



Manual de compostaje municipal

Tratamiento de residuos sólidos urbanos



Manual de compostaje municipal

Manual de compostaje municipal

Tratamiento de residuos sólidos urbanos

Marcos Arturo Rodríguez Salinas
y Ana Córdova y Vázquez

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)
Instituto Nacional de Ecología (INE)
Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH

José Luis Luege Tamargo
Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales – SEMARNAT

Adrián Fernández Bremauntz
Presidente del Instituto Nacional de Ecología - INE

Axel Macht
Asesor principal de Gestión de Residuos y Sitios Contaminados
Cooperación Técnica Alemana - GTZ

Primera edición: septiembre de 2006

D.R. © Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
www.semarnat.gob.mx

Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT)
www.ine.gob.mx

Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH
www.gtz.de

RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

PARA EL CAPÍTULO 4: Aurelie Paoli y Nathalie Jean-Baptiste

REVISORES TÉCNICOS: Waldo Toledo Soto y Gustavo Solórzano Ochoa

COORDINACIÓN EDITORIAL: Raúl Marcó del Pont Lalli

DISEÑO DE LA PORTADA: GTZ

FOTOS DE LA PORTADA: Aurelie Paoli

CORRECCIÓN DE ESTILO: Ana María Sánchez Mora

ILUSTRACIONES Y FOTOGRAFÍAS: Marcos Arturo Rodríguez Salinas,

Nicolás Silva Roja (pp. 29, 32-35 y 38), Aurelie Paoli (pp. 64 y 83)

y Nathalie Jean-Baptiste (pp. 73-75, 77, 79 y 81).

Se autoriza la reproducción total o parcial de este documento siempre que se cite la fuente

Agradecemos el apoyo del Gobierno Alemán a través
del Ministerio de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ)

ISBN: 970-9983-05-9
Impreso y hecho en México

Índice

Introducción	12
1 Programa municipal de compostaje	17
1.1 Fundamento jurídico del programa municipal de compostaje	17
1.1.1 Marco normativo federal	17
1.1.2 Marco normativo local	19
1.2 Componentes del programa municipal de compostaje	20
1.2.1 La separación	20
1.2.2 La recolección	22
1.2.3 El tratamiento	23
1.2.4 La distribución y la utilización	25
1.3 Procesos articuladores del programa municipal de compostaje	25
1.3.1 Educación y participación pública	26
1.3.2 Administración	26
1.3.3 Desarrollo y crecimiento	26
2 Producción de composta doméstica	28
2.1 La compostadora	29
2.2 Selección de los residuos para el compostaje	30
2.3 Proceso de fabricación de composta doméstica	32
2.3.1 Compostaje doméstico “lento”	32
2.3.2 Compostaje doméstico “rápido”	33
2.3.3 Factores importantes en el compostaje doméstico	33
2.3.4 Maduración y cosecha de la composta doméstica	35
2.3.5 Solución de problemas	36
2.3.6 Usos de la composta doméstica	36
2.4 Campañas de difusión de la composta doméstica	36

3	Planta municipal de compostaje	40
3.1	Factibilidad de la planta de compostaje	40
3.2	Diseño de la planta de compostaje	42
3.2.1	Ubicación de la planta	42
3.2.2	Escala de la planta	42
3.2.3	Operaciones unitarias de la planta de compostaje	43
3.2.4	Elementos de ingeniería	51
3.2.5	Tipos de operación de la planta	52
3.3	Administración de la planta de compostaje	57
3.3.1	Elementos de la administración	57
3.3.2	El Manual de operación y organización	59
3.3.3	Recursos humanos	59
3.3.4	Calidad	60
3.3.5	Estimación de costos	60
4	Las experiencias de producción de composta en México	62
4.1	Los promotores	62
4.2	Análisis de experiencias	63
4.3	Fichas descriptivas	65
	Anexos	
Anexo A.	Guía para el compostaje casero	84
Anexo B.	Técnica para la formulación de la mezcla para el compostaje	86
Anexo C.	Usos recomendados para la composta	88
Anexo D.	Términos de referencia para la elaboración del proyecto ejecutivo de una planta de separación de residuos sólidos y composta	89
	Glosario	99
	Bibliografía	101

Lista de figuras

Figura 1.	Flujograma diferenciado del manejo integrado de residuos sólidos urbanos	13
Figura 2.	Política de Reducción, Reuso y Reciclaje (3Rs) de los RSU	14
Figura 3.	Componentes básicos de un programa municipal de compostaje	20
Figura 4.	Algunos ejemplos de sistemas domésticos de compostaje	29
Figura 5.	Maquinaria en la planta de compostaje de Bordo Poniente, D.F.	44
Figura 6.	Ejemplo de hoja de proceso, diagrama de bloques y balance de materiales	52
Figura 7.	Ejemplos de distribución de pilas en una planta	53
Figura 8.	Ejemplo de caseta de vigilancia	54
Figura 9.	Diagrama de proceso de una PdC de operación manual	54
Figura 10.	Trinchera y jardinera para lombricompostaje	55
Figura 11.	Cargador frontal (pala mecánica) con retroexcavadora (mano de chango)	55
Figura 12.	Molino de ramas	55
Figura 13.	Diagrama de proceso de una PdC parcialmente mecanizada	56
Figura 14.	Diagrama de proceso de una PdC mecanizada en pilas	56
Figura 15.	Esquema de un reactor cilíndrico para compostaje	57

Lista de cuadros

Cuadro 1.	Especificación que se incluyen en el PROY-NTEA-006-SMA-RS-2005	21
Cuadro 2.	Características de sistemas domésticos de compostaje	30
Cuadro 3.	Herramientas útiles para el compostaje doméstico	30
Cuadro 4.	Clasificación de residuos orgánicos para el compostaje doméstico	31
Cuadro 5.	Diferencias entre la composta doméstica madura e inmadura	36
Cuadro 6.	Solución de problemas comunes en el compostaje doméstico	37
Cuadro 7.	Indicadores para diferentes usos de la composta	38
Cuadro 8.	Listado de plantas de compostaje identificadas	63
Cuadro 9.	Tipo de residuos, fuente de generación y destino de la composta en plantas seleccionadas	66
Cuadro 10.	Factores de fracaso en plantas municipales de compostaje en México	69
Cuadro 11.	Factores de éxito en plantas municipales de compostaje en México	71

Lista de acrónimos

C/N	Relación carbono/nitrógeno
DF	Distrito Federal
EM	Estado de México
GIRSU	Gestión integral de residuos sólidos urbanos
GTZ	<i>Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit,</i> (GTZ) GmbH Cooperación Técnica Alemana
INE	Instituto Nacional de Ecología
IPN	Instituto Politécnico Nacional
ITESM	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores Monterrey
PdC	Planta de compostaje
pH	Potencial de hidrógeno
RME	Residuos de manejo especial
RP	Residuos peligrosos
RSU	Residuos sólidos urbanos
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
UAM	Universidad Autónoma Metropolitana
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México

Introducción

La sociedad en su quehacer cotidiano ofrece a sus individuos los satisfactores necesarios para la vida. La producción de satisfactores es posible gracias a la apropiación de los recursos naturales y su transformación en bienes y servicios útiles. En los procesos de transformación y utilización de los satisfactores se generan excedentes “no útiles” llamados comúnmente residuos. Estos residuos se han clasificado, en primera instancia, por el estado de agregación de la materia o la forma predominante en la que se manifiesta la energía de los mismos. De esta manera se dividen en emisiones a la atmósfera, descargas de aguas residuales y residuos sólidos aunque, en la práctica, hay ocasiones en que los residuos se encuentran a un mismo tiempo en dos o tres estados de agregación mezclados. A su vez, los residuos sólidos se clasifican en México en tres rubros: residuos peligrosos (RP), residuos sólidos urbanos (RSU) y residuos de manejo especial (RME). Es importante resaltar que a pesar de llamarse *residuos sólidos*, en general existen muchos líquidos y gases contenidos en los mismos, ya sea mezclados o asociados. El presente libro se centra en los residuos sólidos urbanos a los cuales la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos define como:

Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus enva-

ses, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole.

