireación Natural



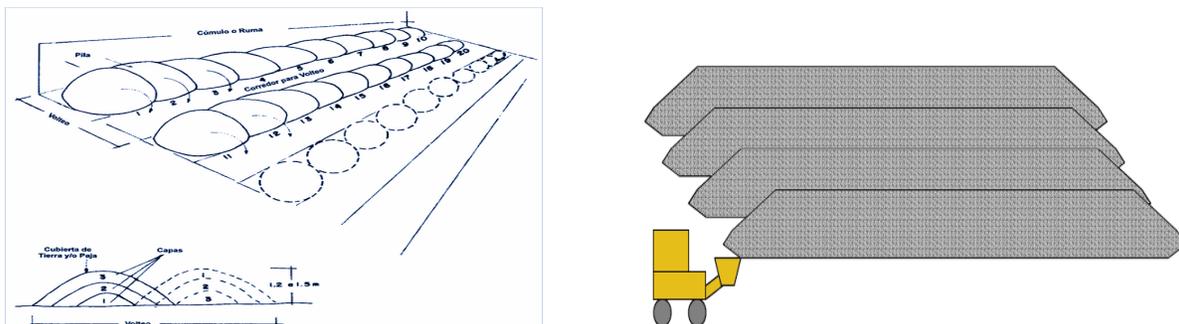
B. Compostaje en montones, pilas o hileras estáticas con ventilación forzada: La pila de fermentación es estática y en su formación se ha dispuesto en la base un sistema mecánico de ventilación por tuberías perforadas o por un canal empotrado en la solera de hormigón. Las tuberías se conectan a un compresor de aire y por lo tanto de oxígeno y la salida de CO₂.

Figura 2.5: Conformación de Montones, pilas o hileras Estáticas con Aireación Forzada



C. Compostaje en montones, pilas o hileras por volteo: Aunque es un sistema muy utilizado porque es muy simple, tiene una serie de limitaciones. En primer lugar, la pila es oxigenada tan sólo periódicamente. Requiere, en general, más espacio y el control higiénico es más difícil.

Figura 2.6: Conformación de Montones, pilas o hileras por Volteo



2.3.2. Sistemas Cerrados

En estos sistemas, la fase inicial de fermentación se realiza en reactores que pueden ser de dos tipos: horizontales o verticales, mientras que la fase final de maduración se hace al aire libre o en naves abiertas. Son sistemas desarrollados para reducir considerablemente la superficie de compostaje y lograr un mejor control de los parámetros de fermentación y controlar los olores de forma más adecuada.

- Reactores verticales (Continuos o Discontinuos)
- Reactores horizontales (Estáticos o Con rotación)

A) Fermentadores verticales: En los sistemas cerrados continuos se utilizan reactores de 4-10 m de altura. El biorreactor consta de un cilindro cerrado, aislado térmicamente, que en su parte inferior posee un sistema de aireación y extracción de material. A medida que se va extrayendo el material compostado, el material fresco va descendiendo. El control de la aireación se realiza por la temperatura y las características de los gases de salida (éstos son aspirados por la parte superior del reactor). El tiempo de residencia del residuo orgánico en el reactor de 2 semanas.

B) Reactores horizontales: El material generalmente preseleccionado (separación de inertes) se somete al proceso de compostaje en condiciones estáticas (reactor túnel) o de volteo periódico (reactor rectangular dinámico). Los reactores, tienen forma de caja rectangular de 4m de altura, 5,5 m de ancho y longitud variable según el volumen a tratar. La agitación se logra mediante sistemas hidráulicos y la aireación se realiza por sistemas situados en la parte inferior. El tiempo de reacción dentro del reactor es de 14 días y el producto requiere generalmente un tratamiento posterior.

Cuadro 3: Comparación de Sistemas Abiertos con los Sistemas Cerrados

ELEMENTO DE COMPARACIÓN	SISTEMAS ABIERTOS	SISTEMAS CERRADOS
Superficie	Grande	Reducida
Clima	Temperaturas no extremas	Variable y frío
Substrato	Todos, pero con agentes estructurales	Principalmente aquellos con elevada humedad
Tecnología	Relativamente sencilla. Sistemas de aireación 2 opciones: Aireación forzada y volteo	Relativamente sofisticada Sistemas de aireación: múltiples opciones
Sistema	Discontinuo a semicontinuo	Semicontinuo a continuo
Inversiones	De baja a moderada	De elevadas a muy elevadas
Costes de explotación	Variable. Elevada en el caso de utilización de agentes estructurantes	Elevado
Consumo energético	Bajo a medio	Medio a elevado
Mano de obra	Variable, según la instalación: mano de obra no especializada+ formación + un técnico	Obrero especializado + técnico
Duración	Fermentación: semanas Maduración: meses	Fermentación: 3 a 15 días Maduración: meses
Olores	Problema sí: - no hay suficiente aireación - volteos alargados en el tiempo	Se puede controlar según sistema de aireación.

Fuente: Mustin 1987

2.4. Principales Parámetros de Control en el Proceso de Compostaje.

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

2.4.1. Relación carbono-nitrógeno: Es necesario un buen equilibrio de nutrientes, particularmente de carbono y nitrógeno. La relación C/N expresa las unidades de carbono por unidad de nitrógeno de un residuo biodegradable fresco. El Carbono es una fuente de energía para los microorganismos y el Nitrógeno es un elemento necesario para la síntesis proteica. Una relación adecuada entre estos dos nutrientes, favorecerá un buen crecimiento y reproducción de los microorganismos; que deben llevar a cabo el proceso de compostaje. La relación C/N óptima oscila entre 20:1 y 30:1, relaciones por encima de 30:1 indica una mayor concentración de carbono lo que incrementará el tiempo de descomposición, y relaciones C/N por debajo de 20:1 derivará en la generación de gases amoniacales, por el exceso de nitrógeno, una relación C/N final entre 12-15 (considerada apropiada para el producto final).

Puede suceder que el material que dispongamos no presente una relación C/N inicial apropiada para su compostaje. En este caso, debemos proceder a realizar una mezcla con otros materiales para lograr una relación apropiada. Este procedimiento se conoce como Balance de Nutrientes. (Se presenta en el Anexo 1, una metodología para realizar el balance de nutrientes).

2.4.2. Tamaño de los residuos: Numerosos materiales pierden rápidamente su estructura física cuando ingresan al proceso de compostaje (por ej.: excretas), otros no obstante son muy resistentes a los cambios, tal es el caso de materiales leñosos y fibras vegetales en general. En este segundo caso la superficie de contacto entre el microorganismo y los desechos es pobre por consiguiente conlleva más tiempo el proceso de degradación, para tal efecto se utiliza trituradoras o chipeadoras de forma de llegar a un tamaño adecuado del material a compostar y favorecer así un proceso rápido.

El tamaño óptimo de los residuos para compostaje varía entre 50 y 10 mm. Un tamaño superior a 50 mm retarda el proceso de descomposición y un tamaño por debajo de los 10 mm ocasiona que los residuos se compacten, impidiendo el intercambio de oxígeno y CO₂ y produciéndose la degradación anaeróbica que generara olores desagradables.

Trituraciones, chipeados y posteriores moliendas donde se obtengan diámetros inferiores a aproximadamente 3 mm, no son aconsejables, ya que la acumulación de materiales con estos diámetros tienden a compactarse en los asentamientos de los montones, pilas o hileras, con lo que disminuye en forma importante la capacidad de intercambio gaseoso y produciéndose la degradación anaeróbica que generara olores desagradables.

2.4.3. Humedad: Para encaminar una reacción aeróbica, la humedad de los residuos debe oscilar entre 35 y 60%. Humedades por debajo de este rango ocasionan que la actividad microbiológica descienda y el proceso de degradación se torne extremadamente lento. Al contrario, humedades superiores al 60% favorece el degradación anaeróbica generando olores desagradables.

2.4.4. pH: El rango de pH tolerado por las bacterias en general es relativamente amplio, existen grupos fisiológicos adaptados a valores extremos. No obstante pH cercano al neutro (pH 6,5-7,5), ligeramente ácido o ligeramente alcalino nos asegura el desarrollo favorable de la gran mayoría de los grupos fisiológicos.

2.4.5. Temperatura: Cuando el material se está compostando pasa por un ciclo de temperaturas que es ocasionado por la actividad microbiológica. Al inicio los Montones, pilas o hileras aumentan rápidamente la temperatura por la actividad metabólica de los microorganismos, se mantiene así por un corto tiempo y luego comienza a enfriarse. Al voltear la pila se facilita la entrada de aire, se traen al interior los materiales del exterior, y la pila se vuelve a calentar.

La temperatura está condicionada por la humedad y la aireación, y varía dependiendo de la actividad metabólica de los microorganismos. De acuerdo a este parámetro el proceso de compostaje se divide en cuatro etapas: mesofílica (< de 40 °C), termofílica (40 a 60°C), fase de enfriamiento (< de 40 °C) y fase de maduración (temperatura ambiente). En la fase termofílica, se alcanzan las temperaturas más altas, las cuales son relevantes para que se dé la “autoesterilización” del sustrato, asegurando la eliminación de microorganismos y sustancias no deseadas en el producto final.

2.5. Operaciones en el Proceso de Compostaje

Recepción y selección de los Residuos Orgánicos a Compostar: Los residuos orgánicos tienen que ingresar a una zona de descarga (recepción), esta zona puede tratarse de un terraplén o simplemente una playa de descarga abierta. En el caso que se reciban residuos procedentes de la recogida selectiva de residuos sólidos urbanos (fracción orgánica seleccionada en origen), tras la descarga, se extienden estos residuos y un operario se encarga de retirar de forma manual aquella fracción no orgánica más evidente o voluminosa, posteriormente se realiza la selección de elementos contaminantes de menor tamaño (bolsas, baterías, pilas, metales).

Reducción de tamaño y homogenización de los residuos: Cuando los residuos consisten en restos vegetales (fracción vegetal), procedentes en su mayoría de restos de poda, tras su descarga, se introducen en una máquina trituradora, de forma de reducir el tamaño de estos residuos y homogenizar el tamaño de todos los residuos que iniciaran el proceso de compostaje.

Composición de la Mezcla de Residuos a Compostar: Una de las etapas fundamentales de todo proceso de compostaje es mezclar los materiales en las proporciones adecuadas, esta puede realizarse mediante una pala cargadora o por medios de herramientas manuales (azadón, pala), se realiza la mezcla de los compuestos verdes y secos en proporciones apropiadas, a fin de conseguir una homogeneización del material a compostar.

Degradación aerobia de los residuos: En este caso, el material a compostar se dispone en forma de pilas, donde se produce la primera fase de la degradación de los residuos orgánicos (con incremento de la temperatura de la pila). Las pilas se remueven mediante una volteadora a fin de oxigenarlas y favorecer que se realice la degradación del residuo por parte de los microorganismos; por otro lado, se riega para mantener la humedad. Esta fase se suele prolongar de forma varios meses.

Maduración del Compost: Finalizado el proceso de degradación de la materia orgánica por los microorganismos, se retira el material con ayuda de una pala cargadora o de forma manual y se transporta a la zona de maduración, durante el proceso de maduración el compost termina de desarrollar las características deseadas para sus posteriores aplicaciones. Generalmente, este periodo de maduración se lleva a cabo en una zona diferente al sitio donde se ha realizado la fase activa del compostaje, no obstante, la maduración se puede realizar en el mismo sitio y en la misma pila donde ha tenido lugar la fase activa.

Cribado y clasificación del compost: Finalizado el proceso de maduración, el compost pasa al área de refinado donde se realiza la separación de impurezas que pudieran quedar (piedras, fragmentos de vidrio, trozos de plástico, etc.), restos de la fracción vegetal de mayor tamaño y se consigue la homogeneización del compost final, a fin de obtener un producto final con un aspecto fino y uniforme.

El compost es cribado y se separan las siguientes fracciones: La fracción de rechazo, formada por impurezas, se envía posteriormente a un depósito controlado y la los restos vegetales más gruesos se vuelven a introducir al inicio del proceso de compostaje, así mismo el compost fino que está listo para su comercialización.

Empacado y Almacenamiento: El compost empaquetado es más caro que el compost a granel y además es más atractivo para posibles clientes. Si las bolsas son pequeñas no se necesita un equipo especial, es suficiente un embudo, para facilitar su llenado a mano y un sellador. Si el compost se va a empaquetar en bolsas de plástico su contenido en humedad ha de ser como máximo del 35% ya que de lo contrario, seguirá descomponiéndose y fermentará. En función del destino final del producto, o atendiendo a los requerimientos del cliente, el compost se puede mezclar con arena, tierra, turba, etc. para conseguir el producto deseado. Esta mezcla se realiza mediante pala cargadora. El compost final obtenido se almacena hasta el momento de su venta o aplicación al terreno.

2.1.7 Evaluación de la Madurez de un Compost.

La evaluación de la madurez de un compost es uno de los problemas más importantes que se plantea en relación al proceso de compostaje y aplicación del producto obtenido al suelo.

Por otra parte, la incorporación de estos productos insuficientemente maduros al suelo origina la descomposición posterior de estas sustancias que pueden producir serios daños tanto en el suelo como en la planta. Así, se ha descrito que se produce un descenso del contenido de oxígeno y del potencial de oxidoreducción del suelo, favoreciéndose la creación de zonas de anaerobiosis y fuertemente reductoras. Esto, unido a un aumento de la temperatura, puede llegar a inhibir la germinación o en ocasiones se produce una disminución en el desarrollo de las plantas.

2.1.8 Métodos para determinar el grado de madurez de un compost.

Para que los efectos de la aplicación del compost sean positivos, este debe ser lo suficientemente maduro, es decir estable, puesto que de lo contrario la materia orgánica poco estabilizada seguirá el proceso de descomposición en el suelo pudiendo provocar problemas. Para evitar estos posibles efectos negativos se hace necesaria la evaluación de la madurez de un compost.

Es difícil, la definición de la calidad de un compost a partir de un único parámetro químico, bioquímico y toxicológico, ya que el compostaje es un proceso microbiológico muy complejo.

Un solo parámetro podría ser un buen indicador del grado de madurez desde un punto de vista teórico, pero inaplicable por su pérdida de significación al ignorar la historia de la muestra, o por no ser aplicable a los análisis de rutina. Aunque no se dispone de un método simple y reproducible, son muchos y diferentes los criterios propuestos. Estos se pueden agrupar en 5 tipos:

- Test de tipo físico
- Test de la actividad microbiana
- Test de la fracción húmica del compost
- Test químicos
- Test biológicos o test de fitotoxicidad

Test de tipo físico.

Son los habitualmente utilizados y, en general, dan una idea aproximada de la madurez de un compost. En este test los aspectos a tener en cuenta son:

Olor: El compost maduro debe tener ausencia de olor desagradable y debe tener un olor similar a la tierra húmeda.

Color: Durante el proceso de compostaje, el material sufre un proceso de oscurecimiento o melanización hasta transformarse en un producto oscuro.

Temperatura estable: Tal como hemos comentado anteriormente, durante el compostaje se considera la evolución de la temperatura, como reflejo de la actividad de la población microbiana involucrada en el proceso, que decrece considerablemente al final del mismo. En este sentido, un compost se considera maduro cuando la curva de temperatura del mismo se ha estabilizado y no varía con el volteo del material.

Test de la actividad microbiana.