Los RSU al acumularse y no reincorporarse a la naturaleza en un corto o mediano plazo generan contaminación. La contaminación afecta al suelo, aire, ríos, lagos, mares, plantas, animales y a las personas. Los problemas de salud pública causados por la acumulación de los RSU a cielo abierto son numerosos, sin mencionar las graves afectaciones al mismo medio ambiente. Los procesos de ordenamiento ecológico consistentemente identifican a los RSU como problemas ambientales a resolver, pues no sólo afectan a los asentamientos humanos en donde se generan, sino también a los ambientes rurales (tanto naturales como productivos) que los rodean. La Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) surge como una forma de atender no sólo la imperiosa necesidad de la sociedad de sanear sus propios asentamientos sino, además, disminuir los impactos que dichos residuos causan sobre el medio ambiente circundante. Esta gestión también se ha definido en la mencionada Ley de residuos como:

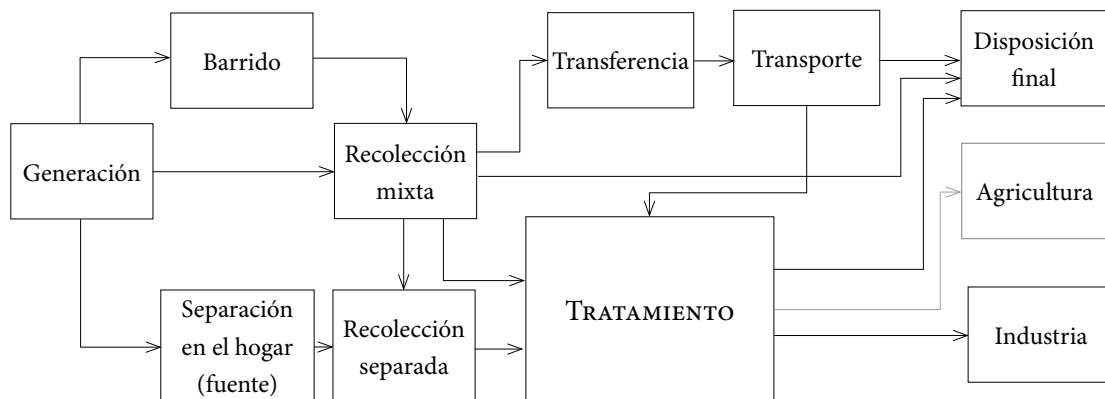
Conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región.

La gestión de los residuos se realiza en tres dimensiones. La primera se refiere al manejo directo de los RSU e incluye generación, tratamiento en su origen, barrido, recolección, transferencia, transporte, tratamiento y disposición final (figura 1). Esta dimensión es la más visible ya que existen personas y equipo específicos para realizar las tareas asociadas al mismo. La segunda dimensión considera a todas las personas, instituciones y organizaciones que, sin ser las encargadas del manejo directo de los RSU, mantienen alguna relación con éstos; por ejemplo, el proceso legislativo en torno a la creación de una ley estatal sobre residuos. La tercera dimensión de la gestión es el medio ambiente entorno a los RSU, que incluye a la sociedad (personas, instituciones y organizaciones) así como el medio ambiente natural (agua, aire, suelo y otros seres vivos).

En el manejo tradicional de RSU, los residuos generados son recolectados e inmediatamente se depo-

sitan; en otros casos, cuando el sistema resulta insuficiente, los RSU no se depositan en un lugar específico y en cambio, se dispersan y acumulan contaminando al medio ambiente. Esta forma de manejo ha causado severos impactos al medio ambiente social y natural, por lo que se han debido establecer regulaciones en torno al manejo de RSU. El principal elemento que se ha regulado en México son los sitios de disposición final; actualmente existe para ello una Norma Oficial Mexicana (NOM-083-SEMARNAT-2003) en la cual se establece en detalle las características que deben cumplir estos sitios. En la búsqueda de alternativas a la disposición final de RSU se ha planteado la política de las 3 Rs, que se muestra en la figura 2. Como primer paso se presenta la **Reducción** en la generación que, a través de un cambio en los patrones de fabricación y de consumo de los satisfactores humanos, disminuye la cantidad de los residuos generados. La segunda etapa es el **Reuso** que consiste en volver a usar un residuo para el mismo uso original o para otro uso. La siguiente etapa es el **Reciclaje** que se define como la transformación de un residuo en un nuevo satisfactor. A diferencia del reuso, en el reciclaje se requieren de materiales, energía y trabajo para la transformación del residuo. Debido a que el costo ambiental del reciclaje es mayor que el reuso, y el del reuso mayor que el de la reducción, técnica y económicamente se propone primero buscar la reducción, luego el reuso y, por último, el reciclaje. Como último paso los residuos que no pudieron ser evitados, reusados o

FIGURA 1. FLUJOGRAMA DIFERENCIADO DEL MANEJO INTEGRADO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

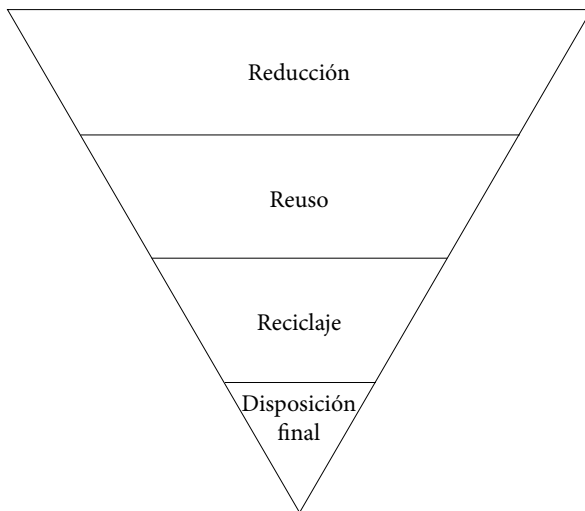


© Günther Wehenpohl, 2004.

recicladados deberán ser confinados y aislados del medio ambiente para que no se genere contaminación; esto es, llevados a su confinamiento o disposición final. En un manejo integrado de residuos, se busca aplicar las 3Rs y, sólo después de ello, se procederá a la disposición final.

El reciclaje representa una forma de tratamiento de los RSU, enfocada en convertir un residuo en un producto útil (en muchos casos, una mercancía). El tratamiento se clasifica, de acuerdo con los cambios que se generan en el residuo, en físico, químico y biológico. El tratamiento físico incluye la reducción de tamaño (molido) y de volumen (prensado), el secado y la separación por medios mecánicos. Este tratamiento no cambia la naturaleza química del residuo en sí, haciendo más fácil la comercialización de un subproducto rescatado de los RSU. El tratamiento químico incluye un cambio en la estructura química del residuo; la combustión es, por mucho, el proceso que más se utiliza, aunque existen otros procesos que se aplican en menor escala. Finalmente, el tratamiento biológico cambia la estructura química del residuo a través de la acción de seres vivos. Este tratamiento se puede dividir, según el tipo de *biorreacción* principal, en aeróbico y anaeróbico, de acuerdo a la dependencia de oxígeno en el proceso.

FIGURA 2. POLÍTICA DE REDUCCIÓN, REUSO Y RECICLAJE (3Rs) DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS



La *composta* se define como el producto de la degradación aeróbica de residuos orgánicos. Es un material inodoro, estable y parecido al humus que no representa riesgo sanitario para el medio ambiente natural y social. Se produce bajo condiciones controladas que recrean, favorecen y, en ocasiones, aceleran las condiciones naturales de generación del humus. El nombre correcto de acuerdo a la real academia española es “compost” y significa “humus obtenido artificialmente por descomposición bioquímica en caliente de residuos orgánicos.” Sin embargo, en México se utiliza el término “composta” que el diccionario sitúa como un sinónimo de “composición”, ya que proviene del latín *componere* que significa juntar. En este texto se ha decidido utilizar el término “composta” sin que esto signifique que no se pueda emplear el otro (al final del libro se presenta un glosario con el objeto de evitar confusiones).

El desarrollo de técnicas para la elaboración de composta data de tiempos inmemoriales; en China se conocen técnicas desde hace más de 6000 años. Los residuos orgánicos (residuos de la cocina, paja, ramas, hojas, estiércol, etc.) son la materia prima para la producción de la composta que se puede producir a escala doméstica, agrícola, comercial y municipal. Los programas de compostaje municipal han tenido un gran auge durante las últimas décadas, impulsados por gobiernos nacionales y locales, en instituciones tanto públicas como privadas.

El proceso por el cual se elabora composta se ha denominado “compostaje”. Las tecnologías para el compostaje son variadas y los productos finales también varían en su composición, color, textura, etc., según los residuos y el proceso que les dio origen. Durante el último siglo se han realizado diversos experimentos que han permitido conocer en gran medida los fundamentos científicos relacionados con el compostaje. Este proceso requiere de oxígeno (aeróbico) y agua en cantidad suficiente; genera cierta cantidad de calor (proceso exotérmico), bióxido de carbono (CO₂) y vapor de agua. Los organismos implicados en el proceso son un conjunto de bacterias, hongos y microfauna. Las cadenas alimenticias son complejas y dinámicas, y la edad del proceso influye en su composición. El compostaje se asemeja a una sucesión ecológica, en donde primero hay ciertos organismos

que son paulatinamente remplazados por otros y éstos, a su vez, sucesivamente por otros hasta el agotamiento de todos los nutrientes básicos. Al finalizar el proceso, la composta es estable, esto es, no se descompone, no crecen en ella animales, hongos o bacterias y puede almacenarse largo tiempo sin perder sus propiedades. Sin embargo, la composta puede verse afectada en sus características por la presencia de agua, que permite el crecimiento de algas, hongos y vegetales. La composta producida directamente en el suelo, puede transmitir los microorganismos de éste, ya sean benéficos o patógenos. Al ser la composta la versión artificial del humus, el compostaje requiere un control que permita elaborar un producto que no dañe al ambiente.