Algunos autores han tratado de relacionar el grado de madurez de un compost con las características de los compuestos húmicos presentes en el mismo, principalmente atendiendo a su grado de polimerización, tasa de extracción y su riqueza en el compost. Así, se emplea como índice de madurez, la relación carbono de ácidos fúlvicos/ carbono de ácidos húmicos, que debe disminuir a lo largo del proceso.

Test de tipo químico.

Existe un gran número de test o análisis químicos que pueden ser utilizados, con un mayor grado de confianza que los físicos, como criterios indicadores del grado de madurez de los compost. Entre ellos se pueden destacar:

a. Relación C/N (en fase sólida).

Es el criterio tradicionalmente utilizado para la determinación de la estabilidad de un compost. Si bien pueden presentar alguna dificultad en la selección de muestras lo suficientemente homogéneas, la determinación del mismo es relativamente sencilla y rápida. Por lo general, un compost se considera maduro cuando su relación C/N es menor de 20 y lo más cercano a 15, aunque en la práctica dicho valor puede ser superior, ya que gran parte del carbono orgánico, al encontrarse en formas resistentes como son celulosas o ligninas, no puede ser utilizado de inmediato por los microorganismos.

b. Determinación de la Demanda química de oxígeno (DQO) del compost.

Constituye un método rápido y sencillo para evaluar el grado de madurez del compost. Básicamente consiste en una oxidación del material mediante dicromato potásico y valoración posterior con sulfato ferroso amónico.

c. pH

También la determinación del pH sería un buen indicador de la marcha del proceso ya que, por lo general, durante el compostaje, el pH disminuye ligeramente, para subir posteriormente a medida que el material se va estabilizando, quedando al final del proceso entre 7 y 8. Valores más bajos indicarían que se han producido fenómenos de anaerobiosis y que el material no está aún maduro.

Test de tipo biológico.

Últimamente se están desarrollando un gran número de test biológico, con el fin de evaluar la madurez de un compost, estos test están basados en el efecto negativo que provoca la aplicación de compost "inmaduros" sobre la germinación de las semillas debido a la presencia de compuestos fitotóxicos en estos productos. Este test consiste fundamentalmente en la obtención de un extracto acuoso del material que es introducido en una placa Petri de incubación donde se determina el grado de germinación. En general, un compost se considera maduro cuando el índice de germinación es superior al 50%. Ensayos de respuesta vegetal, podrían ser recomendables para estudiar el efecto del compost sobre la producción vegetal.

CAPITULO 3: LOMBRICOMPOSTAJE

El lombricompostaje o vermicompostaje es una técnica que consiste en la utilización de lombrices para la obtención de compost y humus a partir de restos de materia orgánica. A este compost o humus se le denomina lombricompost o vermicompost. El compostaje con lombrices se puede realizar a varias escalas, y la más pequeña en tamaño, aunque no en importancia es el lombricompostaje doméstico que es realizado en las propias casas con el residuo orgánico generado en la casa, asimismo se presenta el lombricompostaje a nivel municipal realizado en plantas municipales con los residuos orgánicos recolectados por el servicio de aseo urbano. Se pueden diferenciar dos tipos de lombricultura.

- El compostaje con ayuda de lombrices
- La lombricultura intensiva.

La diferencia es la siguiente: En 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 intensiva son las heces fecales de las lombrices (lombricompuesto) que es un humus extremadamente fino, sin elementos tóxicos y con características excelentes de un fertilizante. Si se siembran pocas lombrices al cuerpo de basura, se realiza el compostaje con ayuda de lombrices. Si se siembra una cantidad alta de lombrices al cuerpo de los residuos, se produce el compost de heces de lombrices. Las diferencias entre los dos métodos y el compostaje estándar se muestra en el siguiente cuadro:

a) Lombricompostaje Doméstico: Es una técnica que puede llevarse a cabo en espacios reducidos, por lo que suele ser ideal para pisos con o sin terrazas. Simplemente se trata de favorecer las condiciones ambientales en las que viven las lombrices de forma natural debajo del suelo, para que con su actividad contribuyan a liberar los compuestos esenciales y ponerlos nuevamente a disposición de los suelos agrícolas.

Se trata pues de realizar el reciclaje de nuestros desechos orgánicos de origen vegetal ayudándonos de las lombrices. Para ello es necesario saber la cantidad de residuos en volumen que produce la casa durante el mes, ya que así se facilitará un vermicompostador capaz de procesar esa misma cantidad de materia orgánica en un mes. Un sistema de lombricompostaje casero consta de tres cajas plásticas. Una de ellas alberga las lombrices y restos orgánicos precompostados donde están las lombrices inicialmente. La siguiente caja es la que se encargará de recibir los restos orgánicos que se generen durante el mes, y la tercera caja es la encargada de recoger los lixiviados de las dos anteriores cajas.

Figura 3.1: Lombricompostera



b) Lombricompostaje Municipal: El lombricompostaje municipal es un proceso similar al compostaje anteriormente descrito, a diferencia del compostaje los principales encargados de la degradación de la materia orgánica son fundamentalmente las lombrices, el lombricompostaje municipal puede partir de residuos orgánicos frescos o del compost obtenido anteriormente descrito.

3.1. Por que hacer lombricompostaje

Los motivos son muy similares a los del compostaje doméstico o municipal. Las principales razones son las siguientes:

1. El lombricompost obtenido puede ser utilizado a nivel domestico en plantas y jardines como a nivel municipal en áreas agrícolas, viveros y áreas verdes como un fertilizante orgánico.
2. Reducimos la cantidad de materia orgánica que podría ir a vertedero o relleno sanitario del Municipio, y consecuentemente la generación de lixiviados y biogás.
3. Evitamos para la tierra el uso indiscriminado (e inadvertido) de productos artificiales, que determina que el suelo, con el correr del tiempo, quede sujeto a una pérdida de fertilidad.
4. Las lombrices producen un humus de alta calidad (lombricompost), con una estructura muy estable. Lo que le supone una serie de ventajas frente a otro tipo de abonos orgánicos.

3.2. La lombriz (principal componente del proceso)

En las plantas de lombricultura, se colocan lombrices para apoyar al proceso de compostaje o para realizar la degradación de los residuos orgánicos frescos 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. Las lombrices de la especie Eisenia Foétida, (lombriz roja californiana), 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.

3.3. Condiciones optimas para las lombrices

Para mantener en condiciones óptimas el medio en el que se desarrollan las lombrices y poder conseguir un buen lombricompost, se recomiendan las siguientes condiciones:

3.3.1. Ausencia de luz: Las lombrices viven debajo de la superficie del suelo, no toleran bien la luz, Para asegurar que se dispersen homogenamente por todo el cuerpo de los residuos, se recomienda cubrir el área de lombricultura. Eso se puede hacer con pasto, con hojas, tierra humus o con compost listo de esta forma evitar la exposición directa de la luz solar a la planta de lombricompostaje.

3.3.2. Humedad: Las lombrices tienen una cutícula permeable haciendo que pierda agua fácilmente, no les conviene que baje drásticamente la humedad, porque no sólo paraliza la actividad sino que puede reducirnos la población de lombrices, la humedad adecuada es de 55 a 65 %.

3.3.3. Temperatura: El óptimo debe oscilar entre los 20° - 25° C, aunque resisten temperaturas entre los 0-45° C. Así cuando la temperatura es inferior a 7°C, las lombrices no se reproducen, pero siguen produciendo abono, aunque en menor cantidad.

3.3.4. pH: No soportan valores inferiores a 4.5, la acidez les resulta desagradable, el óptimo se encuentra entre 6 y 8 aunque algo leve pueden tolerarla.

3.3.5. Alimentación: Prefieren los restos vegetales algo descompuestos con una relación C/N relativamente baja, esto hace que presenten una fuerte selectividad con respecto a la vegetación que existe sobre el suelo. Los restos de verduras y frutas de cocina son de su agrado en cuanto a la relación C/N.

La lombriz roja alcanza su madurez sexual a los 3 meses de edad. Una vez cumplido este periodo ya está en condiciones de aparearse. Se reproduce con un periodo de 7 a 10 días. De cada cocón (huevo) depositado salen como media entre 2 y 20 lombrices que son totalmente independientes, de un tamaño de 1 mm, presentan un color blanco transparente que se vuelve rosado a los 5 ó 6 días, y que pasa definitivamente a rojo oscuro a los 15-20 días.

Son muy prolíficas, por lo que una sola lombriz adulta puede reproducirse unas 36 veces al año y cada una producir 0,3 gr diarios de humus.

3.4. Proceso de Lombricompostaje

El procedimiento para la elaboración de humus (lombricompost) en una planta de tratamiento de residuos sólidos debe considerar los siguientes aspectos:

3.4.1. Materia Prima para el Proceso: Como ya se dijo anteriormente la materia prima para la elaboración de lombricompost puede ser el compost o iniciar con residuos sólidos orgánicos frescos. En el caso de iniciar el proceso con los residuos orgánicos frescos, se deberá tener mayores cuidados, ya que la etapa mesofílica y termofílica pueden afectar a las lombrices en el proceso de lombricompostaje.

3.4.2. Preparación de las camas o lombricomposteras: Primero se deberá colocar un colchón de paja o pasto en toda el área de lombricultura, este procedimiento se sigue cuando la materia orgánica a procesar no está convenientemente degradada. Este colchón sirve de refugio a la lombriz californiana en el caso de sufrir cambios medioambientales en su medio de crianza. La temperatura óptima es de 20° - 25° C.

En el caso de contar con material ya degradado (compost), dicho material es depositado en las camas de lombricultura en capas de 25 cm. Para un metro cúbico de compost se requieren aproximadamente 57 000 lombrices, los que producirán 2,8 Kg de lombricompost por día.

3.4.3. Principales Parámetros de Control en el Proceso de Lombricompostaje

1. Humedad: Será del 60% para facilitar la ingestión del alimento y el deslizamiento de las lombrices a través del material, Si la humedad no es adecuada puede dar lugar a la muerte de la lombriz. Las lombrices toman el alimento chupándolo, por tanto la falta de humedad les imposibilita dicha operación. El exceso de humedad origina empapamiento y una oxigenación deficiente.

Los sistemas de riego empleados son el manual y por aspersión. El procedimiento manual consta de una manguera de goma, flexible. Por su sencillez es muy fácil de realizar, siendo necesario un trabajador implicado exclusivamente en

esta labor. Los encharcamientos deben evitarse, ya que un exceso de agua desplaza el aire del material y provoca fermentación anaeróbica.

Para comprobar el grado de humedad en las camas de lombricultura el operario deberá empuñar un poco de material en proceso y al presionarlo deberá caer unas gotas continuas de agua, siendo el óptimo; de presentarse un chorro continuo de agua la humedad será excesiva y de haber un pequeño goteo o no caer ninguna gota de agua habrá deficiencia.

2. Temperatura: El rango óptimo de temperatura para el crecimiento de las lombrices se encuentra entre 12 y 25° C. Durante el invierno, si los cambios de temperatura son muy bruscos, será necesario cubrir las camas de lombricultura con pajas o chala, u otro material que evite los cambios bruscos de temperatura.

Durante el verano si la temperatura es muy elevada, se recurrirá a riegos más frecuentes, manteniendo los lechos libres de malas hierbas, procurando que las lombrices no emigren buscando ambientes más frescos.

3. pH: El pH óptimo es 7, aunque se puede trabajar en un rango de 6 a 8 en pH

4. Aireación: Es fundamental para la correcta respiración y desarrollo de las lombrices. Si la aireación no es la adecuada el consumo de alimento se reduce; además de reducirse la reproducción de las lombrices.

Cuando se observe compactación en las camas de lombricultura será necesario removerlas, en este momento se aprovechará para retirar restos de residuos que no hayan sido retirados en el proceso de compostaje, por consiguiente se recomienda que la altura en las camas de lombricultura no exceda de los 50 cm a 100 cm.

3.4.4. Cosecha y multiplicación de las camas: Durante los 3 primeros meses las lombrices no necesitarán ningún cuidado especial, solamente el riego y la comida. Transcurrido ese tiempo las lombrices se habrán comido el 90% de los desechos orgánicos, por tanto habrá que multiplicar las camas.

Los métodos de cosecha más utilizados se describen a continuación:

Método con malla: La cosecha puede realizarse de diferentes formas aunque la más efectiva resulta ser colocando una malla en la superficie del cantero y depositando el alimento sobre ésta, al cabo de tres o cuatro días cuando las lombrices suban a comer (lo cual se aprecia visualmente) se retira la malla y con ella las lombrices. Esta operación se repite cuantas veces sea necesaria.

Método del raspado: Se deposita material fresco (alimento) en la superficie y entre los 2 a 3 días manualmente se extraen los 10 cm superiores de toda la superficie con la ayuda de una pala, se vierte ese contenido en una cama nueva, se alimentan y se riegan. En la segunda semana, se extraen de la misma cama o canteros otros 10 cm, se depositan en una segunda cama de nueva creación, se alimentan ambas y se riegan, entonces las lombrices subirán a la excreta a comer de ella. Ya en la tercera semana se extraen los últimos 10 cm superiores donde quedan aproximadamente el 5% de las lombrices. De esta forma se extrae el humus que está en el fondo de la cama o cantero.

Método de la pirámide: Se extraen los primeros 10 cm del cantero o canoa y se exponen al sol en forma de cono. Al cabo de 20 o 30 min. se abre el cono y se extraen las lombrices agrupadas en el centro y en el fondo separadas del humus.

Método de tamizado: Consiste en hacer pasar el material extraído de la superficie del cantero por tamices que permitan separar el humus de las lombrices.

3.5. Diseño de Planta de Lombricompostaje

Hay diferentes modelos 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.

En el caso de tratarse de compostaje con ayuda de lombrices simplemente se deja a las lombrices sobre los montones, pilas o hileras, de donde migran al interior del cuerpo de los residuos orgánicos.

Otra posibilidad es el lombricompostaje 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 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 residuos orgánicos diariamente, se recomienda seleccionar el largo de los lechos de tal manera que cada lecho contenga el volumen de los residuos orgánicos que se produce diariamente. Como se puede cargar residuos hasta 50 cm arriba del lecho, 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/m³ = 14.3 m³ de residuos orgánicos

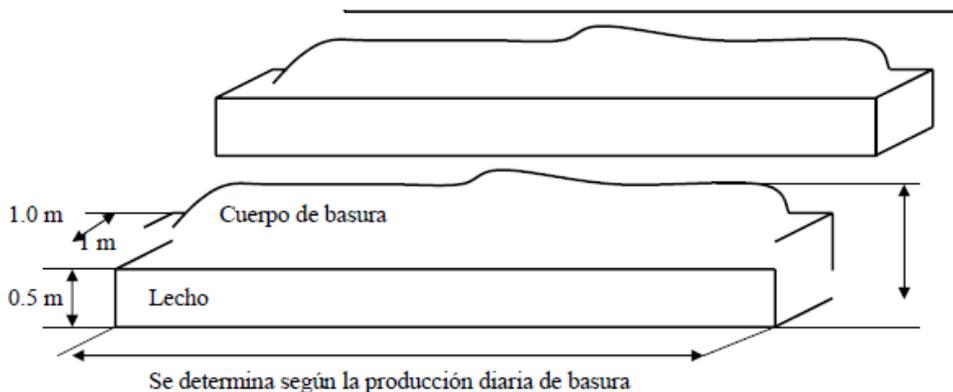
Volumen necesario del lecho = 1/2 del volumen de los residuos orgánicos = 7.15 m³

Ancho del lecho = 1 m (fijo)

Profundidad del lecho = 0.5 m (fijo)

=> Largo del lecho = 14.3 m (seleccionado: 15 m)

Figura 3.2: Diseño de un Lecho para Lombricompostaje



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.