La composta es un mejorador del suelo porque favorece el desarrollo de sus funciones:

- ♦ Favorece la aireación y la retención de humedad. Junto con las arcillas fomenta la formación de agregados más estables. En suelos arenosos ayuda a la retención del agua.
- ♦ Mejora la estructura del suelo. Por esta característica y porque permite la absorción del agua, es un agente preventivo de la erosión.
- ♦ Favorece el almacenamiento de nutrimentos y su disponibilidad para los vegetales.
- ♦ Provee un medio donde infinidad de microorganismos se desenvuelven; algunos procesan los residuos para convertirlos en humus y otros procesan el humus para aprovecharlo o generar alimento para otros. Es la “casa” del sistema vivo del suelo.
- ♦ Favorece la absorción de los rayos solares debido a su color oscuro y, por tanto, el aumento de la temperatura del suelo en ciertas estaciones del año.

Al ser el compostaje un proceso de transformación de la porción orgánica de los RSU en un producto útil (la composta) y debido a que la porción orgánica de los RSU en México es de aproximadamente el 50%, esta transformación puede disminuir significativamente la cantidad de RSU que son liberados al ambiente o confinados permanentemente en un tiradero municipal o relleno sanitario. De esta manera, el compostaje puede ayudar en dos objetivos principales: el primero relacionado con la disposición final, ya que reduce la cantidad

de materiales a disponer y el impacto debido a la NO generación de metano (producto de la degradación anaeróbica de residuos orgánicos), un gas de efecto invernadero. El segundo se refiere al mejoramiento de suelo en la agricultura y el mantenimiento de parques y jardines, entre otras posibilidades.

Actualmente la conciencia ciudadana en torno a la problemática ambiental en México se encuentra en fase de crecimiento, y esto ha originado que las leyes incluyan una diversidad de estrategias para disminuir el impacto de las actividades humanas sobre el entorno natural. Específicamente, la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) considera como un elemento importante la elaboración de composta. Esta producción satisface dos objetivos principales, el primero relacionado con el reciclaje, y el segundo, con el mejoramiento de los suelos. Sin embargo, el conocimiento del proceso no ha sido ampliamente difundido entre los miembros de las administraciones públicas municipales, quienes tienen las mayores oportunidades de fomentar el desarrollo del compostaje de RSU dadas las características legales y administrativas en este país.

Por tales motivos, el objetivo de este libro es ofrecer lineamientos generales sobre cómo diseñar y operar programas y plantas de compostaje municipal, con el fin de reducir los costos de disposición final de RSU, promover la reutilización y reciclaje de materia orgánica y su reintegración al suelo urbano o agrícola, así como prevenir fracasos en programas municipales de compostaje debidos a la falta de un conocimiento suficiente del tema.

Para el cumplimiento del objetivo, se presenta en primera instancia un capítulo general sobre la composta y el compostaje, en el cual se incluye el marco legal aplicable en México y los principales puntos críticos de un programa municipal de compostaje. El segundo capítulo se refiere al compostaje doméstico, sus características y, en especial, incluye una sección sobre las actividades de la autoridad municipal para fomentar este proceso a escala domiciliar. Posteriormente se presenta un capítulo sobre plantas de compostaje municipal en donde se describe con detalle la tecnología aplicable en México incluyendo el proceso de administración de la planta. En el último capítulo del presente libro se describen algunas experiencias de compostaje en sitios cercanos a la Ciudad de México y

que están vigentes, así como un listado de las fortalezas y debilidades que se han detectado en una muestra a nivel nacional. Finalmente, los anexos incluyen un tríptico para la difusión del compostaje doméstico, un método para la formulación de la pila de compostaje, una tabla de recomendaciones de adición de compostaje

a diferentes cultivos y los términos de referencia para el diseño de una planta de compostaje (PdC) municipal. Este material puede ser complementado con diversos estudios que se describen en la sección bibliográfica y los contenidos específicos en el portal latinoamericano de residuos sólidos urbanos: www.giresol.org.

Programa municipal de compostaje

1

El compostaje es una opción que permite a las autoridades municipales la reducción de hasta un 50% en el peso de los residuos que vayan a ser depositados en el sitio de disposición final. El compostaje bien operado bajo criterios de eficiencia técnica y económica, puede representar un beneficio económico en el manejo integral de RSU. Si bien existen numerosas experiencias de compostaje a escala municipal en México, estas experiencias están marcadas por un número significativo de fracasos, y muchas de las plantas que operan actualmente lo hacen aún con dificultad debido a una serie de factores políticos, económicos, administrativos, técnicos y sociales. En este sentido, un programa municipal de compostaje no es sencillo: requiere de una buena planeación, personal capacitado y recursos financieros suficientes para tener éxito. Un programa municipal de compostaje se puede instrumentar en menos de los tres años de duración de la administración municipal y fortalecerse e institucionalizarse en menos de seis años, por lo cual representa en la actualidad una excelente opción de tratamiento de RSU en México.

Un programa de compostaje tiene su fundamento en el marco normativo mexicano, tal como se explica en la siguiente sección, y consta de componentes básicos que se articulan a través de procesos sociales e institucionales. Los componentes básicos son la separación, la recolección, el tratamiento doméstico y en planta, así como la distribución y la utilización del producto. Los procesos articuladores a su vez son

la planeación, el financiamiento, la educación/capacitación, la difusión, el involucramiento de actores y la evaluación. Es importante señalar que cada uno de los componentes y procesos requiere disponer oportunamente de un conjunto de recursos humanos, materiales y financieros para llevarse a cabo y la falta o deficiencia de tan sólo uno de estos recursos hace imposible implementar el programa.

1.1 Fundamento jurídico del programa municipal de compostaje

Actualmente México se encuentra en proceso de elaborar instrumentos jurídicos que regulen las actividades en torno a los residuos y tomando en cuenta como afectan estos al medio ambiente. Estos instrumentos son descritos en esta sección y se resalta la fecha de publicación. En general, la tendencia en la elaboración de instrumentos de planeación en torno a la GIRSU es obligatoria y el compostaje se sitúa como un elemento indispensable para esta gestión. Como se apreciará a continuación, en algunos estados del país el programa municipal de compostaje se incluye en la normatividad local, misma que esta basada en los instrumentos legales al nivel federal.

1.1.1 Marco normativo federal

La alteración al medio ambiente por parte de los seres humanos ha llevado en los últimos años a la creación

de diversos instrumentos legales que permitan disminuir los impactos negativos que sus actividades provocan. El marco normativo asociado a la protección al ambiente en México, desarrollado durante los últimos 20 años, ha ido modificándose desde la Carta Magna hasta la creación de reglamentos y normas específicas. Para el caso de los RSU, se ha reformado la normatividad nacional con el objeto de incluir esta área del quehacer social como parte del marco del Derecho y, aunque falta mucho aún por desarrollar, ya existen las bases mínimas necesarias para poder elaborar los instrumentos normativos y de política respectivos. Son tres los ordenamientos legales básicos de la federación referentes a los residuos, y sucintamente se describen a continuación.

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos: establece, en su artículo 115, las facultades del municipio libre y, como una de sus funciones, la dotación y administración de los servicios públicos incluido el servicio de limpia.

“Artículo 115.- Los Estados adoptarán, para su régimen interior, la forma de gobierno republicano, representativo, popular, teniendo como base de su división territorial y de su organización política y administrativa, el Municipio Libre, conforme a las bases siguientes:

...

II. Los municipios estarán investidos de personalidad jurídica y manejarán su patrimonio conforme a la ley.

Los ayuntamientos tendrán facultades para aprobar, de acuerdo con las leyes en materia municipal que deberán expedir las legislaturas de los Estados, los bandos de policía y gobierno, los reglamentos, circulares y disposiciones administrativas de observancia general dentro de sus respectivas jurisdicciones, que organicen la administración pública municipal, regulen las materias, procedimientos, funciones y servicios públicos de su competencia y aseguren la participación ciudadana y vecinal.

...

III.- Los Municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos siguientes:

...

c). Limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de residuos.

No existe una ley reglamentaria del artículo 115 constitucional en el ámbito federal, y son las leyes estatales las que regulan los municipios así como la operación de los servicios públicos municipales.

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente: establece que las obras de infraestructura (como son las plantas de compostaje) relacionadas con los RSU¹ estarán sujetas a la normatividad en materia de impacto y riesgo ambiental, de acuerdo a la normatividad vigente de las entidades federativas. También incluye la elaboración de normas para el funcionamiento de lo relacionado con los RSU, y su vigilancia por parte de las entidades federativas.

Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos: establece una clasificación de los residuos en residuos peligrosos (RP), residuos de manejo especial (RME) y residuos sólidos urbanos (RSU). Tiene por objeto “regular la prevención de la generación, el aprovechamiento del valor y la gestión integral de los residuos, prevenir la contaminación de suelos con estos residuos y llevar a cabo su remediación”. Establece nuevos lineamientos y mecanismos mediante los cuales tres niveles de gobierno tienen facultades conjuntas para llegar a la gestión integral de los residuos sólidos.

Esta ley establece el “principio de valorización de los residuos”. Este principio se refiere a efectuar las acciones necesarias para brindar un valor a los residuos y permitir que éstos reingresen a las cadenas productivas, disminuyendo así la cantidad de residuos que se disponen en el medio ambiente natural y, a su vez, los impactos derivados de esta disposición final. Otro aspecto sobresaliente de la ley es que incluye la separación como una actividad necesaria dentro del manejo integral y la definición de los programas a nivel nacional, estatal y municipal para la prevención y gestión integral de los residuos. Sin embargo, esta ley no aborda el compostaje ni otros aspectos específicos de los RSU, ya que se centra principalmente en los RP.