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.

3.6 Ventajas y Beneficios de la Lombricultura.

La lombriz resuelve uno de los problemas más urgentes de la humanidad desde el punto de vista ambiental, si tenemos en cuenta la gran cantidad de basura, lodos, residuos de desechos agrícolas y urbanos que se acumulan y constituyen un problema interno de espacio, de salud, de contaminación y de combustible.

- El cultivo de la lombriz ofrece un producto biológico y orgánicamente superior que tiene el título del mejor de los fertilizantes.
- Proporciona fertilizantes orgánicos para aumentar la producción agrícola.
- Sustituye los fertilizantes químicos cada vez más costosos y contaminantes.
- El humus de lombriz tiene una alta calidad debido a su efecto en las propiedades biológicas del suelo y se dice que “Vivifica el suelo”. Presenta 2 billones de colonias de bacterias por gramo de humus.
- El uso indiscriminado de fertilizantes químicos ha llevado a un agotamiento de los suelos, el humus ofrece una respuesta ecológica inmediata, restaurando completamente estos suelos estériles.
- Las lombrices pueden ser utilizadas vivas o como harina de lombriz. Cuando se emplean vivas su destino lo constituyen las instalaciones dedicadas a la acuicultura y cría de peces como truchas, carpas, salmones. En forma de harina se puede emplear en la preparación de piensos compuestos y correctores proteicos, pues su alto contenido en cuanto a cantidad y calidad la hacen idóneo para esta actividad, utilizada en la dieta de aves y en la ganadería.

El humus de lombriz es un abono orgánico abundante en nutrientes. Por esta razón puede ser utilizado en dosis más bajas que el resto de los abonos orgánicos lo que garantiza la fertilidad de suelos y sustratos. La cantidad a emplear depende de la modalidad de cultivo que se explote.

A continuación se recomienda algunas dosis de humus.

Huertos familiares	-----600 gramos/m ²
Flores	-----20 a 50 gramos / planta
Césped	-----500 g/m ²
Macetas	-----8 cucharadas por maceta.
Plantas medicinales	-----30 a 40 g / planta.
Huertos Intensivos	-----0,6 a 1 kg/m ² .
Organopónicos	----- 0,6 a 1 kg/m ² .

Fuente: PNUD, 2002, Manual de Abono Organico

CAPITULO 4: DESCOMPOSICIÓN ANAERÓBICA (BIODIGESTIÓN)

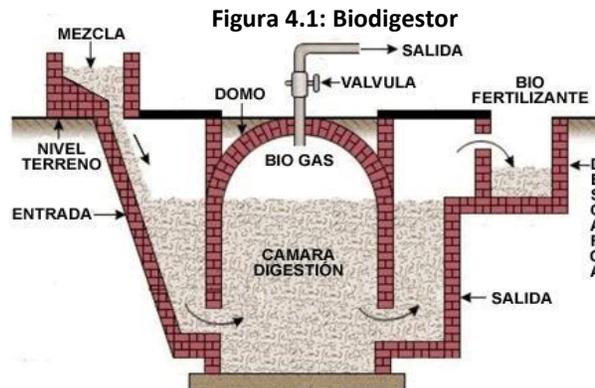
La digestión anaeróbica es el proceso en el cual microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno. Este proceso genera diversos gases, entre los cuales el dióxido de carbono y el metano son los más abundantes (dependiendo del material degradado). En biodigestores se aprovecha esta liberación de gases para luego ser usados como combustible. La intensidad y duración del proceso anaeróbico varían dependiendo de los diversos factores, entre los que se destacan la temperatura y el pH del material biodegradado.

Básicamente, el proceso considera tres etapas: Hidrólisis, etapa en la que los polisacáridos (celulosa, almidón, etc.), los lípidos (grasas) y las proteínas, son reducidas a moléculas más simples; Acidogénesis, etapa en que los productos formados anteriormente son transformados principalmente en ácido acético, hidrógeno y CO₂; Metanogénesis, los productos resultantes de esta etapa son metano CH₄ y CO₂, principalmente.

Considerando que las bacterias son el ingrediente esencial del proceso, es necesario mantenerlas en condiciones que permitan asegurar y optimizar su ciclo biológico. Los principales parámetros que influyen en la producción de biogás son: Temperatura; Tiempo de Retención; Relación Carbono/Nitrógeno; Porcentaje de sólidos y pH.

4.1. QUE ES UN BIODIGESTOR

Un biodigestor es un sistema natural que aprovecha la digestión anaerobia (en ausencia de oxígeno) de las bacterias que ya habitan en el estiércol, para transformar éste en biogás y fertilizante. El biogás puede ser empleado como combustible en las cocinas, o iluminación, y en grandes instalaciones se puede utilizar para alimentar un generador que produzca electricidad. El fertilizante, llamado biól, inicialmente se ha considerado un producto secundario, pero actualmente se está considerando de la misma importancia, o mayor, que el biogás ya que provee a las familias campesinas de un fertilizante natural que mejora mucho el rendimiento de las cosechas.



4.2. DESARROLLO HISTÓRICO DE LOS BIODIGESTORES

1776	Volta descubre el metano (CH ₄) en el gas de los pantanos
1869	Por primera vez se utiliza el Biogas (metano) en un hospital de Bombay - India
Asia	<ul style="list-style-type: none"> • 120,000 pequeños biodigestores sin calefacción en la India • Más de 7 millones de biodigestores sin calefacción en la China • Número considerable de biodigestores en otros países asiáticos
Europa	<ul style="list-style-type: none"> • Pequeño boom entre 1973 y 1985 como resultado de la crisis energética • Propósito principal: generación de energía y protección del medio ambiente

Fuente: UNI. Hohenheim

4.3. TIPOS DE DIGESTORES

De acuerdo a la frecuencia de cargado, los sistemas de biodigestión se pueden clasificar en:

4.3.1. Batch o discontinuo.- se carga una sola vez en forma total y la descarga se efectúa una vez que ha dejado de producir gas combustible. Normalmente consiste en tanques herméticos con una salida de gas conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás. Este sistema es aplicable cuando la materia a procesar está disponible en forma intermitente.

4.3.2. Semi continuos.- Es el tipo de digestor más usado en el medio rural, cuando se trata de digestores pequeños para uso doméstico. Los diseños más populares son el hindú y el chino. Poseen el gasómetro integrado al sistema y se construyen totalmente enterrados. Se cargan por gravedad una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantienen las condiciones de operación.

4.3.3. Continuos.- Este tipo de digestores se desarrollan principalmente para tratamiento de aguas residuales. En general son plantas muy grandes, en las cuales se emplean equipos comerciales para alimentarlos, proporcionarles calefacción, agitación, así como para su control.

4.4. BIOGÁS

El biogás es el gas producido durante el proceso de fermentación anaerobia (sin presencia de oxígeno) de la fracción orgánica de los residuos. Está compuesto principalmente por Metano (CH₄) y Dióxido de Carbono (CO₂), además de otros gases en cantidades menores.

4.5. PARÁMETROS DE CONTROL DEL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA EN BIODIGESTORES

Para mantener un proceso de digestión aeróbica el reactor o biodigestor debe estar desprovisto y liber de sustancias inhibitoras del proceso como metales pesados y sulfuros.

4.5.1. Temperatura: La biodigestión anaerobia puede ocurrir en un amplio rango de temperaturas que van desde los 5°C hasta los 60°C. Las bacterias metanogénicas son más sensibles a la temperatura que los demás microorganismos de un biodigestor, debido a que su velocidad de crecimiento es más lenta. El proceso de digestión anaerobio no se ve afectado si la temperatura aumenta en unos pocos grados; sin embargo, un decrecimiento podría retardar la producción de metano, sin perjudicar la actividad de las bacterias acidificantes, lo cual permite una excesiva acumulación de ácidos y una posible falla en el biodigestor. En este sentido, se debe procurar mantener un microclima cálido en el biodigestor para conservar una tasa de producción de biogás alta (Bidlingmaie, 2006; Osorio, Ciro y González, 2007). El rango óptimo de temperatura para bacterias mesofilicas es de 30 a 38 °C y para las bacterias termofilicas es de 49 a 57°C, la mayoría de los procesos anaeróbicos operan en el rango mesofilo (Crites y Tchobanoclos). En el proceso de digestión anaerobia son las bacterias metanogénicas las que producen, en la parte final del proceso, metano. Existen diferentes poblaciones de bacterias metanogénicas y cada una de ellas requiere una temperatura para trabajar de forma óptima. Existen poblaciones metanogénicas que tienen su mayor rendimiento a 70°C de temperatura, pero para ello habría que calentar el lodo interior del biodigestor. Hay otras poblaciones que tienen su rango óptimo de trabajo de 30 a 35 °C. Estas temperaturas se pueden alcanzar en zonas tropicales de manera natural. La actividad de las bacterias desciende si estamos por encima o por debajo del rango de temperaturas óptimas de trabajo. A temperaturas inferiores a 5°C se puede decir que las bacterias quedan ‘dormidas’ y ya no producen biogás.

4.5.2. pH: El pH debe oscilar entre 6.5 a 7.5 y debe haber suficiente alcalinidad presente para asegurar que el pH no descenderá pro debajo de los 6.2, ya que las bacterias metanogenicas no pueden actuar debajo de este punto y tienen un rango óptimo de ph 6.8 a 7.4.

4.5.3. Tiempo de Retención: El tiempo de retención es la duración del proceso de digestión anaerobia, es el tiempo que requieren las bacterias para digerir el lodo y producir biogás. Este tiempo, por tanto, dependerá de la temperatura de la región donde se vaya a instalar el biodigestor. Así, a menores temperaturas se requiere un mayor tiempo de retención que será necesario para que las bacterias que tendrán menor actividad, tengan tiempo de digerir el lodo y de producir biogás.

Cuadro 4: Tiempo de Retención Según Temperatura

Región Característica	Temperatura °C	Tiempo de Retención
Trópico	30	20
Valle	20	30
Altiplano	10	60

Fuente: J. Marti Herrero, 2008, Biodigestores Familiares, Guía de Diseño y Manual de Instalación GTZ-Energía, Bolivia.

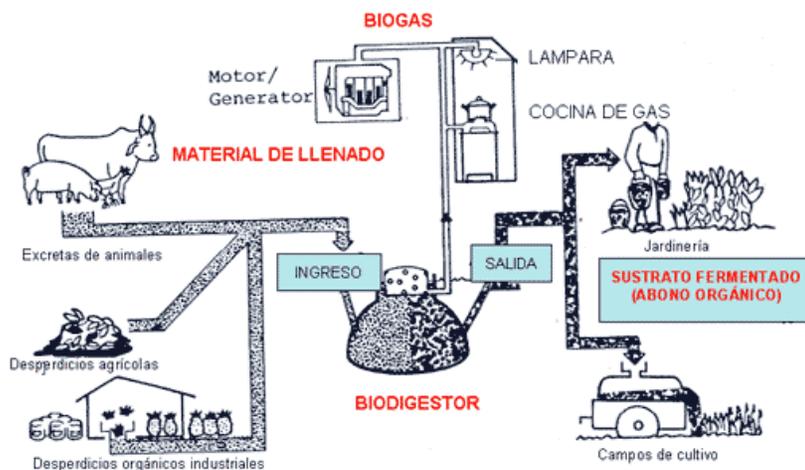
4.6. VENTAJAS DEL USO DE BIODIGESTORES

En las grandes urbes, los residuos sólidos orgánicos son un gran problema ya que éstos son dispuestos en rellenos sanitarios los cuáles rompen el ciclo natural de descomposición porque contaminan las fuentes de agua subterránea debido al lavado del suelo por la filtración de agua (lixiviación) y también porque favorece la generación de patógenos.

Los residuos orgánicos al ser introducidos en el biodigestor son descompuestos de modo que el ciclo natural se completa y las basuras orgánicas se convierten en fertilizante y biogás el cual evita que el gas metano esté expuesto ya que es considerado uno de los principales componentes del efecto invernadero.

La utilización de biogás puede sustituir a la electricidad, al gas propano y al diesel como fuente energética en la producción de electricidad, calor o refrigeración. En el sector rural el biogás puede ser utilizado como combustible en motores de generación eléctrica para autoconsumo de la finca o para vender a otras. Puede también usarse como combustible para hornos de aire forzado, calentadores y refrigeradores de adsorción. La conversión de aparatos al funcionamiento con gas es sencilla. La producción de biogás es permanente, aunque no siempre constante debido a fenómenos climáticos.

Figura 4.2: Productos de los Biodigestores



Anexo 5 : Valores de Generación de Biogás por tipo de material en el proceso de digestión anaeróbica.

CAPITULO 5: COMPOSTAJE DOMICILIARIO O AUTOCOMPOSTAJE

Con el autocompostaje devolvemos al suelo los nutrientes y cerramos el ciclo de la materia orgánica. De igual manera simplificamos el ciclo, ya que se produce en el mismo lugar donde se generan los residuos orgánicos. Gracias a esta práctica disminuirémos los problemas asociados a la disposición de estos residuos en los vertederos y rellenos sanitarios (lixiviados y gases de efecto invernadero).

5.1. Que es el Autocompostaje

El autocompostaje es el aprovechamiento de los residuos orgánicos en las propias casas de los residuos generados diariamente en la cocina y el jardín, para producir un abono natural que podemos aplicar en nuestras plantas, en el jardín o en el huerto.

De hecho, el autocompostaje se viene realizando desde hace mucho tiempo en el campo, donde los agricultores producen su propio compost mezclando el estiércol del ganado y los restos de la cosecha. De esta manera obtienen un fertilizante orgánico para aplicar en los campos.

Con el autocompostaje devolvemos al suelo los nutrientes y cerramos el ciclo de la materia orgánica. De igual manera simplificamos el ciclo, ya que se produce en el mismo lugar donde se generan los residuos orgánicos.

Figura 5.1: Proceso de Autocompostaje



5.2. Por que hacer Autocompostaje

El autocompostaje tiene grandes beneficios tanto para el ciudadano que se decide a hacerlo en su parcela como, a nivel municipal, para un municipio que quiere hacer una gestión ecológica de sus residuos:

- El auto compostaje reduce de una forma significativa la cantidad de residuos que van a parar a vertederos.
- El compost generado mejora la estructura de la tierra, haciendo más porosos los suelos, mejorando su ventilación y su capacidad de retener agua.
- Con el compost aumentamos la cantidad de materia orgánica del suelo y facilitamos la asimilación de nutrientes para las plantas.
- Con el autocompostaje se consigue un producto de alta calidad, mucho mejor que otros productos comerciales utilizados.
- El autocompostaje, por último, es una potente herramienta de educación ciudadana, consiguiendo cambios de comportamiento y actitud ante el problema de los residuos.

5.3. Quién hace el Autocompostaje

El autocompostaje se puede realizar en el ámbito familiar (compostaje domiciliario) o de forma colectiva (compostaje comunitario), el compostaje domiciliario se realiza en el mismo domicilio donde se generan los restos orgánicos, así se cierra el ciclo de la materia orgánica en el propio hogar, el compostaje comunitario se realiza en espacios libres o en jardines comunitarios de un conjunto de viviendas, en espacios públicos, en escuelas, etc.