¹ La ley emplea el término residuos sólidos municipales que guarda una relación estrecha con los RSU.

1.1.2 Marco normativo local

Las leyes en materia de medio ambiente y, en particular, sobre los RSU en los gobiernos de los estados, se encuentra en proceso de desarrollo, y ya se han elaborado e instrumentado leyes de protección al ambiente en las 32 entidades federativas, donde se aborda la problemática de los residuos en mayor o menor medida. No en todos los casos estas normas establecen lineamientos específicos para la problemática relacionada con los RSU ni con la composta. Sobresale la labor en cuatro entidades federativas que han publicado recientemente leyes relacionadas con los residuos y la composta.

El Distrito Federal (DF) publicó la Ley de Residuos Sólidos en 2003 que, en su capítulo II del título quinto, establece solo normas generales para la composta. Entre estas, se destaca que el reglamento de esta ley debe identificar las particularidades de los diversos tipos para su donación o comercialización. El programa general de gestión integrada de residuos en esta entidad federativa establece como una estrategia básica el compostaje de los residuos orgánicos el cual tiene como objetivo “Reducir el volumen de residuos orgánicos que llegan a disposición final mediante el fomento de la elaboración de composta y cuya producción sea utilizada como mejorador de suelo en prados, jardines y áreas verdes así como suelo de conservación”. En este mismo instrumento jurídico se destacan las características actuales del compostaje, su relación con el manejo de residuos y se establecen algunas recomendaciones a las delegaciones para la instalación de sus propias plantas. El programa incluye un calendario de actividades así como la estimación de los recursos financieros necesarios para su implementación.

En el año de 2005 se publicó la “Ley de Prevención y Gestión Integral de Residuos del Estado de Querétaro”, la cual incluye un conjunto más detallado de normas sobre la composta. La sección I del capítulo V se dedica exclusivamente a la composta y se centra en promover la elaboración y el mercado, sin descuidar los aspectos regulatorios y de educación dirigidos tanto a autoridades municipales, como a empresas y ciudadanos. El reglamento respectivo señala (artículo 111) criterios generales a considerar en la planta y restricciones al producto final.

La composta que se produzca no deberá contener objetos punzocortantes, ni concentraciones de metales tóxicos que representen un riesgo, por lo cual deberá prepararse a partir de materia orgánica que no haya sido mezclada con otros residuos, y ser lo suficientemente estable como para poder ser almacenada o aplicada a los suelos sin crear molestias, problemas ambientales o peligros para la salud.

La “Ley para la Gestión Integral de Residuos del Estado y los Municipios de Guanajuato” se publicó también en el año 2005 y establece que los lineamientos para la producción de composta se deben incluir en las normas técnicas ambientales que se expidan. También se establece la obligatoriedad de dar cabal cumplimiento a las normas oficiales mexicanas y a las normas técnicas ambientales para todas aquellas personas que realicen procesos de tratamiento de residuos sólidos orgánicos. Por su parte, el estado de Veracruz publicó en 2004 la “Ley de Prevención y Gestión integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial para el Estado de Veracruz” que incluye algunos lineamientos relacionados con la elaboración de composta.

En el Estado de México (EM) se ha publicado el nuevo Código de Biodiversidad² que regula diversos aspectos relacionados con el medio ambiente; uno de sus libros, el cuarto, es la nueva ley de residuos sólidos para dicho estado. Esta normatividad está acorde a la Ley General de Residuos y establece algunos lineamientos básicos para la composta como son el dimensionamiento de la oferta de residuos orgánicos y de la demanda de composta; el desarrollo de guías técnicas, criterios de calidad y medidas para prevenir riesgos; así como la planeación, infraestructura, recursos y difusión de un programa de aprovechamiento de residuos. Un aspecto relevante en este código es la obligación de procesamiento de los residuos biodegradables que impone a las industrias.

El comité estatal de normalización ambiental en el EM, ha desarrollando una norma específica para

2 El nuevo Código de Biodiversidad entrará en vigor en 2007.

mejoradores de suelo³ NTEA-006-SMA-2006. La norma establece los requisitos que deben reunir los sitios en donde se instale una PdC, las necesidades de infraestructura básica, las medidas mínimas de control del proceso, así como las características físicas y químicas indispensables del producto final. En el Cuadro 1 se muestran los requisitos centrales de la norma. Hay que destacar que esta norma admite cualquier biorreacción de los residuos orgánicos, incluyendo el compostaje.

En general, en nuestro país no existe una normatividad específica para la composta, y su fabricación está regulada sólo por la relacionada con el manejo de residuos. Esta deficiencia genera la posibilidad de impactos negativos al ambiente por la producción de composta. La composta de RSU mal elaborada puede causar contaminación del suelo, así como acumulación de sustancias nocivas en las plantas y animales al ser ingeridos. El mal manejo del compostaje puede generar problemas de sanidad a los empleados y las viviendas vecinas; por tal motivo, es necesario impulsar instrumentos normativos como la NTEA-006-SMA-2006, que permitan prevenir la contaminación del medio ambiente que pudiera ocasionarse por la deficiente implementación de un programa municipal de compostaje. Esta norma técnica sólo es obligatoria en el EM y no aplica legalmente al resto del país; sin embargo, puede tomarse como referencia.

1.2 Componentes del programa municipal de compostaje

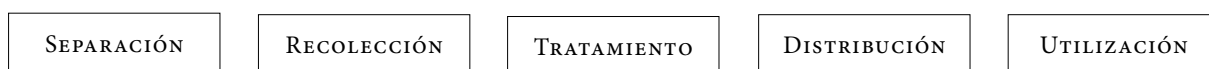
Un programa de compostaje tiene cinco componentes básicos: separación, recolección, tratamiento, distribución y utilización (figura 3). La separación, el tratamiento y la utilización se pueden hacer a

pequeña escala, domiciliaria, o a gran escala, en una operación a nivel municipal. También existe la escala intermedia para edificios departamentales o unidades habitacionales. Cuando se instrumenta una operación a mediana o gran escala, cobran importancia los componentes de recolección (de los residuos a compostar) y la distribución (de la composta).

1.2.1 La separación

Consiste en segregar residuos orgánicos (como restos de alimentos y papel), factibles de descomponerse biológicamente vía un proceso de compostaje, de otros residuos no compostables (como vidrio, metal y plásticos). Entre más cercana al origen de la generación se realice esta separación, más puros (menos contaminados) estarán los residuos y, consecuentemente, mayor será la calidad de la composta terminada. La calidad de los residuos no compostables o inorgánicos recuperados también se verá incrementada por una correcta separación en el origen y esto incrementará las posibilidades de reciclaje de los mismos. 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 del tratamiento (incluyendo productividad de los trabajadores). Al nivel doméstico, esta separación se puede realizar desde la cocina y el jardín, tal y como se explicará en el capítulo de compostaje doméstico. Al nivel municipal, esta separación puede ocurrir en la recolección domiciliaria (con un programa de separación domiciliaria) así como en la recolección de residuos municipales (parques y jardines, mercados, rastros, caballerizas) o de grandes generadores (restaurantes, hoteles, etc.).

FIGURA 3. COMPONENTES BÁSICOS DE UN PROGRAMA MUNICIPAL DE COMPOSTAJE



³ Al cierre de esta edición se publicó la norma mencionada. Véase GEM 2006.

CUADRO 1. ESPECIFICACIÓN QUE SE INCLUYEN EN LA NTEA-006-SMA-2006

Requisitos de los sitios

- ♦ Contar con caminos transitables todo el año
- ♦ Tener espacio suficientemente amplio para todas las operaciones
- ♦ Garantizar la salud y la protección al ambiente
- ♦ No instalar en terrenos inundables
- ♦ Cumplir con la normatividad en materia de desarrollo urbano, impacto ambiental y áreas naturales protegidas, así como con los ordenamientos aplicables.

Infraestructura

- ♦ Contar con cerca en su totalidad
- ♦ Evitar el ingreso de aguas pluviales
- ♦ Contar con instalaciones sanitarias
- ♦ Contar con sistema de captación de lixiviados y caseta de vigilancia en plantas mayores de 5 ton/día.