5.4. Que Podemos Compostar en los Domicilios

La materia orgánica vegetal que se va a compostar está compuesta principalmente por Carbono y Nitrógeno. El carbono abunda en las partes leñosas de las plantas, como la paja, serrín, ramas etc. Podemos generalizar diciendo que en los materiales secos encontramos la mayor cantidad de Carbono, el Nitrógeno predomina en las partes verdes de las plantas, restos de comida, excrementos de animales, césped verde etc. es decir, en los restos que contienen más humedad. Para obtener un buen compost lo mejor es utilizar una gran variedad de materiales.

5.4.1. Residuos Orgánicos que son Apropriados para el Autocompostaje: En general todos los residuos orgánicos entraran en el proceso de biodegradación, en algunos de estos residuos el proceso se dará con mayor rapidez.

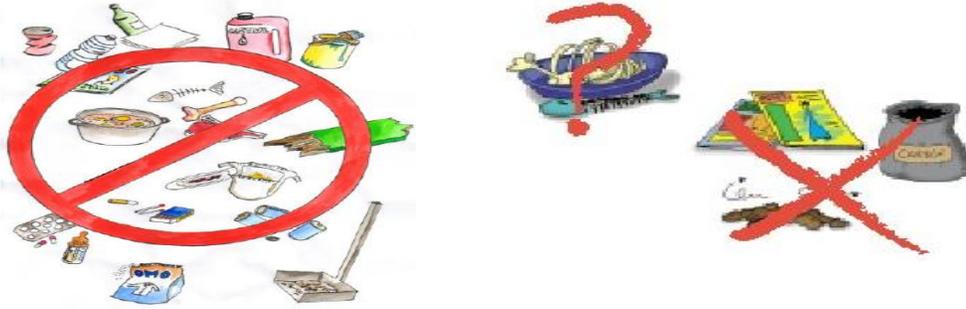
- Residuos de Rápida Descomposición: Hojas frescas; Restos de césped; Estiércol de animales de corral (cabras, gallinas); malezas tiernas.
- Residuos con Descomposición Lenta: Pedazos de frutas y verduras; Bolsas de te y pozos de café; Paja y heno viejo; Restos de plantas; Estiércoles pajos (caballos, burros y vacas); Flores viejas y plantas de macetas.
- Residuos con Descomposición Muy Lenta: Hojas de otoño; Ramas podadas; Serrín y virutas de madera no tratada; Cáscaras de huevo; Cáscaras de frutos secos; Lanas e hilos naturales; Pelos y plumas
- Evitar los Siguietes Residuos: Carne y pescado; Productos derivados de la leche; Productos cocidos; Productos con exceso de aceites y grasas.

Figura 5.1: Residuos Adecuados para Compostaje Domiciliario o Autocompostaje



5.4.2. Residuos Orgánicos que no son Apropriados para el Autocompostaje: No es conveniente utilizar Ceniza de carbón; Heces de perros y gatos; Pañales desechables; Revistas ilustradas; Restos de aspiradora; Paja y heno viejo; Madera tratada; Filtros de cigarrillos; Tejidos sintéticos; Detergentes; Pinturas..

Figura 5.2: Residuos que no son Apropriados para el Autocompostaje



5.4.3. Porque no son Apropriados estos Residuos para Compostar

Cuadro 5: Residuos no Apropriados para el Autocompostaje y sus Efectos Negativos

NO INCLUIR	OBSERVACIONES
Carne, huesos, pescado	Emiten olores y atraen roedores y vectores, por lo que se debe compostar con moderación en pequeñas cantidades.
Cenizas de carbón, aserrín de madera tratada	Contienen químicos
Comida cocida y granos	Contienen aceites y grasas que atraerán roedores y vectores
Excrementos de animales carnívoros	Pueden contener organismos peligrosos para la salud
Aceites y grasas	Se pudren y huelen mal cuando se descomponen
Hierba mala y malezas persistentes	Malezas y plantas que tienen raíces persistentes o semillas
Material inorgánico	Vidrios, latas, metales, plásticos
Plantas enfermas	El compost resultante podría estar infectado
Productos lácteos	Queso, mayonesa, leche, yogur, crema, etc.

5.5. Herramientas Necesarias para Hacer Autocompostaje

Los materiales leñosos deberán ser troceados en piezas no mayores de 5 cm. Para ello son precisos unas tijeras podadoras, un hacha o incluso una trituradora vegetal, También sería conveniente disponer de una barreta o trinche para mover y airear los materiales e incluso de una pala para recoger el compost ya hecho, Es necesario disponer de una regadera para humedecer los residuos cuando así lo requieran, así mismo de disponer un tamiz para separar la parte perfectamente compostada, de los fragmentos leñosos todavía presentes.

Figura 5.3: Herramientas para el Atoocompostaje



5.6. Compostaje en Compostador

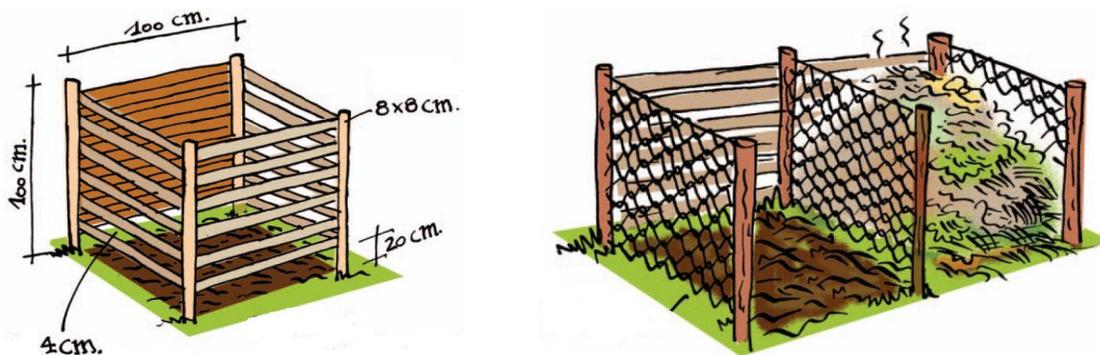
Para hacer compost basta con apilar los residuos y taparlos con un plástico para evitar pérdidas de temperatura y de humedad. De forma de controlar mejor los parámetros del proceso de compostaje es útil utilizar un compostador que ubicaremos en el jardín, en el huerto o en el patio. Este sistema tiene algunas ventajas que permiten controlar mejor el proceso:

- Se mantiene una temperatura más uniforme y el proceso se puede desarrollar más rápidamente.
- Se reducen las pérdidas de humedad.
- Los animales (roedores, gatos, etc.) no pueden acceder al material que se está compostando.

La capacidad del compostador dependerá básicamente de nuestra producción de residuos biodegradables y de la extensión de nuestro jardín o huerto. Entre otras cosas, deberemos valorar a la hora de elegir el tamaño del compostador la cantidad de plantas en el jardín o huerto, las podas anuales que hagamos, el número de árboles y arbustos de hoja caduca, la superficie de césped plantada, el número de habitantes en el hogar, el número de comidas diarias realizadas en casa.

El compostador debe ser colocado sobre la tierra, y no sobre cemento, asfalto o pavimento, para permitir a los descomponedores presentes en el suelo la colonización del recipiente.

Figura 5.4: Compostador Domiciliario de Madera y Malla de Gallinero



5.6.1. Requisitos del Compostador

El compostador deberá cumplir una serie de requisitos, como son:

- Deberá contar con aberturas suficientes que sirvan de ventilación para permitir la entrada de oxígeno.
- Presentar cubiertas laterales para mantener las condiciones de temperatura.
- Deberá contar con cubierta superior, para evitar ingreso de agua de lluvia.
- Facilidad de apertura y manejo.
- Sin base, para permitir la entrada de aire y acceso de los organismos que habitan en el suelo y se encargan de la descomposición de los materiales.

5.6.2. Parámetros para Fabricar de Manera Casera el Compostador

Teniendo en cuenta los requisitos anteriores, se puede fabricar de manera casera un compostador. Ya sea este de madera, alambre, ladrillos u otro material, a modo de ejemplos se presentan los siguientes compostadores:

Figura 5.5: Modelos de Composteras Domiciliarias

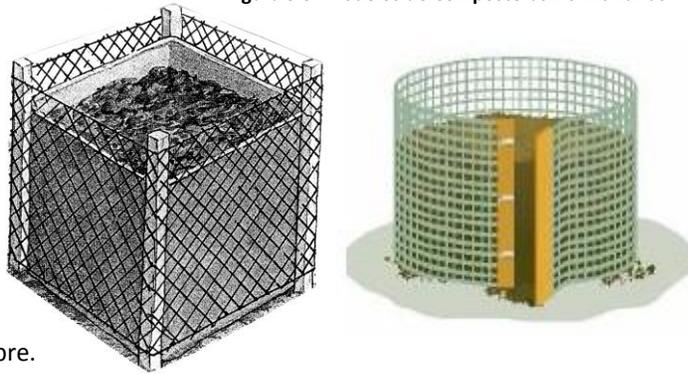
5.6.2.1. Compostera de Malla de Gallinero

Materiales:

- Malla Gallinera
- 4 varillas de sujeción
- Lona (recubrimiento)
- Alambre (para atar)

Construcción:

- Se clavan las varillas.
- Se rodean de la malla.
- Se ata la malla a las varillas con el alambre.
- Se recubren los laterales y la parte superior con plástico o algún tipo de lona.



5.6.2.2. Compostera de Palés de Madera:

Materiales:

- 4 ó 5 palés.
- Clavos.

Construcción:

- Apoyamos una de las caras contra una superficie plana para facilitar el montaje.
- Se van clavando los palés.
- Se tapa con una lona, o plásticos impermeable.

5.7. Qué Debemos Hacer para Obtener un Compost de Calidad

5.7.1. Encontrar un Espacio Adecuado: El compostador debe estar en contacto directo con el suelo, en un lugar protegido del sol y la lluvia.

5.7.2. Preparar el Lecho Base: Empezar colocando un lecho de material leñoso grueso para facilitar la circulación del aire.

5.7.3. Mezclar Siempre Restos Húmedos y Restos Secos: Los restos húmedos (fruta, verdura, césped, herbáceas, etc.) son materiales húmedos con un alto contenidos de nitrógeno. Los restos secos (hojas secas, paja, ramas trituradas, etc.) absorben el exceso de humedad y aportan mayor proporción de carbono.

5.7.4. Incorporar Regularmente Residuos: Residuos secos y húmedos mezclados en proporciones de 10 a 20 cm. Siempre el aporte de materiales húmedos ha de ser el doble que de materiales secos.

Es conveniente remover en cada aportación el material nuevo con el aporte anterior, para evitar la proliferación de moscas en la parte de arriba, especialmente en verano.

Figura 5.6: Etapas del Auto Compostaje



5.7.5. Opcional para Acelerar el Proceso: Si es posible, añadir a la masa de cuando en cuando un acelerador natural, esencialmente compost maduro, tierra de huerto o estiércol.

5.7.6. Voltear a Menudo: El volteo aporta el oxígeno necesario para la supervivencia de los microorganismos aeróbicos, la homogeneización del material y la distribución de la humedad. Se puede realizar con una horqueta (trinche), un aireador o cualquier herramienta que nos sea cómoda. Conviene voltear una vez por semana para evitar la compactación de la mezcla. También es necesario remover siempre que se deposite una cantidad significativa de restos orgánicos.

5.7.7. Controlar la Humedad y Regar en caso Necesario: Añada agua cuando sea necesario. Si la mezcla está muy seca no existe actividad microbiana, si está muy húmeda creará condiciones anaerobias generándose olores desagradables.

5.7.8. Recoger el Compost cuando este Maduro: El primer compost maduro se obtiene al cabo de 6 a 9 meses; a partir del 2º o 3º año se pueden realizar 3 “cosechas” anuales.

5.7.9. Cuándo está Listo el Compost

En el compost maduro no se pueden reconocer los restos orgánicos originales; el compost es de color oscuro, tiene olor de tierra húmeda de bosque, una textura esponjosa y no mancha las manos.

Prueba de la bolsa: Coloque aprox. 1 kilo de compost en una bolsa transparente, ciérrela y colóquela en un lugar alejado del sol directo, a temperatura ambiente. Si después de 24 horas la bolsa ha "transpirado", es porque aún no se encuentra madura.

Figura 5.7: Prueba de la Bolsa (Madures del Compost)



5.8 Como Podemos Utilizar el Compost Final

El compost puede ser utilizado como abono orgánico en plantas, huertos y jardines, antes de usar el compost es necesario tamizarlo para remover los materiales inorgánicos.

Figura 5.8: Cribado y Cosecha del Compost



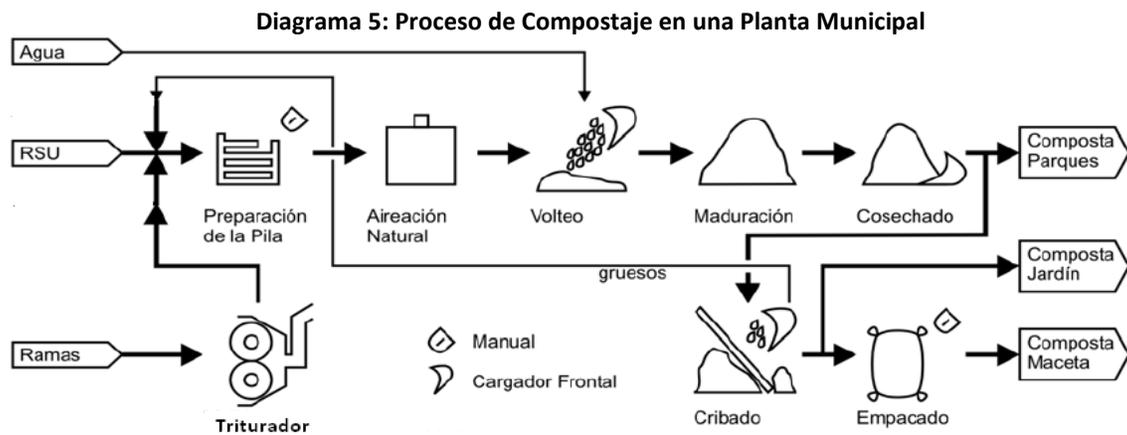
Cuadro 6: Usos para el Compost

Destino o Uso	Cantidad de Compost	Observaciones
Césped	Nueva Plantación: 2-3 kg por m2 de césped. Mantenimiento: 0.5-1 kg por m2 de césped	El compost debe estar tamizado, tiene que aplicarse en primavera o principios de verano
Árboles Frutales	Nueva Plantación: Mezcla pro iguales de compost y tierra. Como fertilizante 2 cm en la base del árbol	Debe aplicarse en cuanto se ha terminado la recolección de la fruta
Huerto	1-3 kg por m2 dependiendo de la hortaliza	Debe aplicarse antes de la plantación
Jardines	1-2 kg por m2	
Árboles y Arbustos	Capa de 2-3 cm de compost en la base del árbol	Debe mezclarse superficialmente y aplicar en otoño.
Macetas	Capa de 2 cm de compost	Aplicar en primavera

5.9. Solución a Problemas Frecuentes

SINTOMA	¿QUÉ SUCEDE?	¿QUÉ HACER?
La mezcla está fría y seca	<ul style="list-style-type: none"> • Hay poco material compostando. • Hay exceso de restos secos. • Volteamos muy a menudo 	<ul style="list-style-type: none"> • Añadir más residuos orgánicos • Añadir restos verdes o regar • Reducir la frecuencia de volteo
La mezcla está muy húmeda	<ul style="list-style-type: none"> • Hay exceso de restos húmedos. • La mezcla se ha mojado por la lluvia o se ha regado demasiado 	<ul style="list-style-type: none"> • Añadir restos secos y mezclar
La mezcla desprende malos olores	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de oxígeno. • Exceso de humedad. • Exceso de residuos húmedos (nitrógeno) 	<ul style="list-style-type: none"> • Añadir restos secos y remover
Presencia de moscas pequeñas de la fruta	<ul style="list-style-type: none"> • La mezcla no está bien hecha y existen restos frescos en la superficie. • Hay exceso de restos húmedos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Voltear la mezcla para que los restos frescos no queden en la superficie

CAPITULO 6: PLANTA MUNICIPAL DE COMPOSTAJE



6.1. Consideraciones Preliminares: Una Planta Municipal de Compostaje requiere de una inversión importante de recursos, por lo cual debe ser analizada con mucho cuidado. Si bien representa una oportunidad para mejorar el medio ambiente, con el aprovechamiento de los residuos orgánicos y por consiguiente extender la vida útil del relleno sanitario del Municipio por la reducción de residuos sólidos que serán depositados, es importante considerar los costo de construcción, operación y mantenimiento de la misma, puesto que se debe garantizar su funcionamiento en el mediano y largo plazo.

6.2. Factibilidad de una Planta de Compostaje Municipal: La factibilidad de construir una planta de compostaje municipal dependerá de encontrar soluciones adecuadas a los siguientes elementos críticos:

- Disponibilidad de Materia Prima.
- Opciones para el uso del compost.
- Financiamiento del proyecto.
- Capacidad institucional.

6.2.1. Disponibilidad de Materia Prima: En la etapa de planificación de una Planta de Compostaje Municipal es importante identificar las fuentes generadoras de residuos sólidos orgánicos y asegurar los volúmenes mínimos de materia prima que serán recolectados y transportados hasta la planta de compostaje municipal.

6.2.2. Opciones para el Uso de Compost: La demanda de compost por lo general no esta desarrollada en los municipios, por consiguiente las ventajas ambientales que se obtienen por la elaboración del compost tienen que ser la base de la política Municipal de aprovechamiento de los residuos orgánicos (reducir la cantidad de residuos para su transporte y disposición final, disminuir generación de lixiviados y biogás en el sitio de disposición final con lo cual no se incurre en el costo de su tratamiento y otros), así mismo el uso que puede hacer el municipio en viveros, jardines y áreas de recuperación de suelo municipal.

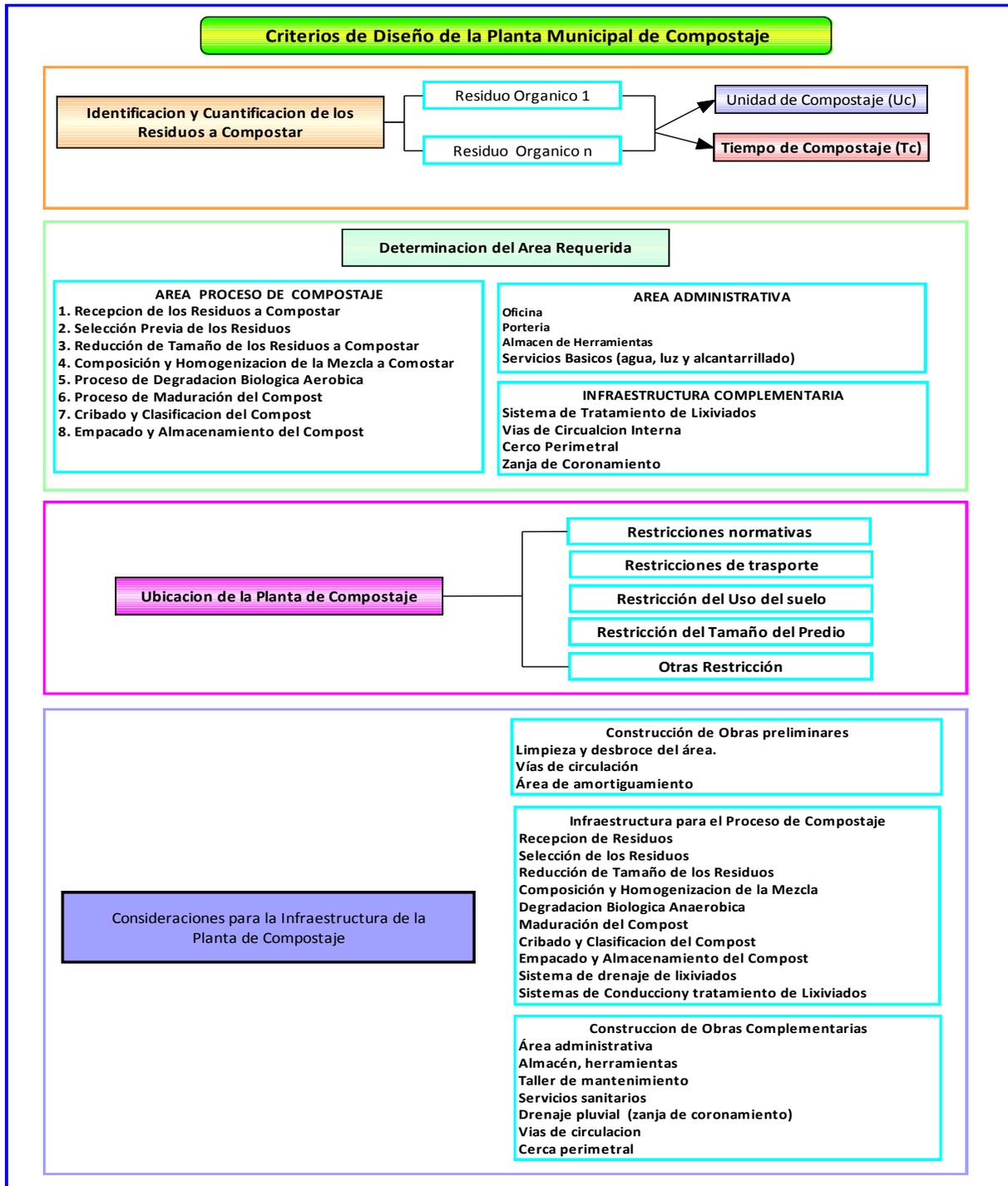
6.2.3. Financiamiento del proyecto: El costo de inversión en la Planta de Compostaje, costos de arranque y operación deberán ser considerados. Antes de decidir construir una planta de compostaje debe asegurarse que se dispone de las fuentes de financiamiento necesarias.

6.2.4. Capacidad Institucional: Una Planta Municipal de Compostaje no es una obra que se construya y después continúe funcionando por sí sola. Es una instalación de tipo industrial que requiere de una administración permanente y adecuada. Si la administración municipal tiene la intención de construir una planta de esta naturaleza, deberá verificar que cuenta con la continuidad institucional necesaria. Esto es, que aun a pesar del cambio de administración municipal, el programa continúe.

6.3. Criterios para el Diseño de la Planta Municipal de Compostaje

La presente guía proporcionara criterios para el diseño de la planta municipal de compostaje en base a la disponibilidad de residuos sólidos orgánicos a compostar, a los procesos requeridos para la producción de compost y la infraestructura complementaria para el funcionamiento de la planta de compostaje.

Diagrama 6: Criterios de Diseño de una Planta Municipal de Compostaje



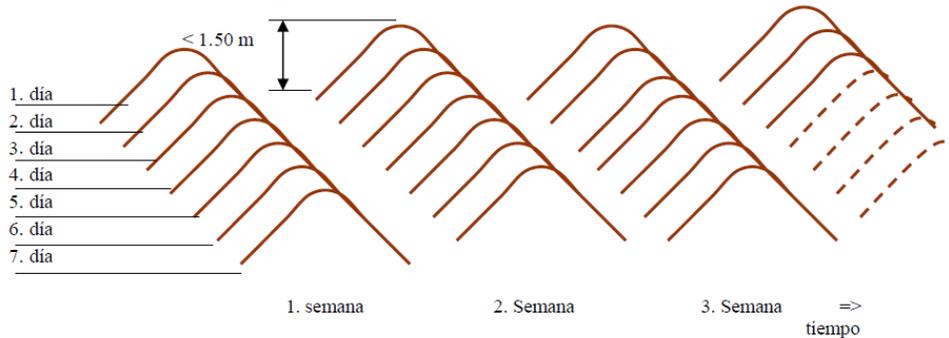
Fuente: Elaboración propia en base a bibliografía

6.3.1. Identificación y Cuantificación de los Residuos a Compostar

Es necesario realizar la identificación y caracterización de las principales fuentes de generación de residuos sólidos orgánicos dentro del municipio, de forma de poder realizar la cuantificación de los volúmenes que dispondremos para compostar, así como la frecuencia de ingreso de los mismos, estos datos nos permitirá calcular la Unidad de Compostaje (Uc) y el Tiempo de Compostaje (Tc) que son la base para el diseño de la planta municipal.

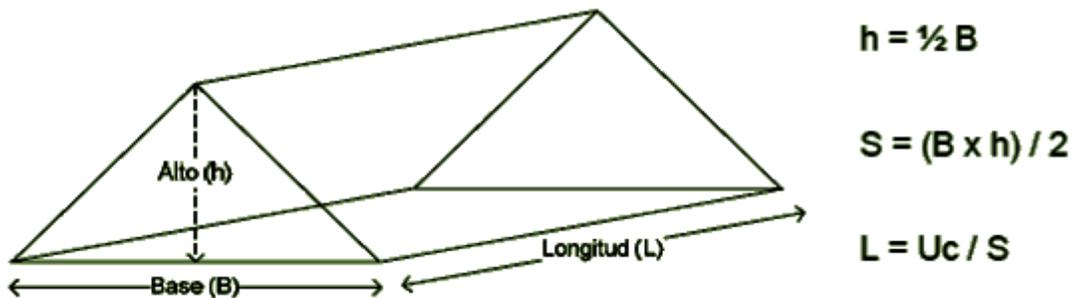
Unidad de Compostaje (Uc): La Unidad de Compostaje, es la masa de residuos que nos permitirá la conformación de un montón, pila o hilera y que ingresará al sistema como una unidad independiente del resto. La Unidad de Compostaje es la cantidad de residuos sólidos orgánicos que ingresan diariamente al proceso de compostaje.

Figura 6.1: Conformación de Montones, Pilas o Hileras



Diseño del Montón, pila o hilera para la Unidad de Compostaje (Uc): No es aconsejable la conformación de montones de pequeños volúmenes, ya que las fluctuaciones de temperatura en estos pequeños volúmenes son muy bruscas. La base deberá estar entre 2 a 3 metros, y la altura la mitad de la base, lo que nos permitirá obtener una buena relación Superficie/Volumen.

Figura 6.2: Dimensiones de la Unidad de Compostaje (Uc)



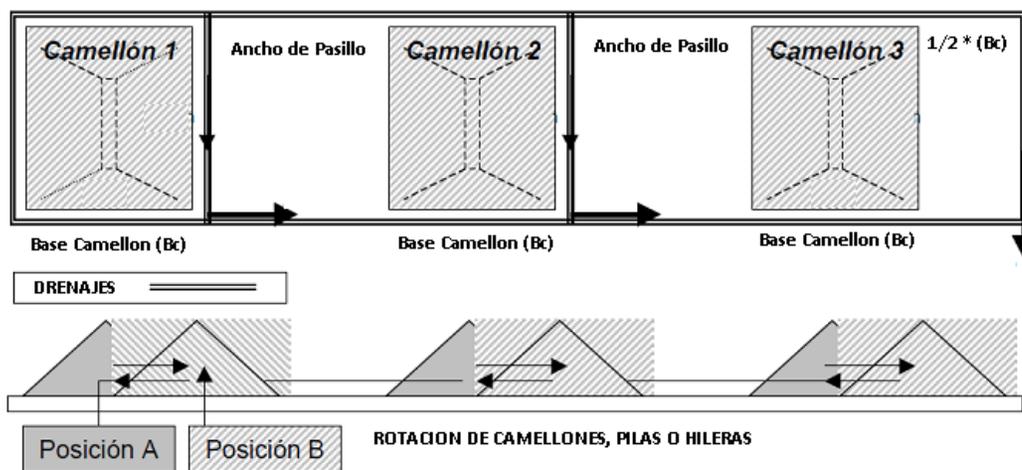
El Tiempo de Compostaje (Tc): Se entiende por Tiempo de Compostaje (Tc), el transcurrido desde la conformación de un montón, pila o hilera hasta la obtención de Compost estable. El Tc, varía según las características de los residuos a compostar, las condiciones climatológicas (temperatura, ambiente, % de humedad, etc.); el desarrollo de los microbiológico y las características del producto final que se desea obtener. Con frecuencia este tiempo puede estar entre los 90 a 180 días para los residuos orgánicos municipales. (Pero este tiempo de compostaje tiene que ser determinado para cada municipio mediante planta piloto)

Área de Compostaje: El área donde se lleva a cabo el proceso mismo de compostaje se denomina corrientemente canchas de compostaje o patios.

La dimensión de la Cancha o patio de compostaje estará determinada por la Unidad de Compostaje (Uc) y el Tiempo de Compostaje (Tc). Debemos considerar además el espacio necesario entre montón a los que llamaremos pasillos. Este espacio es necesario para manejar los montones. Las dimensiones del mismo estarán sujetas a la forma en que se realicen las operaciones de remoción y aireación. Si esta remoción es manual, el ancho del pasillo puede situarse en el entorno de 2 a 2,5 m. Si la operación es mecanizada (pala cargadora), los pasillos tendrán que tener el ancho suficiente para que la máquina pueda movilizarse y realizar la remoción de los montones siendo el mas adecuado un ancho de 4 m.

El número de pasillos se calcula como el (Nº de montones, pilas o hileras - 1), + (el área correspondiente a la mitad del área de base de un montón). Esta última área es la que permite maniobrar con amplitud.

Figura 6.3: Dimensiones de los montones, pilas o hileras para compostaje



6.3.2. Determinación del Área requerida para la Planta de Compostaje Municipal

Una planta de compostaje municipal deberá contar con infraestructura para el proceso de compostaje, infraestructura para el área administrativa e infraestructura complementaria.

a) Requerimiento de área para el Proceso de Compostaje:

Los procesos en la elaboración del compost son los elementos que se diseñan independientemente, dentro de una planta de compostaje municipal se contara con los siguientes procesos: Recepción y Selección de los residuos a compostar; Reducción de tamaño y homogenización de los residuos; Composición de la mezcla de residuos a compostar; Degradación aeróbica de los residuos; Maduración del Compost; Cribado y clasificación del compost, Empacado y Almacenamiento. El transporte de los residuos es un proceso transversal.

1. Área para la Recepción y Selección Previa de los Residuos a Compostar: El compostaje puede ser considerado como un proceso Industrial que para un buen funcionamiento debe contar con materia prima de calidad en este caso la materia prima son los residuos orgánicos, por lo que se debe tener residuos orgánicos libres de plásticos, metales, textiles, residuos peligrosos, bio infecciosos y otros, por consiguiente la selección de materia primara es muy importante para establecer la calidad final del producto (compost).