Control de proceso

- ♦ Verificar la permeabilidad del los lechos para pilas y la laguna de evaporación con al menos una permeabilidad de 1×10^{-5} cm/s; impermeabilizar en su caso
- ♦ Preparar los materiales para permitir una biotransformación aerobia o anaeróbica
- ♦ Controlar la temperatura para la eliminación de patógenos
- ♦ Triturar los residuos verdes, excepto pasto y hojarasca
- ♦ Utilizar bitácora con hojas foliadas
- ♦ Limpiar los recipientes y vehículos
- ♦ Controlar las plagas
- ♦ Programar la limpieza de todas las instalaciones
- ♦ Inspeccionar periódicamente para el control de higiene
- ♦ Mantener en buen estado instalaciones y equipo
- ♦ Mantener la humedad en un intervalo de 70%-40%
- ♦ Reciclar o disponer los rechazos
- ♦ No emplear residuos CRETIB
- ♦ Verificar que el pH óptimo esté entre 6.5 y 8.0 para sustratos orgánicos, excepto lodos
- ♦ Mantener la temperatura mayor a 55° C en el compostaje con pilas estáticas con aireación forzada durante tres días consecutivos
- ♦ Mantener una temperatura mayor de 55° C durante 3 días, o mayor a 45° C durante 12, en el compostaje con pilas con volteos periódicos. Voltear por lo menos cinco veces
- ♦ Registrar la temperatura en reactores cerrados e instalar sistemas que eviten el calentamiento insuficiente
- ♦ Mantener la temperatura por abajo de 70° C

(Continúa)

CUADRO 1. ESPECIFICACIÓN QUE SE INCLUYEN EN EL NTEA-006-SMA-2006 (continúa)

Requisitos físico-químicos y sanitarios

Característica	Límites
pH	6.5-8.0
Materia orgánica	> 15%
Relación carbono-nitrógeno	< 12
Fósforo	> 0.10%
Potasio	> 0.25%
Relación potasio-sodio	> 2.5
Hongos fitopatógenos	ausente
Huevos de helmintos/g en base seca	< 10
Coliformes fecales NMP/g en base seca	< 1000
Salmonella spp/g en base seca	< 3
Plástico película o flexibles. Tamiz ASTM 3.5 (5.6 mm)	< 0.05 % (seco)
Vidrio, metales o plásticos rígidos. Tamiz ASTM 10 (2.00 mm)	< 0.5 % (seco)
Arsénico	< 5.0 ppm
Cadmio	< 1.0 ppm
Cromo hexavalente	< 5.0 ppm
Cobre	< 30.0 ppm
Plomo	< 5.0 ppm
Níquel	< 5.0 ppm
Zinc	< 90.0 ppm

Fuente: adaptado de *Gaceta de Gobierno* del Gobierno del Estado de México 2006.

1.2.2 La recolección

Consiste en el traslado de los residuos separados en diversas fuentes de generación al sitio de tratamiento, sea éste una pila en el jardín o huerto, una compostadora o una planta de composta. 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 operaciones intermedias o grandes, existen muchas fuentes (hogares, establecimientos, etc.); las distancias son mayores y suele requerirse de vehículos para su transportación. A medianas y grandes escalas, la eficiencia de la recolección está íntimamente asociada a una correcta

separación. 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. Debido al mayor número de actores en un programa de gran escala, el control de la calidad en la separación requiere de mayor seguimiento (atención), esto puede lograrse con una efectiva campaña de educación para la separación.

Un nuevo sistema de recolección debe estar diseñado con base en el equipo existente más que en la adquisición de nuevo equipo. El equipo de recolección es una fuerte inversión y ordinariamente no hay recursos suficientes para renovarlos o acondicionarlos. Lo ideal es seleccionar sólo uno o solo algunos vehículos al inicio y, en función de las características de éstos,

elaborar el programa de recolección. Los vehículos pueden ser de dos tipos: aquéllos que cuentan con compartimientos para diferentes fracciones y aquéllos que no los poseen.

Diseño del programa semanal de recolección: se basa en el diseño de rutas de recolección indicando la cantidad de residuos que de cada fracción se genera usualmente, en función de los resultados de un estudio previo de generación. Con base en estos valores se elige un vehículo recolector con la capacidad, el número de compartimientos y el diseño requeridos. Se debe recordar que se generan diferentes cantidades de residuos de cada fracción, y un mal diseño de las rutas podría ocasionar que el vehículo recolector circule con diferentes niveles de llenado en sus compartimientos, produciéndose así un esfuerzo desigual sobre su estructura que genere problemas mecánicos futuros.

Por otra parte, el programa debe ser permanente y con horario o días “fijos” para evitar confusión entre los usuarios del servicio. El empleado del sistema de recolección es el mejor aliado para la implantación de un nuevo sistema, por lo que es deseable su participación en la planeación y el diseño del mismo.

Plan de crecimiento: en un programa municipal de compostaje es conveniente seleccionar en primer lugar los barrios, colonias o comunidades que muestren mayor interés en la separación y compostaje, para aprovechar el entusiasmo existente y así encauzar los esfuerzos necesarios para el arranque del nuevo sistema. Posteriormente, se podrá seleccionar otra comunidad e implementar el sistema, y así sucesivamente. No es necesario que se planee un crecimiento acelerado; será la misma ciudadanía la que defina, con su participación, la rapidez de aceptación del nuevo sistema. También habrá que considerar los recursos del sistema, puesto que la recolección separada es más costosa que la mixta. Esta planeación puede elaborarse anualmente y buscar recursos adicionales de los gobiernos estatales y federal para obtener ese excedente.

1.2.3 El tratamiento

Es el proceso de compostaje en sí. Los ingredientes principales del compostaje son nitrógeno, carbono, oxígeno y agua. Estos factores proveen el ambiente

idóneo para la actividad microbiana de degradación de la materia orgánica. A través del control y el monitoreo de los cuatro factores mencionados, se puede favorecer, e incluso acelerar, el proceso de degradación. Los diversos grados de control llevan a varias técnicas de compostaje. Al nivel domiciliario, por ejemplo, existen el compostaje lento y el rápido, que se describen en el capítulo de compostaje domiciliario. A mayores escalas, el compostaje se puede realizar en pilas, tanques o naves cerradas. La forma más empleada es mediante pilas ya que no requiere más que el acondicionamiento del terreno. Esta estructura es muy versátil y permite adecuar el proceso según las necesidades del clima, la materia prima o los recursos económicos disponibles. En contraste las naves cerradas aíslan el proceso de los efectos del clima, permiten mayor control del proceso y también permite un diseño versátil. Dentro de un tanque, el control del proceso es más estricto y se circunscribe a los parámetros de diseño, por lo que disminuye la variabilidad del proceso. Esta forma de producción es mucho más elaborada y con un costo inicial más elevado, sin embargo, los costos unitarios del producto final son más bajos y la calidad del producto final puede ser altamente controlada. En el capítulo 3 se brindan mayores detalles de estas técnicas para compostar. Además de nitrógeno, carbono, oxígeno y agua, existen otros factores que son muy útiles para monitorear este proceso de compostaje; estos incluyen la temperatura, la microbiota, el tamaño de partícula y el pH.

En cuanto a los factores críticos, **el carbono y el nitrógeno** son dos elementos esenciales para la nutrición de cualquier organismo vivo, y deben encontrarse en proporciones adecuadas para un buen compostaje. Los microorganismos de una composta utilizan el carbono para conseguir energía, y el nitrógeno para la síntesis de proteínas. El parámetro que mide esta proporción se llama relación “carbono/nitrógeno” (C/N), y los valores ideales de esta relación C/N para un buen compostaje se encuentran entre 25 y 35 (esto es, 25 de C por uno de N y 35 de C por uno de N). Si el material de partida contiene demasiado carbono, la relación será muy alta y el proceso será lento, las temperaturas no subirán suficientemente y se perderá el exceso de carbono en forma de dióxido de carbono. Si, por el contrario, el material contiene demasiado

nitrógeno, la relación es baja y se producirán pérdidas de este elemento en forma de amoníaco (NH_3). Así pues, cuando los materiales de origen tienen una relación C/N más alta, deben añadirse materiales ricos en nitrógeno, como estiércol y lodos de plantas de tratamiento de aguas (libres de contaminantes tóxicos). Cuando la relación es más baja, habrá que compensar la mezcla, añadiendo componentes ricos en carbono, como paja y desperdicios de papel, por ejemplo. En el anexo B se presenta un cuadro para estimar esta relación y formular el material a compostar. La materia orgánica de los RSU generalmente tiene una adecuada relación C/N y por sí sola puede compostar. Durante el proceso de compostaje se producen pérdidas de carbono en forma de CO_2 , por lo que la relación C/N irá disminuyendo hasta alcanzar un valor entre 12 y 8 en el producto final, valor que también depende del material de partida. Si el valor final de C/N es inferior, indica que la composta se ha mineralizado excesivamente y, si es muy alto, puede indicar que no se ha descompuesto suficientemente. La estabilidad de este valor es un buen indicio de que la degradación ha finalizado y la composta ha madurado.

El **oxígeno** es elemento esencial para la descomposición aerobia y la supervivencia de la microbiota de la composta. Cuando falta oxígeno en la mezcla, mueren los organismos aeróbicos y comienza una descomposición anaerobia (que es más lenta y despiden olor desagradable). Para asegurar la suficiencia de oxígeno, es necesario airear la mezcla. Esto se puede lograr de varias maneras: incluyendo en la pila partículas de diferentes tamaños que generan bolsas o túneles de aire (aireación natural), volteando o revolviendo las pilas (aireación manual o mecánica), o introduciendo tubería a la mezcla, a través de la cual se puede forzar el aire (aireación forzada). El método de aireación natural se basa en la diferencia de temperatura entre el interior del material que está compostándose y el ambiente, lo cual produce un flujo de aire y la formación de microtúneles; este método no requiere de manipulación frecuente. El método de aireación forzada requiere de una fuente externa de energía.