Se debe contar con un área destinada a la recepción y selección de los residuos sólidos orgánicos, esta área mínimamente deberá estar dimensionada para la recepción de los residuos sólidos orgánicos correspondientes a la Unidad de Compostaje o superior.

$$\text{Volumen} = U_c (\text{tn/día}) \times \delta (\text{m}^3/\text{tn}) = (\text{m}^3/\text{día})$$

Los residuos en el área de selección deberán ser esparcidos y realizar una búsqueda de elementos contaminantes (pilas, plásticos, vidrios, metales y otros) para lo cual se debe expandir los residuos a una altura que puede ir desde los 10 cm a los 30 cm dependiendo del volumen de residuos a compostar.

$$\text{Área} = \text{Volumen}/\text{altura} = (\text{m}^2)$$

2. Área para la Reducción de Tamaño y Homogenización de los Residuos: Esta actividad dependerá del tipo de residuo que será utilizado en el proceso de compostaje, si los residuos son de lodos de plantas de tratamiento, restos de mataderos no necesitará la reducción de tamaño pero si su homogenización y probablemente realizar la adición de material estructurante para evitar la compactación y la degradación anaeróbica.

En caso de tener residuos de mercados, jardinería y podas es necesario realizar una reducción de tamaño de forma de facilitar la degradación de la materia orgánica, la reducción de tamaño adecuado es de 20 mm. Para conservar espacios internos en los residuos para la aireación, no es recomendable que el tamaño sea menor a 3 mm, en tal situación existe la compactación de los residuos y por lo que se produce una degradación anaeróbica y putrefacción de los residuos. En esta área se deberá contar con el equipo para la trituración o chipeado de los residuos

$$\text{Área} = \text{Área de Recepción y Selección de Residuos para Compostar} (\text{m}^2)$$

3. Área para la Composición de la Mezcla de Material a Compostar: Para tener un adecuado proceso de compostaje como ya dijimos la relación carbono-nitrógeno (20/1 a 30/1) y el grado de humedad (45 a 55%), tendrán una influencia importante, por lo que se deberán realizar mezclas apropiadas de los residuos sólidos orgánicos a compostar, es decir, realizar las mezclas adecuadas de residuos orgánicos muy húmedos con materiales más secos, residuos con alto contenido de carbono con residuos con alto contenido de nitrógeno o viceversa, esta actividad puede ser desarrollado de forma conjunta en el área de reducción de tamaño, por lo que no requiere de infraestructura adicional.

4. Área para la degradación aeróbica de los Residuos: Los diversos organismos presentes en los residuos inician la etapa de degradación de la materia orgánica, para lo cual se debe controlar los parámetros descritos en el punto 2.1.5.1 de la presente guía.

Área Total para los Montones o pilas de residuos en proceso de degradación aeróbica.-

R Residuos al día (Ton)	V Volumen día (m3) $V = (R \times \delta)$	VT Volumen Total (m3) $VT = V * T_c$	B Base $B = (2,5\text{m a } 3\text{m})$	h Altura $h = (1,2\text{m a } 1,5\text{m})$	L Longitud Hilera o Pila $L = (VT / (h * B))$ (m)	AT Area Total $AT = (L * B)$ (m2)	LI Longitud Ideal Hilera $L = 50\text{ m}$	N Numero de Hileras o Pilas $N = (L / LI)$

Área interna de pilas y movimiento de maquinaria

Área total del proceso de Compostaje

El Espacios Internos El = (N-1)	Aq Área de circulación maquinaria de volteo Aq= (LI*4m) (m ²)	AI Área de espacio Interno AI = (LI*B)/2 (m ²)	ATI Área Total Interna ATI=Aq+(AI* El) (m ²)	AC Área de Compostaje AC = AT + ATI = (m ²)	ACT Area de Compostaje Total ACT= AC x 1.1 10% Para areas complementarias

Donde:

R=Residuos en Toneladas por día	LI = Longitud Ideal del Montón o Hilera
δ = Densidad de los residuos (0.3 a 0.5) tn/m ³	N = Número de montones o hileras
V=Volumen de residuos al día	El = Espacio entre montones para realizar el volteo de los residuos orgánicos
Tc = Tiempo de Compostaje	Aq = Área de circulación para maquinaria
VT = Volumen total (150 días de proceso de compostaje)	AI = Área de espacio interno de montones
h = Altura de la masa de residuos (1.2 m a 1.5 m)	ATI = Área total interna (inter montones)
B = Base de los Montones (2m a 3m)	AC = Área de compostaje
L = Longitud del Camellon o Hilera	ACT = Área de compostaje total.
AT = Área total para Residuos en Proceso de Compostaje	

5. Área para el Proceso de Maduración del Compost: Después de la degradación, la actividad biológica y la temperatura tienden naturalmente a disminuir. Los materiales residuales de la degradación se convierten lentamente en compost, en esta etapa se disminuye la frecuencia de volteo y la intensidad de la aireación por lo que se puede pasar a una playa de secado y maduración.

La playa de secado y maduración no se refleja en una Planta de Compostaje por pilas, puesto que los residuos orgánicos que se encuentran en el proceso de compostaje únicamente serán retirados de la hilera al finalizar su proceso y esto incluye la maduración del compost.

En el caso de que si se traslade a una playa de secado y maduración el volumen de los residuos habrá disminuido considerablemente por la pérdida de humedad y el proceso digestivo de los microorganismos, en tal situación se puede considerar que únicamente el 50% de volumen inicial pasara a la etapa de maduración.

Volumen = $[Uc (m^3/día) \times Tc (días)]/2 = (m^3)$; en tal situación se deberá prever un área para este volumen de compost.

6. Área de Cribado y Clasificación del Compost: Esta operación separa el compost en fracciones: la más fina de composta lista, la mediana de biofiltro para las hieras y la gruesa como Inoculó para la actividad de composición de los residuos orgánicos. El tamaño de la malla depende del uso final. Una medida común es de 10 mm para los finos y 20 mm para los medios.

El área requerida para el cribado no está definida por parámetros específicos, pero se podría tomar el volumen de la Unidad de Compostaje (Uc) con una altura (ha) de 1.2 a 1.5 m que sería lo adecuado para realizar el cribado del compost, con un intervalo de tiempo de una semana minimamente.

Área para Cribado y Clasificación = $[Uc (m^3/día) / ha (m)] \times 7 \text{ días} \approx m^2$

7. Área de Empacado y Almacenamiento: El área de almacenamiento no está definida por un parámetro específico por lo que dependerá de la logística de venta que se pretenda implementar, lo recomendable es tener un área con un espacio suficiente para un tiempo de almacenamiento de 2 meses de producción (Ta) y una altura de 2 metros de compost.

Área para Empacado y Almacenamientos = $[Uc (m^3/día) \times Ta (días)]/2 (m) \approx m^2$

b) Requerimiento de Área para Infraestructura Administrativa y áreas completarias

La infraestructura administrativa con la que se debe contar en la Planta de Compostaje Municipal es básicamente: Oficina, portería, baños y almacén de herramientas y Servicios Básicos (Agua, Electricidad y Alcantarillado o pozo séptico). El dimensionamiento de esta infraestructura es variable de acuerdo a las necesidades del Municipio y los usos que pueda dar a esta infraestructura.

La infraestructura complementaria requerida en la planta de compostaje municipal esta referida al sistema de tratamiento de los lixiviados, la preparación de vías de circulación al interior de la planta para los vehículos que ingresan la materia prima como para los que recogen el producto final; la preparación de un área de amortiguamiento al contorno de la planta de compostaje y la construcción de un cerco perimetral y zanja de coronamiento si el caso lo requiera.

6.4. Ubicación de la Planta de Compostaje: Uno de los aspectos importantes a considerar en la implementación de un proyecto de compostaje municipal es seleccionar la posible ubicación de la planta. Esta clase de infraestructura puede producir olores, efluentes orgánicos, insectos y roedores que deben ser neutralizados mediante técnicas apropiadas, .Se recomienda prestar atención a las siguientes restricciones para la ubicación del sitio de la planta de compostaje municipal.

6.4.1. Restricciones normativas: En el país no existe una normativa que establezca restricciones para la ubicación de una Planta de Compostaje Municipal, sin embargo por las características del proceso de compostaje sería recomendable tomar las siguientes precauciones (Normas Bolivianas para el manejo de residuos sólidos urbanos):

- El sitio deberá estar alejado de asentamientos poblacionales (500 metros).
- El sitio deberá estar alejado de fuentes de aguas superficiales y subterráneas (500 metros).
- El sitio no tendrá pendientes pronunciadas (> 5%).
- Dirección del viento contraria a las poblaciones.
- No encontrarse en áreas protegidas.
- No encontrarse en lugares con periodos de recurrencia de inundaciones

6.4.2. Restricciones de transporte: El sitio seleccionado deberá estar lo más cerca posible al sitio de disposición final de residuos sólidos del Municipio, para evitar acarreo de materia prima y de materiales de descarte del proceso de compostaje que deben ser transportados al relleno sanitario.

6.4.3. Restricción del Uso del suelo circundante: Para evitar problemas con grupos de la comunidad y vecinos se recomienda ubicar las plantas en suelos con uso agropecuario o industrial. El cambio de uso del suelo sólo debe considerarse como última opción.

6.4.4. Restricción del tamaño del predio: Las plantas de compostaje requieren de una gran cantidad de superficie, por lo que se sugiere considerar los terrenos más grandes disponibles (aproximadamente 0.1 ha para plantas pequeñas, 0.5 ha para plantas medianas y más de 1 ha para plantas grandes).

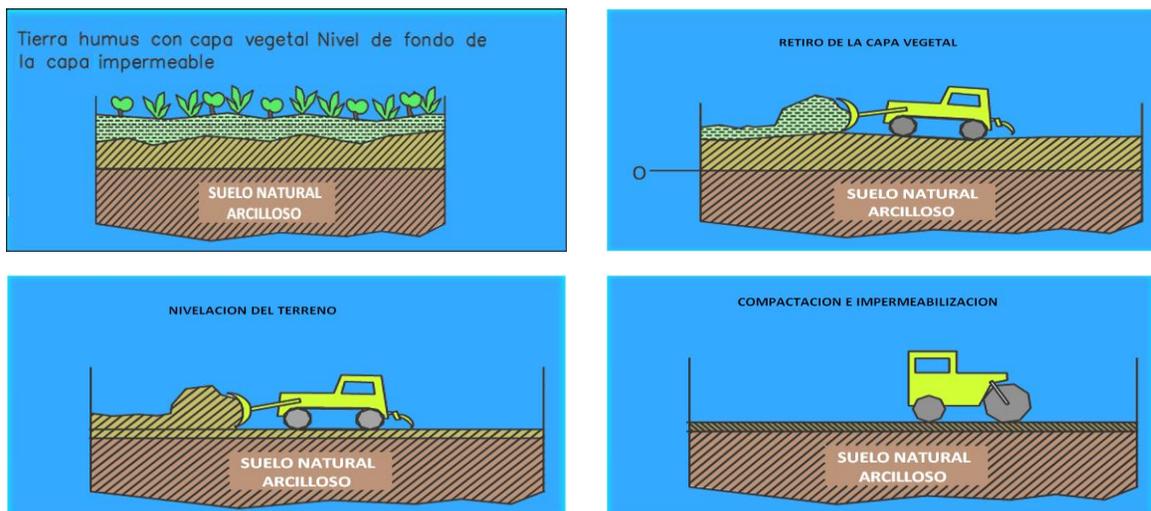
La ubicación de una Planta de Compostaje Municipal es una decisión compleja, en la que intervienen las consideraciones y restricciones anteriormente indicadas y muchos otros factores que dependen de cada Municipio, recomendándose ubicar la Planta de Compostaje Municipal en el mismo predio de Disposición Final de Residuos Sólidos, de forma de realizar un aprovechamiento de los sistemas de captación, conducción y tratamiento de lixiviados que pueda tener este sitio de emplazamiento o en su defecto lo más cerca posible a esta.

6.5. Infraestructura de la Planta de Compostaje

6.5.1. Obras Preliminares

6.5.1.1. Limpieza y Desbroce del Sitio de Emplazamiento de la Planta de Compostaje: En el terreno se debe preparar un área que servirá de base o suelo de soporte, siendo por lo general necesaria la tala de árboles y arbustos, puesto que éstos constituirán un obstáculo para construcción y operación de la Planta de Compostaje. Esta limpieza deberá retirar la capa orgánica del suelo y realizar una nivelación del terreno de forma de tener pendientes menores al 5%, así mismo se adecuara el suelo con material impermeable (arcilloso) o se impermeabilizara todo sitio que este en contacto directo con los residuos sólidos orgánicos.

Figura 6.4: Preparación del Terreno para el Emplazamiento de la Planta Municipal de Compostaje



6.5.1.2. Vías de circulación: Se deberá proveer áreas de circulación para el ingreso de los carros con materia prima y la salida de los vehículos con producto final, con formación de vías para la descarga de los residuos, vías de circulación para el acarreo de los residuos por las playas de compostaje y vías de circulación del personal encargado del manejo de la planta.

6.5.2. Infraestructura Proceso de Compostaje

6.5.2.1. Recepción y Selección de los residuos a compostar: Durante la recepción y la clasificación de los materiales que serán sujetos del proceso de compostaje, los residuos producirán lixiviados que deberán ser recolectados y conducidos a un tratamiento adecuado. El área de recepción de materia prima y selección de los residuos deberá contar con impermeabilización de base, sistema de recolección de lixiviados por medio de rejillas o canales perimetrales. Así mismo esta área deberá contener un espacio para la disposición del material de la fracción que será rechazada (plásticos, baterías, vidrio, metal, textiles etc)

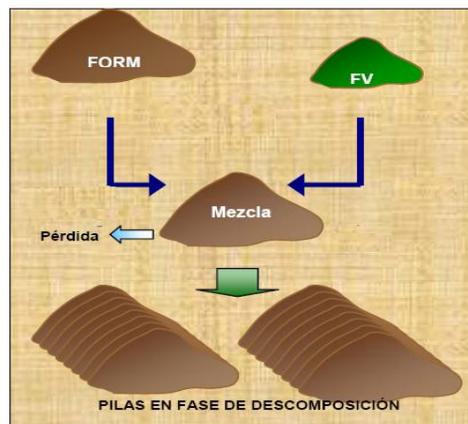
6.5.2.2. Reducción de Tamaño y Homogenización de los Residuos: Durante la reducción de tamaño y la homogenización de los residuos a compostar también se produce lixiviados por lo que esta área tendrá que contar con impermeabilización de base y sistema de recolección de lixiviados.

Figura 6.5: Ejemplificación de las Áreas de Recepción, Selección y Reducción de Tamaño



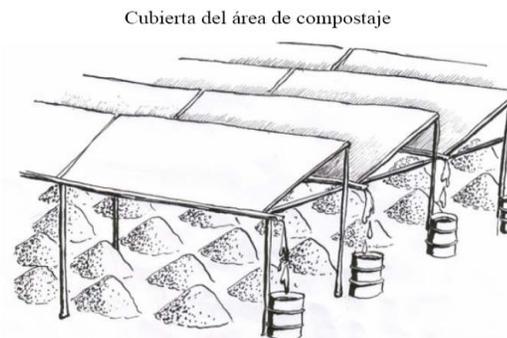
6.5.2.3. Composición de la Mezcla de Residuos a Compostar: Durante la preparación de la mezcla a composta se pierde humedad en los residuos orgánicos, esta pérdida de humedad será por la evapotranspiración y la generación de lixiviado por lo que esta actividad tendrá que ser realizada en un área con base impermeabilizada y con sistema de recolección de lixiviado.

Figura 6.6: Preparación de la Mezcla de residuos para compostar



6.5.2.4. Degradación Aerobia de los Residuos: Una vez preparada la mezcla con la relación Carbono/Nitrógeno y el % de humedad adecuado no se tendría mayores generaciones de lixiviado si se trabaja en playa de compostaje cubierta, en el caso de precipitaciones pluviales y que se trabaje con playas de compostaje abiertas se tendrá que realizar en una playa con base impermeabilizada y con calanes de recolección de lixiviados.

Figura 6.7: Área de degradación de los residuos orgánicos



6.5.2.5. Maduración del Compost: El área de maduración del compost podrá ser en playa abierta, puesto que las precipitaciones pluviales no generan lixiviados por el grado de compactación que se tiene en la materia ya compostada, únicamente se retardara el proceso de secado del compost para su posterior proceso de cribado y clasificado.

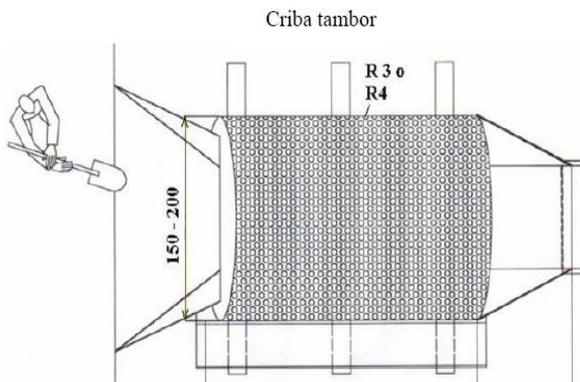
Figura 6.8: Área de maduración del compost



6.5.2.6. Cribado y Clasificación del Compost: Esta operación separa el compost en fracciones: la más fina de composta lista, la mediana de biofiltro para las hieras y la gruesa como Inoculó para la actividad de composición de los residuos orgánicos. El tamaño de la malla depende del uso final. Una medida común es de 10 mm para los finos y 20 mm para los medios.

Cuando se realiza por un método manual utilizando mallas montadas en marcos de acero (rehusó de tambores de camas) o madera, pala y carretilla.

Figura 6.9: Proceso de Cribado del Compost Maduró



6.5.2.7. Empacado y Almacenamiento: De procederse al almacenamiento de compost en montones no se requerirá mayor infraestructura, puesto que en producto estará estabilizado y representara un abono orgánico, si se realiza el empacado del compost se requerirá un cobertizo cubierto para resguardar el producto de las condiciones climáticas.

Figura 6.10: Área de Almacenamiento del Compost

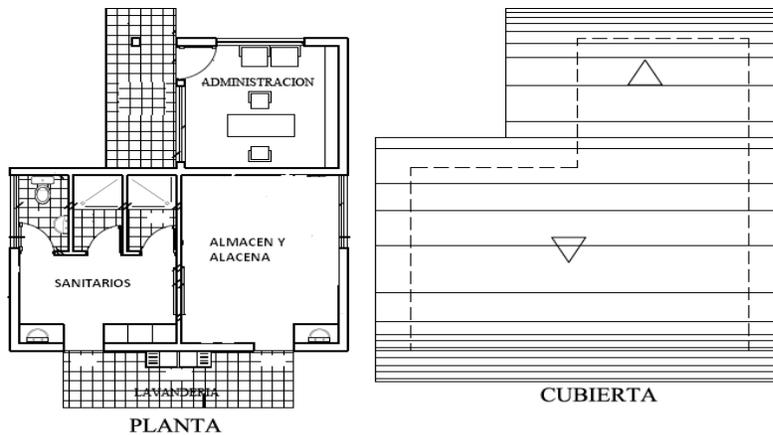


6.5.3. Infraestructura Administrativa y Obras Complementarias

6.5.3.1. Área administrativa.

La infraestructura para la parte administrativa de la planta de compostaje municipal esta constituida por una oficina para personal técnico operativo, una alacena para los equipos de control del proceso (termómetros bayeta, peachimetro, y otros equipos de control), servicios sanitarios y portería.

Figura 6.11: Área administrativa para la Planta de Compostaje



6.5.3.2. Almacén de equipos y herramientas

Se deberá construir un almacén para guardar equipo, herramientas y materiales que sean de uso de la Planta de Compostaje, el tamaño dependerá de los equipos con los que se disponga (chipeadora, trituradora, pala cargadora, vehículos etc), así también las herramientas y materiales (palas, trinchas, carretillas, mangueras, bomba de agua, etc).

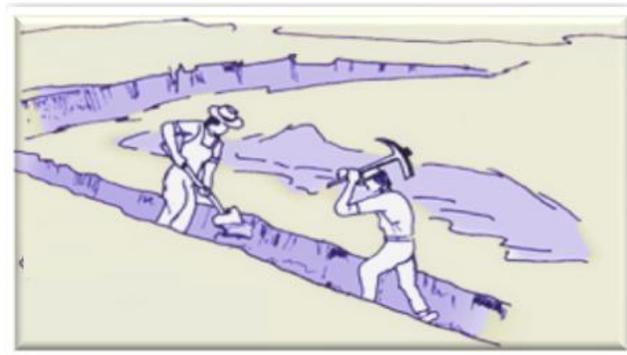
6.5.3.3. Servicios sanitarios

Los servicios sanitarios se instalaran conforme a los requisitos que establezcan las disposiciones aplicables, es recomendable realizar el tratamiento de las aguas residuales domesticas pro separado y no de forma conjunta con los lixiviados.

6.5.3.4. Drenaje pluvial (Zanja de Coronamiento)

Las obras de drenaje se construirán en los límites de la planta de compostaje o específicamente de la playa de compostaje tienen como objeto la captación del escurrimiento de aguas pluviales, los canales deberán revestirse con material apropiado.

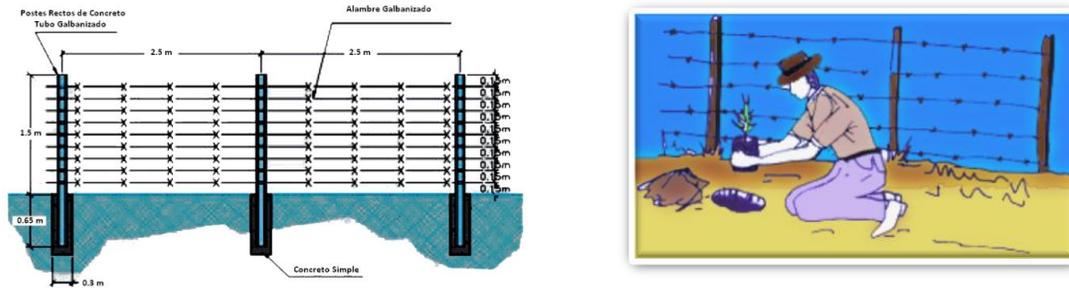
Figura 6.12: Preparación de obras complementarias



6.5.3.5. Cerca perimetral y cerco vivo de arboles

La planta de compostaje municipal deberá estar cercada, como mínimo con alambre de púas de cinco hilos de 1.50 m de alto, a partir del nivel del suelo con postes de madera, hormigón o tubos galvanizados, debidamente empotrados y colocados a cada 2.5 m entre sí, con alambre de púas entreverados cada 0.15 m., para evitar el ingreso de animales que busquen los residuos orgánicos frescos.

Figura 6.13: Cerca Típica y Cortina Arbórea



Es también necesaria la conformación de un cerco vivo de árboles y arbustos como aislamiento visual, pues oculta de los vecinos y transeúntes la vista de los residuos sólidos orgánicos frescos; da buena apariencia estética al contorno del terreno. Se recomienda plantar árboles de rápido crecimiento (pino, eucalipto, bambú, etc.)

6.5.3.6. Área de amortiguamiento

El área de amortiguamiento deberá diseñarse y construirse en un espacio perimetral a la planta de Compostaje, iniciando la reforestación con especies de arbustivas de rápido crecimiento y arborización de forma de atenuar el paisaje y servir de cortina arbórea.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. **Normas Bolivianas NB742-NB760**, IBNORCA, 1996.
2. **Ing. Daniel Sztern, MGA Lic. Miguel A. Pravia**, OPS/HEP/HES/URU/02.99, Manual para la Elaboración de Compost, 1999.
3. **Dr. Ricardo A. Navarro**, Amigos de la Tierra CESTA, El Salvador; Manual para hacer Composta Aeróbica.
4. **Ing. José Muñoz Trochez**, El manejo de los residuos orgánicos y su contribución a la solución de problemas medio ambientales, Universidad Nacional de Colombia, 2005.
5. **Eva Röben**. DED/Ilustre Municipalidad de Loja, Ecuador, Manual de Compostaje para Municipios, 2002.
6. **Abarrata Aldea**, Manual Práctico y Técnicas de Compostaje, 2005.
7. **Amigos de la Tierra**, Manual de Compostaje.2004-2008.
8. **Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente**, Argentina, Plan Nacional de Valorización de Residuos. 2000.
9. **Marcos Arturo Rodríguez Salinas y Ana Córdova y Vázquez**, Semarnat – INE – GTZ; Manual de Compostaje Municipal; 2006.
10. **Henry, J. G.; Heinke, Gary. W.** “Ingeniería Ambiental”; segunda edición. Editorial Pearson. 1996.
11. **Manual de Compostaje Domestico**, www.compostando.com, 2004.
12. **Grupo de Acción para el Medio Ambiente**, GRAMA; Manual de Vermicompostaje, 2006.
13. **Grupo de Acción para el Medio Ambiente**, GRAMA; Manual de Compostaje, 2006.
14. **Agencia de Protección Ambiental (EPA)**, EPA530-R-94-003; Compostaje de Residuos Sólidos Urbanos, 1994.
15. **Huerta, López, Soliva, Zaloña**. Compostaje de Residuos Municipales, Control del Proceso Rendimiento y Calidad del Producto, 2008
16. **Ing. Claudio Alejandro Hermosa**, Evaluación Económica de una Planta de Compostaje en la VIII Región de Chile, 2005.
17. **Gloria Meléndez y Gabriela Soto**, proyecto NOS del CATIE/GTZ; Taller de Abonos Orgánicos, 2003.
18. **Ministerio de Medio Ambiente**, Argentina, Estudios de Mercado del Compost.
19. **Amigos de la Tierra**, Manual Básico para hacer Compost; www.tierra.org
20. **Ana Yute – Ing. Tec. Agrícola**, Taller de Elaboración de Compost, Argentina.
21. **Centro de Técnicas Agrarias**, 1) CIEMAT, 2) DGA. Zaragoza, 3)EUP. Huesca, 4) INIA. El Encín, 5) SITA. Valladolid, 6) SIDT. Badajoz, 7) CSIC. Toledo, 8) ITGA. Navarra, 9) SIA. Toledo.
22. **Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)**. Manual para la Producción de Abonos Orgánicos, 2002.
23. **Taller Práctico sobre Biodigestores Familiares de Bajo Costo, realizado en La Paz-Bolivia**, Programa de Desarrollo Agropecuario Sostenible - PROAGRO de la Cooperación Técnica Alemana-GTZ.
24. **J. Marti Herrero, 2008, Biodigestores Familiares**, Guía de Diseño y Manual de Instalación GTZ-Energía, Bolivia.

ANEXO 1 TÉCNICA PARA LA FORMULACIÓN DE LA MEZCLA PARA EL COMPOSTAJE

Esta técnica está basada en valores típicos reportados para los diferentes materiales; sin embargo, no es exacta ya que depende de la cantidad de carbono, nitrógeno y agua contenidos en los residuos a compostar. Estos valores se encuentran en el siguiente cuadro. Los pasos de la técnica son los siguientes:

2. Anotar en la columna "PESO" el correspondiente a los residuos. Este peso debe ser el que posean los residuos húmedos, pero sin escurrir. Solo deberá anotar los residuos disponibles, en los demás colocara cero.
3. Para cada residuo multiplicar el "PESO" por el "% N", dividir entre 100 y anotar en la columna "N".
4. Para cada residuo multiplicar el "PESO" por el "% C", dividir entre 100 y anotar en la columna "C".
5. Para cada residuo multiplicar el "PESO" por el "% H2O", dividir entre 100 y anotar en la columna "H2O".
6. Sumar los valores de la columna "PESO" y anotar el total en la fila "Suma".
7. Sumar los valores de la columna "N" y anotar el total en la fila "Suma".
8. Sumar los valores de la columna "C" y anotar el total en la fila "Suma".
9. Sumar los valores de la columna "H2O" y anotar el total en la fila "Suma".
10. Dividir la suma de la columna "C" entre la suma de la columna "N" y anotar el resultado en la casilla "C/N"
11. Dividir la suma de la columna "H2O" entre la suma de la columna "PESO" y anotar el resultado en la casilla "Humedad".
12. Si la relación C/N (20/1 a 30/1) o la de la humedad (40% - 60%) no se encuentran dentro de los intervalos recomendados, para cada uno de ellos, se deberá añadir o reducir alguno de los componentes y proceder a realizar nuevamente el cálculo hasta que los valores ajusten en los intervalos recomendados.