La aireación debe balancearse con el mantenimiento de la **humedad**, ya que el agua es otro elemento esencial para la supervivencia de los microorganismos que participan en el compostaje y el exceso de

aire puede secar la mezcla. La humedad óptima del proceso de compostaje es del 50% que al finalizar el proceso se reducirá hasta un 30 ó 40%. La falta de humedad provocará una sensible disminución de la actividad microbiana, por lo que se paralizará la degradación y bajará la temperatura. Un exceso de humedad también tiene consecuencias negativas, pues dificulta la circulación del oxígeno y puede provocar la descomposición anaerobia de la mezcla. En una operación de compostaje, sea ésta a gran o pequeña escala, debe haber un monitoreo de la humedad. Si hay exceso de humedad, se puede airear la mezcla o agregar elementos secos como paja y desperdicio de papel que absorban la humedad. Si falta humedad, se puede regar la mezcla o taponarla con plástico para reducir la evaporación del agua.

Las operaciones centrales del compostaje son la degradación, la pasteurización y la maduración; éstas pueden identificarse por la **temperatura** de la mezcla. Al inicio, la temperatura se eleva rápidamente hasta alcanzar una fase termofílica (temperaturas superiores a los 50°C). Cuando la degradación termofílica termina, se obtiene la composta inmadura. Ésta todavía tiene que ser degradada lentamente y a temperatura ambiente, proceso que se conoce como “maduración”. La pasteurización se lleva a cabo durante la fase termofílica y consiste en dos etapas. En la primera se incrementa la temperatura de los materiales a cerca de 35°C para favorecer la germinación de semillas y esporas. En la segunda, se eleva a 55°C y se mantiene el material a esa temperatura durante varios días, hasta que se presenta la fase de la muerte de los microorganismos termofílicos. Cuando la temperatura baja después de la pasteurización, sólo se desarrollarán los microorganismos que estén presentes en el suelo natural. La pasteurización es necesaria para eliminar los patógenos de plantas, animales y humanos.

En el proceso de compostaje unos **microorganismos** van sustituyendo a otros. La riqueza en microbiota favorable para las tierras y, a la par, la ausencia de los patógenos determinan la buena calidad biológica de la composta. Si en la degradación se han alcanzado las temperaturas deseadas, la masa se habrá pasteurizado y se habrán eliminado los microorganismos patógenos para las personas, animales y plantas. Una temperatura homogénea y continua de 55°C durante tres o cuatro

días resulta suficiente para eliminar los gérmenes patógenos. Si existe la humedad suficiente, las semillas que pudieran contener los residuos germinarán y morirán al incrementarse la temperatura.

Es importante el **tamaño de las partículas** del material de partida. Aunque no es estrictamente necesario, es conveniente moler la materia orgánica de los RSU. Es preciso vigilar el grado de trituración, puesto que las partículas de tamaño pequeño proporcionan mayor superficie de acceso de los microorganismos y, por lo tanto, permiten degradaciones más rápidas y homogéneas. Sin embargo, si el tamaño es excesivamente pequeño pueden originarse problemas de compactación excesiva que impedirán el proceso de aireación necesario.

El **pH** tiende a ser una medida que indica cómo avanza el proceso; en un inicio su descenso hasta 6.5 indica un proceso normal. Conforme el tiempo transcurre se estabiliza el valor entre 7 y 8, lo que permite la degradación y la maduración. Un valor superior a 8 provoca pérdidas de nitrógeno en forma de amoníaco.

1.2.4 La distribución y la utilización

La distribución es el traslado de la composta producida a los sitios en donde se va a utilizar. En operaciones a pequeña escala, no requiere de mayor planeación ni equipo, pues 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 la composta 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 es uno de los componentes fundamentales de un programa de compostaje. Si la composta no se utiliza, no se completa el ciclo para el cual se instrumentó el programa y se pierden los beneficios de mejoramiento de suelo que ofrece el producto. En los casos de mediana y gran escala de producción de composta, el no utilizarla puede detener la operación de la planta si se acumula excesivamente la composta

en el predio y ya no hay espacio para recibir materia prima nueva ni para almacenar más producción de composta. Varias plantas de compostaje en México han dejado de operar por esta razón en particular. Para asegurar la utilización de la composta producida es necesario identificar antes de la instrumentación del programa a los posibles usuarios, así como los mecanismos de entrega. Los usuarios pueden incluir, entre otros, a las áreas encargadas de parques y jardines del municipio (incluyendo aplicación en camellones), instituciones y empresas que cuenten con grandes extensiones de áreas verdes, agricultores de la región y público en general. En muchos casos será necesaria una estrategia de difusión y educación sobre los usos y la aplicación de la composta (ver anexo C), así como una evaluación de las necesidades de los usuarios en cuanto a calidad, cribado, formato y frecuencia de entrega de la misma. También pudieran ser importantes los incentivos y facilidades. La composta producida puede ser entregada gratuitamente, o bien, comercializada. Para su venta será importante mantener un alto control de la calidad del producto, y habrá que identificar o desarrollar los mecanismos financiero-administrativos adecuados. Existen algunas plantas de compostaje en México que no pueden vender su producto debido a restricciones en los procesos administrativos e institucionales. Para el caso de la venta de la composta producida, será necesario un estudio de mercado para determinar los precios y los mecanismos para su comercialización.

1.3 Procesos articuladores del programa municipal de compostaje

Los componentes de un programa municipal de compostaje antes descritos se articulan a través de varios procesos que deben instrumentarse en paralelo y de forma coordinada; así mismo es necesario prever presupuesto y personal para cada proceso. La planeación, el financiamiento y la evaluación se incluyen en el rubro general de la administración; la difusión, el involucramiento de actores y la capacitación se incluyen en el rubro de educación y participación pública. El desarrollo y el crecimiento del programa tienen que ser paulatinos y deben sincronizarse con las necesidades de la sociedad.

1.3.1 Educación y participación pública

En cuanto a educación y participación pública, se deberá tener en cuenta que comenzar a producir composta, o incluso el separar residuos orgánicos, implica un cambio de hábitos, de organización y de procesos de las personas o las instituciones. En ese sentido, y como cualquier cambio de hábitos, puede generar resistencia. Por esto, es muy importante desarrollar una efectiva campaña de difusión y capacitación dirigida a todos los participantes del programa (desde el servicio de recolección y limpia hasta los participantes públicos y privados, individuales e institucionales). Dentro de esa campaña será importante resaltar y demostrar que la producción de composta representa un beneficio social, ambiental y económico. También puede ser útil ofrecer incentivos a los participantes, para que perciban los beneficios directamente. Estos incentivos pueden incluir educación ambiental, incentivos económicos o regulatorios, premios y reconocimientos al mérito, entre otros tipos de estímulos.

Otra manera de fortalecer un programa municipal de compostaje es involucrando a los actores en el diagnóstico de la problemática de los residuos sólidos y en la propuesta e instrumentación de su solución. Esto es, aplicar la estrategia de planeación participativa y lograr que otros actores, además de los promotores principales del programa, se apropien del mismo y lo tomen como objetivo propio, el ver instrumentado y aplicado un programa exitoso.

La capacitación del personal de limpia y recolección y de los usuarios es condición indispensable para lograr un programa de compostaje municipal exitoso. La capacitación puede ser sencilla, pero debe ser continua para afianzar conocimientos, entrenar a nuevos participantes y resolver las dudas que surjan durante la práctica de separación o el compostaje. Es necesario tener en cuenta que un cambio de hábitos tarda en consolidarse. En el capítulo de compostaje doméstico se dan más detalles sobre la capacitación de los usuarios.

1.3.2 Administración

En lo referente a los aspectos administrativos, es esencial realizar una buena planeación antes de arrancar

un programa de compostaje municipal. Para esto, es necesario prever financiamiento, la infraestructura y el personal requerido tanto para la producción de la composta como para el desarrollo de estrategias de distribución y utilización de la misma. Asimismo, hay que contar con presupuesto, infraestructura, materiales y personal para la capacitación y seguimiento del programa. El seguimiento incluye la atención a problemas, la provisión de insumos, la asesoría en la utilización de la composta, el apoyo institucional y el reconocimiento a los esfuerzos de los participantes. La continuidad del programa es muy importante, por lo que es necesario hacer las previsiones institucionales, económicas y administrativas requeridas para asegurarla. Finalmente, es recomendable hacer pruebas de las técnicas de compostaje que se desean instrumentar, para garantizar su efectividad bajo las condiciones climáticas, de infraestructura, organizativas y de composición de residuos locales. En el capítulo de plantas de compostaje se proporcionan más detalles sobre la administración, que se pueden aplicar tanto a una PdC como a la totalidad del programa municipal de compostaje.

1.3.3 Desarrollo y crecimiento

Cuando no existe experiencia de compostaje en un municipio, se sugiere comenzar el programa con los residuos más sencillos y con pocos actores involucrados en el proceso. A partir de ahí, se puede ampliar el programa paulatinamente, asegurando el correcto funcionamiento de la planta y monitoreando siempre al grado de la participación de la ciudadanía, la calidad de la separación de los residuos y la calidad de la composta.

Al nivel municipal, lo más sencillo es comenzar por compostar los residuos orgánicos generados por la misma administración municipal. De éstos, los más comúnmente compostados son las podas de parques y jardines, pues son residuos de gran volumen, fácilmente procesables, que no generan malos olores ni liberan grandes cantidades de agua durante su almacenamiento y transporte. Siguen en facilidad para su compostaje los restos de alimentos; éstos se pueden obtener fácilmente en grandes volúmenes de los mercados municipales y de otros grandes gene-

radores tanto públicos como privados (incluyendo supermercados, restaurantes, comedores, hoteles, albergues). Otras fuentes de grandes volúmenes de residuos orgánicos son los rastros y las plantas de tratamiento de aguas residuales. Para estos tipos de residuos es importante contar con operaciones de compostaje que logren una pasteurización efectiva de los mismos. Y, en el caso de los lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales, es importante someterlas a análisis de contaminantes tóxicos, antes de aceptarlas en la PdC. Para todos los tipos de residuos a compostar, es necesario capacitar en la adecuada separación tanto al personal de recolección como a los generadores, y mantener un programa de educación continua para ambos. La experiencia ha demostrado que entre más actores se involucren, más compleja será la operación del programa por las necesidades de capacitación, del control de calidad de la separación y del seguimiento requeridos para el buen funcionamiento del proceso. Por esta razón, se sugiere comenzar con pocos actores e ir ampliando el programa en la medida en que éste se vaya consolidando en todos sus componentes. En este sentido se recomienda incorporar la recolección domiciliaria de orgánicos sólo cuando se encuentre asegurado el óptimo funcionamiento de la planta, previstos los usos que se dará a la composta producida,

y que esté operando adecuadamente el programa de comunicación social y capacitación a los generadores domiciliarios. Finalmente, un programa municipal de compostaje domiciliario debe instrumentarse sólo cuando se encuentre asegurada la estrategia de capacitación y de acompañamiento cercano a los esfuerzos que se harán en cada domicilio.

El crecimiento del programa deberá llevarse a cabo también en forma paulatina, ya que un crecimiento repentino puede rebasar las capacidades instaladas y crear un efecto negativo en el desarrollo del programa. Si no se cuenta con la infraestructura necesaria para ampliar el programa, hay que evitar su promoción fuera de los límites cubiertos. No siempre es posible atender al 100% de la ciudadanía y ésta, a su vez, no está siempre comprometida al 100% con el programa. Estos hechos pueden ser un punto de oportunidad si se sincronizan, o un punto crítico si no se toman en cuenta. El crecimiento no solo estará limitado por los recursos y el compromiso social, sino también por el mercado; la acumulación de composta en la planta no es una situación que se pueda sostener durante mucho tiempo. Una posible solución es disponer la composta en suelos degradados, como lo son aquellos que se encuentran en los sitios de disposición final, generalmente operados por los gobiernos municipales.

Producción de composta doméstica

2

La valorización de los residuos orgánicos (residuos de comida, poda y jardín, etc.) se alcanza cuando el residuo es procesado y transformado en un nuevo producto, como puede ser la composta. En cada una de las viviendas es posible llevar a cabo este proceso; sin embargo, requiere de la modificación de algunos hábitos personales y colectivos de las personas que ahí habitan. La producción de composta doméstica ofrece los siguientes beneficios a los municipios:

- ♦ Beneficios económicos: estos se obtienen durante la recolección, el transporte y el manejo de los residuos. Puesto que casi la mitad de los residuos generados en los domicilios son de tipo orgánico, los ahorros en la recolección pueden ser importantes; en efecto, los camiones recolectores pueden incrementar su capacidad de recolección en una misma ruta. De igual forma, la vida útil del sitio de disposición final se puede prolongar en forma importante.
- ♦ Beneficios ambientales: el hecho de prolongar la vida útil del sitio de disposición final reduce la presión para encontrar un nuevo sitio adecuado para disposición, además de disminuir posibles fuentes de conflictos debido a intereses distintos en los usos futuros del suelo. Por otro lado, los residuos orgánicos, que poseen un alto grado de humedad, son los principales generadores de lixiviados dentro de un relleno sanitario. El mezclado de residuos orgánicos húmedos con RP, (baterías, químicos) puede causar un lixiviado muy tóxico. Sin un tratamiento adecuado, difícilmente viable de aplicar con los montos de los presupuestos municipales, el lixiviado puede contaminar el manto freático o el suelo, con futuras consecuencias negativas en la salud y el medio ambiente. Finalmente, el compostaje permite aportar nutrientes y proporcionar estructura al suelo, mejorando sus características (calidad, permeabilidad, retención, etc.).
- ♦ Beneficios sociales: implementar un programa de compostaje doméstico puede mejorar la imagen política de la municipalidad y de su administración, ya que los problemas ambientales tienen una gran importancia desde la perspectiva pública. Así mismo, ofrece a la ciudadanía una oportunidad de participar en una actividad de protección ambiental.

En esta sección se explican los cuatro elementos principales del proceso de compostaje doméstico; los primeros tres, están orientados hacia quien realiza la composta doméstica. El último se orienta a quienes promueven el compostaje domiciliario. Se ha incluido en el anexo A un folleto de compostaje doméstico, que en sólo dos páginas muestra un resumen de este capítulo.

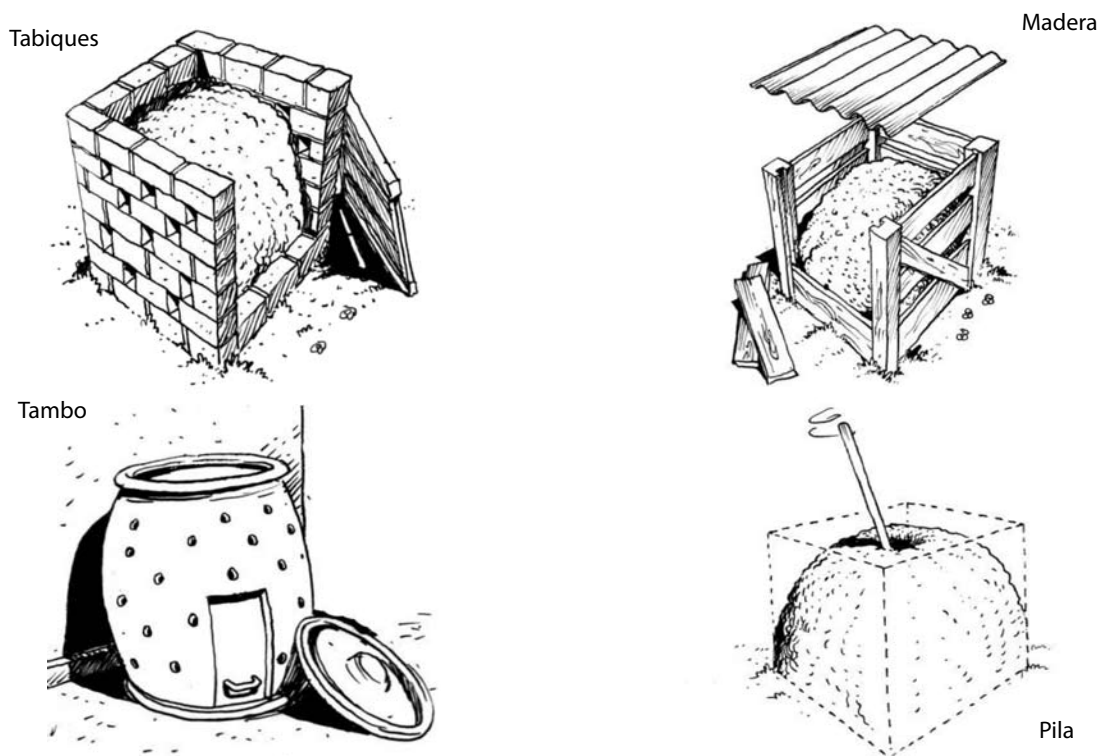
2.1 La compostadora

Hacer composta doméstica requiere de un espacio, ya sea en un patio, jardín, balcón, azotea, terraza o huerto. El área necesaria varía según la cantidad de residuos biodegradables que se pretenda compostar; el espacio mínimo es un metro cuadrado. El acceso al lugar del compostaje debe ser fácil, y también es recomendable que el lugar elegido sea discreto y localizado a cierta distancia del hogar y de vecinos; esto con el fin de evitar problemas en los casos de un deficiente procesamiento de la composta que genere malos olores o atraiga fauna indeseable, lo que puede ocurrir particularmente durante la etapa de aprendizaje del proceso. Idealmente, el lugar adoptado debe ser protegido de los elementos naturales. Por ejemplo, una excesiva exposición al sol o al viento puede secar la composta y, por otro lado, el viento y el frío pueden disminuir severamente la temperatura. También la lluvia excesiva puede influir negativamente en el proceso de compostaje.