TÉCNICA PARA LA FORMULACIÓN DE MEZCLA DE COMPOSTAJE

	Material	Composición Aproximada			Peso	N	C	H2O
		% N	%C	% H2O				
Residuos Verdes ↑	Residuos mezclados de rastros	2,550	5,10	70				
	Lodos activados crudos	1,400	8,82	75				
	Estiércol de aves de corral	0,315	4,73	95				
	Lodos Activados digeridos	0,470	7,38	75				
	Estiércol de vaca	0,170	3,06	90				
	Estiércol de cerdo	0,300	6,00	92				
	Pasto	0,645	12,96	70				
	Melaza acuática	0,078	1,64	96				
	Estiércol de oveja	0,938	20,63	75				
	Estiércol de caballo	0,230	5,75	90				
	Residuos de fruta	0,380	13,22	75				
	Paja de avena	0,735	35,28	30				
	Fracción organica de RSU	0,189	9,58	65				
	Hojas caídas recientemente	0,300	18,00	60				
	Paja de trigo	0,210	26,88	30				
Residuos Cafes ↓	Residuos de aserraderos	0,098	16,58	25				
	Papel mezclado	0,235	40,66	6				
	Aserrín	0,080	28,00	20				
	Revistas comerciales	0,067	31,26	5				
	Madera	0,056	40,49	20				
	Papel periódico	0,047	46,20	6				
	Agua	0,000	0,00	100				
	Suma							
	C/N							
	Humedad							

Adaptado de GTZ 1999 y Tchobanoglous, et 1993

ANEXO 2 USOS RECOMENDADOS PARA LA COMPOSTA

Cultivo	Dosis	Observaciones
Trigo	5,0 t/ha	Enterrar 4 semanas antes de la siembra
Cebada	5,0 t/ha	Enterrar 4 semanas antes de la siembra
Avena	0,1 t/ha	Enterrar 4 semanas antes de la siembra
Maíz	8,0 t/ha	La mitad de la composta puede mezclarse con los fertilizantes
Arroz	20,0 t/ha	
Algodón	20,0 t/ha	Enterrar entre los 20 y 30 cm de profundidad 2 o 3 semanas antes de la siembra
Tabaco	18,0 t/ha	Enterrar 4 semanas antes del trasplante
Papa	20,0 t/ha	
Alfalfa	15,0 t/ha	Enterrar con un pase de arado
Tomate y pimentón	17,0 t/ha	Enterrar 6 semanas antes del trasplante
Fresa	22,0 t/ha	
Esparrago	22,0 t/ha	Ciclo de 4 años, aplicar en el tercero una mitad adicional de la dosis.
Cereales	12,0 t/ha	Enterrar cada 2 años en la superficie
Pastos	17,0 t/ha	Enterrar cada 2 años en la superficie
Hortalizas	17,0 t/ha	Enterrar anualmente en la superficie
Olivo	8,0 t/ha	Aplicar cada dos años
Manzano y pera	17,0 t/ha	
Frutos agrios	20,0 t/ha	Si es plantación nueva 8 kg adicional es para cada árbol
Frutos de semilla grande	13,0 t/ha	Cada 2 años enterrar superficialmente
Arboles	17,0 t/ha	Enterrar cada 2 años
Almácigos	35% vol.	Mezclar perfectamente

*La dosis exacta a aplicar depende de la calidad de la composta y de las características del suelo; por este motivo, siempre es recomendable contar con el apoyo de un experto (edafólogo). La dosis recomendada es típica para suelos ordinarios, sin embargo, en suelos desgastados deberá incrementarse. En aplicaciones sucesivas la dosis se reduce. Adaptado de: Deffis CA 1994 y GTZ 1999

ANEXO 3

VALORACIÓN DE EXPERIENCIAS DESARROLLADAS Y TECNOLOGÍAS UTILIZADAS

PLANTA DE COMPOSTA AERÓBICA CON CAPACIDAD DE 10 TN/DÍA	
Datos Generales	
<p>Población: 8 millones de habitantes. Generación de residuos: 12.000 Tn/día. Composición: 50% de residuos inorgánicos y 50% de residuos Orgánicos. Residuos a compostar: 10 Tn/día (0.16 % del total de residuos orgánicos) Fecha de Inicio: la Planta inicio sus operaciones el año 1998 Tipo de planta: Degradación Aeróbica. Área de la Planta: 6000 m². Clima: Predomina el clima templado a subhúmedo, con lluvias en verano. La temperatura media anual máxima es de 19.2° C. Situado a una altitud media de 2240 msnm.</p>	
Objetivos del Proyecto	
<p>El principal objetivo de la planta es reducir el volumen de residuos orgánicos que se depositan en el relleno sanitario y así alargar su vida útil. El compost que se produce se utiliza en los parques y jardines públicos, en las áreas verdes de escuelas públicas, y para sanear las celdas del relleno sanitario.</p>	
Descripción del Programa	
<p>La planta es de administración pública, la poda y pasto de las áreas verdes y jardines de las vías públicas son recolectados de manera separada y entregados a la planta. Así mismo, los desperdicios de alimentos del mercado central, los residuos orgánicos separados en los domicilios de algunos distritos también se depositan en la planta de compostaje.</p>	
Detalles Técnicos del Programa	
<p>Preparación: se realiza una preselección de los residuos verdes que ingresan la planta; La poda se tritura a través de una astilladora mecánica antes de ser integrada a las pilas. Los residuos de alimentos se incorporan directamente al área de compostaje incluyendo las bolsas de plástico en las que vienen los desechos orgánicos. Composta: La materia orgánica se coloca en 8 pilas de capas intercaladas de poda, residuos domésticos y lodos. Las pilas se oxigenan a través de una volteadora, mensual o quincenalmente. Una pileta está disponible para realizar el riego de los residuos orgánicos. La separación de las bolsas de plástico (estas son fácilmente retiradas al finalizar el proceso) y el cribado se realizan al final del proceso de compostaje. Disposición: La composta disponible se almacena en el área de entrega. Se criba adicionalmente cuando se entrega en costales y se usa en bruto para el saneamiento de las celdas.</p>	
Aspectos Sociales y Económicos	
<p>Doce empleados trabajan en la planta. Todos tienen equipamiento de protección adecuado para trabajar, un contrato fijo y seguridad social. La participación de la población es variada. Existen distritos que separan efectivamente los residuos orgánicos domésticos y otras que no separan adecuadamente. El compost que se produce en la planta no se vende debido a restricciones administrativas. La planta es totalmente financiada por el Gobierno.</p>	
Aspectos del Medio Ambiente	
<p>La planta cuenta con sistemas de recolección y tratamiento de lixiviados, áreas administrativas y portería, maestranza y playa de almacenamiento y despacho de producto.</p>	
Éxitos y Problemas	
<ul style="list-style-type: none"> • La falta de equipamiento adecuado retrasa la producción del compost de 4 a 6 meses. • La recolección separada es crucial para el buen funcionamiento de la planta. • Falta una mayor coordinación entre los recolectores de los residuos domiciliarios en los diferentes distritos y los responsables de la planta. 	

PLANTA DE COMPOSTA AERÓBICA CON CAPACIDAD DE 7 TN/DÍA	
Datos Generales	
<p>Población: 500.000 habitantes. Generación de residuos: 574 Tn/día. Composición: 65% de residuos inorgánicos y 35% de residuos Orgánicos. Residuos a compostar: 7 Tn/día (3.5 % del total de residuos orgánicos) Fecha de Inicio: la Planta inicio sus operaciones el año 1998 Tipo de planta: Degradación Aeróbica. Área de la Planta: 6400 m². Clima: Predomina clima templado a sub húmedo con fuertes lluvias en verano. La temperatura media anual máxima de 15° C y un máximo de 36° C. Se localiza a una altitud media de 2290 msnm.</p>	
Objetivos del Proyecto	
<p>La principal razón de haber construido la Planta de Compostaje Municipal fue reducir los residuos orgánicos que se depositan en el sitio de disposición final y aumentar la vida útil del mismo. La composta se utiliza principalmente en las áreas verdes del municipio con fin de conservar y mejorar los suelos. La composta se regala y también se vende a algunos particulares y clientes. El programa funciona en gran parte por la decidida voluntad del Gobierno federal a través de la Dirección de Ecología.</p>	
Descripción del Programa	
<p>El programa de compostaje es administrado por la Dirección de Ecología del Gobierno Federal. Podas y pasto de las áreas verdes del municipio y estiércol son recolectados de manera separada por los camiones de parques y jardines. Las Industrias agroalimentarias trasladan sus residuos, que conforman el 10% del total. Una recolección doméstica separada opera solamente en 3 zonas.</p>	
Detalles Técnicos del Programa	
<p>Preparación: las podas son trituradas antes de incorporarse en pilas; los demás residuos no necesitan preparación y son incorporados tal cual se reciben. Composta: la materia orgánica se coloca diariamente en 7 pilas no cubiertas, que miden aproximadamente 3 x 15 x 2 m de altura, construidas sobre el suelo sin ningún recubrimiento. Se estima que el proceso tarda entre 70 y 80 días para completarse. Las pilas no están cubiertas y se riegan solamente una vez al día con agua de un canal o con agua de una pileta, según la temporada del año. Las pilas son volteadas cada semana con un cargador frontal. Utilización: La composta se criba y se empaca en costales rotulados.</p>	
Aspectos Sociales y Económicos	
<p>Catorce empleados trabajan en la planta. Todos tienen equipamiento de protección adecuado, un contrato fijo y seguridad social. Trabajan en dos turnos bajo la supervisión de un encargado. Los encargados reciben capacitaciones sobre temas de compostaje durante tres veces al año en promedio. La población participa poco en las operaciones pero les regalan la composta que soliciten.</p> <p>El compost es utilizado en parques y jardines del Municipio, se cambia con herramientas y especies para el funcionamiento de la Planta con agricultores, siendo el Municipio del que paga los sueldos del personal de la Planta.</p>	
Aspectos del Medio Ambiente	
<p>No se hace recolección ni tratamiento de la gran cantidad de lixiviados producidos aunque en la nueva planta se planea contar con un sistema para su recolección. No se realiza ningún tipo de monitoreo fisicoquímico del producto, pero si se realizan mediciones de pH y de temperatura cada tres días.</p>	
Éxitos y Problemas	
<p>La planta ha sido institucionalizada por la municipalidad, lo cual permite la mecanización de la planta con compra de maquinaria adecuada. El proceso podría ser mejorado cubriendo las pilas con plástico y recolectando los lixiviados.</p>	

PLANTA DE COMPOSTA AERÓBICA CON CAPACIDAD DE 1.6 TN/DÍA	
Datos Generales	
<p>Población: 472.000 habitantes. Generación de residuos: 500 Tn/día. Composición: 51% de residuos inorgánicos y 49% de residuos Orgánicos. Residuos a compostar: 1.6 Tn/día (0.65 % del total de residuos orgánicos) Fecha de Inicio: La planta inicio sus operaciones el año 1999 Tipo de planta: Degradación Aeróbica. Área de la Planta: 1000 m² (Dentro el terreno del relleno Sanitario) Clima: Templado subhúmedo, con temperatura media anual de 15° C y un mínimo de 3.2° C y situado a una altitud media de 2280 msn.</p>	
Objetivos del Proyecto	
<p>El objetivo principal de la planta es reducir la cantidad de residuos orgánicos que se depositan en el relleno sanitario para disminuir los efectos contaminantes y alargar la vida útil del sitio. El compost se usa en las áreas verdes del municipio y se regala a personas de las colonias que participan en el programa de recolección separada. El programa funciona en parte por voluntad municipal y en parte por voluntad pública.</p>	
Descripción del Programa	
<p>El programa de compostaje está gestionado por el Municipio través de la Dirección de Servicios Públicos. Consiste en la recolección selectiva de residuos orgánicos domésticos de diversas zonas del Municipio, además de las podas y pasto de las áreas públicas del municipio, de estiércol de algunos ranchos.</p>	
Detalles Técnicos del Programa	
<p>Preparación: Las podas son reducidas de tamaño con una trituradora; los empleados abren las bolsas de residuos orgánicos domiciliarios y retiran los inorgánicos.</p> <p>Composta: la materia orgánica se coloca en capas alternativas de pasto, desechos domésticos y poda triturada hasta alcanzar pilas de 2.5 x 20 x 1.5 m construidas sobre el suelo mismo. La aireación de las pilas se hace mediante tubos perforados de PVC de 20 cm de diámetro. El proceso dura 3 meses (además del tiempo de construcción de la pila) y se riega cada 3 días, según la estación, con aguas residuales tratadas y a través de una pileta. Los volteos se hacen con retroexcavadora una vez por semana.</p> <p>Utilización: la cosecha del compost se realiza manualmente, se criba. Si es para uso municipal dentro de los parques y jardines se aplica sin cribar.</p>	
Aspectos Sociales y Económicos	
<p>En total 9 empleados trabajan en la planta. Tienen seguridad social y uniformes adecuados para las operaciones de producción del compost. La participación de la población de las zonas que separan su basura es en promedio del 64%. No se han desarrollado campañas masivas de promoción en el municipio.</p> <p>No se realiza la venta de compost puesto que la demanda del municipio es suficiente para cubrir el uso de todo el compost generado, los gastos administrativos, de producción y reposición de herramientas y equipos es cubierto por el Municipio.</p>	
Aspectos del Medio Ambiente	
<p>No se hace ningún tipo de monitoreo fisicoquímico de la composta. Los lixiviados de las pilas se infiltran en las celdas del relleno sanitario, al tener este un sistema de captación, conducción y tratamiento de los lixiviados no existe contaminación.</p>	
Éxitos y Problemas	
<p>La planta ha sido completamente institucionalizada y cuenta con muy buena aceptación social. Comprar un cargador frontal y cubrir las pilas con plástico son dos acciones que podrían mejorar el rendimiento del proceso y la calidad del producto.</p>	

ANEXO 4

Comparación de las Alternativas de Aprovechamiento de Residuos Orgánicos

Diferencia entre los Métodos de Lombricompostaje y Compostaje

Asunto	Lombricultura Intensiva	Compostaje con Lombrices	Compostaje Estándar
Objetivo	<ul style="list-style-type: none"> – Cría de lombrices como alimento agropecuario. – Producción de humus como fertilizante. – Aprovechamiento o valorización de los residuos orgánicos 	<ul style="list-style-type: none"> – Producción de humus como fertilizante – Aprovechamiento o valorización de los residuos orgánicos 	<ul style="list-style-type: none"> – Producción de compost como abono orgánico – Aprovechamiento o valorización de los residuos orgánicos
Cantidad de Compost Producido	Aproximadamente 40% del peso de los residuos orgánicos crudos	Aproximadamente 50% del peso de los residuos orgánicos crudos	Aproximadamente 50% del peso de los residuos orgánicos crudos
Siembra de Lombrices	4000 lombrices por m ³ o 1 a 2 kg de lombriz por 1 kg de residuo orgánico.	600- 700 lombrices o 200 gr de lombrices por m ³	
Tiempo necesario	4 - 3 meses	5 – 6 meses	6 – 9 meses
Producto	Heces de lombriz (humus arcilloso)	Compost	Compost
Cosecha de lombrices	2 meses después del comienzo de la implementación. Posteriormente cada mes.	Paralelamente a la cosecha del producto.	
Problemas de olores	No hay	Poco (durante la descarga de material y la mezcla/revuelta)	Durante la descarga de material y la mezcla/revuelta.
Productos Colaterales	Lombrices (comida para pollo, polluelo, pescado etc)	Compost grueso (material de filtro biológico, material de estructura o relleno)	Compost grueso (material de filtro biológico, material de estructura o relleno)

Fuente: Adaptado de Manual de Compostaje para Municipios, Eva Roben 2002, Ecuador.

Diferencias en los Parámetros de control para los Procesos de Lombricompostaje y Compost

Parámetros de Proceso	Lombricompostaje	Compost
Relación carbono-nitrógeno	15/1 a 20/1	20/1 a 30/1
Tamaño de los residuos		10 a 20 mm
Humedad	55 a 60 %	35 a 60 %
pH	6 a 8	4 a 8
Temperatura	20 a 25 Grados	Llega a 75 Grados
Presencia de Luz	No toleran	No afecta al proceso
Alimento		

Fuente: Elaboración propia en Base a la Bibliográfica Consultada.

Anexo 5
VALORES DE GENERACIÓN DE BIOGÁS

SEGÚN DIFERENTES SUSTRATOS

SUSTRATO	GENERACION DE GAS (L/Kg. Biomasa ceca)	PROMEDIO (L/Kg. Biomasa ceca)
Excreta de Porcino	340 - 550	450
Excreta de vacuno	150 - 350	250
Excreta de Aves	310 - 620	460
Guano de caballo	200 - 350	250
Guano de oveja	100 - 310	200
Guano de establo	175 - 320	225
Paja de cereales	180 - 320	250
Paja de maíz	350 - 480	410
Paja de arroz	170 - 280	220
Gras fresco	280 - 550	410
Gras de elefante	330 - 560	415
Bagazo	140 - 190	160
Desperdicios de verduras	300 - 400	350
Jacintos	300 - 350	325
Algas	380 - 550	460
Lodos de aguas servidas	310 - 640	450

Fuente: OEKOTOP