El compostaje doméstico puede realizarse principalmente de dos maneras: en pila o en compostadora. Una compostadora es un recipiente específicamente diseñado para elaborar composta, dentro del cual se ponen los residuos orgánicos. La compostadora permite elaborar composta en cantidades moderadas dentro del hogar. El proceso en pilas es más recomendable para áreas rurales y para producir mayores cantidades. La elección del sistema de compostaje depende de la disponibilidad de recursos para elaborar la composta, la estética del proceso, el volumen a compostar, así como del tiempo disponible para su elaboración y el compostaje en sí mismo. En la figura 4 y el cuadro 2 se muestran diferentes sistemas de compostaje indicando los espacios requeridos, así como los costos relativos.

La mejor compostadora es aquella que resuelve las necesidades de quien elabora la composta doméstica y le ayuda a disminuir la carga de trabajo asociada a este proceso. Un sistema complicado puede ser más eficiente que uno sencillo; sin embargo, si el aprendizaje inherente toma más tiempo puede desalentar el compostaje doméstico.

FIGURA 4. ALGUNOS EJEMPLOS DE SISTEMAS DOMÉSTICOS DE COMPOSTAJE



CUADRO 2. CARACTERÍSTICAS DE SISTEMAS DOMÉSTICOS DE COMPOSTAJE

Sistema	Espacio (m ²)	Volumen (L)	Costo
Tambo	1	100 – 200	++
Columna de cajas para fruta	1	50 – 1,000	+
Comercial (prefabricado)	1	100 – 500	++++
Cajón de madera	1 – 2.5	500 – 1,000	++
Tela de alambre	1 – 2.5	500 – 1,000	++
Tabiques	4 – 6	1,000 – 6,000	+++
Trinchera (zanja)	1 - 20	500 – 10,000	++
Cajones múltiples	5 – 10	2,000 – 10,000	++++
Jardinera	5 – 20	5,000 – 20,000	++++
Pila	1 – 40	300 – 40,000	+

La única herramienta indispensable para el compostaje doméstico es un implemento que permita realizar la mezcla dentro de la compostadora. Éste puede ser una simple pala (tipo zapador) de pequeño o mediano tamaño. También se puede emplear un palo simple o uno con un travesaño que permita realizar la mezcla; el travesaño debe ser pequeño, de lo contrario será difícil moverlo manualmente. Además del implemento mezclador, otras herramientas que se pueden utilizar durante la producción de composta doméstica se muestran el cuadro 3.

2.2 Selección de los residuos para el compostaje

El compostaje requiere de cuatro elementos básicos: residuos “verdes” (con alto contenido de nitrógeno), residuos “café” (con alto contenido de carbono), agua y aire (oxígeno). En la casa, los residuos verdes provienen principalmente de la cocina (residuos de alimentos) y los residuos café son básicamente plantas secas (puede incluirse papel cortado en tiras delgadas).

CUADRO 3. HERRAMIENTAS ÚTILES PARA EL COMPOSTAJE DOMÉSTICO

Herramienta	Uso
Palo mezclador	Mezclar (palo de 1.5 m simple o con mezclador horizontal de 2.5 x 15 cm)
Pala	Mezclar, voltear la composta
Tamiz/criba	Separar la composta madura de desechos gruesos al finalizar el proceso
Regadera/manguera	Regar el material cuando esté seco
Guantes	Manipular los desechos y herramientas durante los volteos
Recipiente pequeño	Juntar residuos de la cocina y traerlos a la compostadora
Cesto, carretilla	Recoger residuos del jardín o huerto
Tijeras de podar	Cortar las podas y ramas en trozos más fácilmente compostables
Termómetro de bayoneta	Ayudar en el control del proceso midiendo la temperatura de la pila
Trituradora de pequeñas dimensiones	Cortar las podas y ramas para que sean más homogéneas o para disminuir su volumen si se encuentran en grandes proporciones.

El carbón y el nitrógeno son dos elementos principales presentes en la materia orgánica, y la cantidad contenida en los residuos suele ser diferente. Esto es muy importante para el proceso, ya que demasiado carbón hace lento el proceso y, por el contrario, un exceso de nitrógeno origina malos olores y genera una mezcla viscosa. Para separar los materiales según esta cualidad, es bueno saber que, por lo general, el material rico en nitrógeno es húmedo y de color verde, como lo es el pasto recién cortado; así mismo, los materiales café y secos por lo general tienen mayor cantidad de carbono. En el cuadro 4 se muestra una clasificación

de los residuos según su aptitud para el compostaje. El compostaje de una gran cantidad de residuos requiere de una formulación adecuada. Un sistema que ayuda en esta formulación se muestra en el anexo B.

La selección y el almacenamiento de residuos deben llevarse a cabo diariamente. Para facilitar la recolección de residuos, se aconseja disponer de un recipiente pequeño en la cocina (que es la fuente de producción de residuos más importante), en el cual se verterán conforme se van generando. De esta manera, no será necesario ir a la compostadora para colocar los residuos cada vez que éstos sean generados.

CUADRO 4. CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS PARA EL COMPOSTAJE DOMÉSTICO

	Residuo	Observaciones
Cafés	Aserrín, virutas de madera	No usar si proviene de madera tratada con productos químicos
	Hojas perennes (no se caen en el otoño)	Es mejor añadirlas picadas
	Hojas secas	Se recogen en otoño para utilizarlas todo el año
	Paja y heno	Picar y mojar. Favorecen la aireación
	Pasto cortado y seco	Cuando es necesario material café, se puede secar al sol el pasto recién cortado
	Podas de árboles	Ayudan a la aireación. Deben ser cortadas en astillas menores a de cm.
Verdes	Cítricos	Se requiere de buena aireación
	Estiércol de animales herbívoros	Muy útil si se requiere de materiales verdes
	Frutas, verduras, residuos de comida	Picar en trozos pequeños, principalmente las cáscaras
	Hojas y bolsas de té	Esparcir dentro de la mezcla
	Maleza verde	Pasteurizarla al sol dentro de una bolsa negra durante 7 a 10 días para eliminar semillas
Pequeñas cantidades	Pasto verde	Mezclar con materiales secos. No usar si tiene pesticidas.
	Aceites, grasas y productos lácteos	Al podrirse generan malos olores
	Carne, hueso, pescado	Generan malos olores y atraen roedores y moscas
	Papel sin tinta	Se degrada lentamente; cortar en tiras
Riesgo sanitario	Excremento de animales carnívoros y humano	Contienen microorganismos peligrosos para la salud
	Plantas enfermas	La composta resultante puede seguir infectada
	Malezas y plantas persistentes	Las plantas con raíces persistentes y malezas con semillas son muy difíciles de pasteurizar

Fuente: Adaptado de CONAMA 2003.

Los residuos de jardín pueden almacenarse a un costado de la compostadora e irse adicionando diariamente. Los residuos de jardín normalmente se generan un día a la semana o al mes, y en gran cantidad; por tal motivo se debe contar con espacio suficiente para almacenarlos mientras se agregan a la compostadora. El almacenamiento puede ser sobre el suelo o en un cajón de paredes bajas; no es recomendable almacenarlos en un bote o recipiente cerrado pues tienden a fermentarse y generar malos olores.

Los residuos orgánicos poseen características diferentes que los hacen más o menos aptos para el compostaje doméstico. En principio, todos los residuos orgánicos se pueden compostar aunque, debido a las diferentes velocidades de degradación, algunos (lácteos, carne y pescado) deberían evitarse al nivel domiciliario, para evitar complicaciones en el proceso, o la atracción de fauna nociva. Estos residuos se pueden adicionar en el proceso de compostaje, en pequeñas cantidades. Su inclusión debe ser limitada, para observar los efectos que genera en el proceso; si el proceso muestra alteraciones o problemas en su operación, será necesario que el usuario se remita a la solución de problemas incluida en este mismo capítulo.

Un tipo de residuos que no se deben agregar al compostaje doméstico por razones de sanidad son aquellos que transportan organismos indeseables, tales como malezas, plantas enfermas, excrementos de animales carnívoros o excreta humana. Este tipo de residuos sí

son compostables, pero sólo en operaciones donde se alcancen altas temperaturas durante varios días para pasteurizar la composta, y donde se analice en laboratorio la calidad sanitaria de la composta producida. En general, en el compostaje doméstico no deberán incluirse.

2.3 Proceso de fabricación de composta doméstica

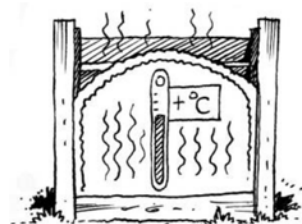
El proceso de fabricación de composta es similar al de las plantas de compostaje, y puede dividirse en cuatro etapas: la selección de los desechos, su preparación, la biorreacción, y el acondicionamiento final de la composta. Al nivel doméstico, el proceso puede dividirse en dos tipos, de acuerdo con la velocidad de degradación de los residuos. Para el tipo "lento" no se requiere invertir mucho trabajo, pero la composta tardará en producirse hasta 12 meses; en el tipo "rápido" se requiere de mayor esfuerzo, y la composta puede estar lista antes de dos meses. A continuación se presentan los métodos para la preparación de ambos tipos de composta.

2.3.1 Compostaje doméstico "lento"

El recipiente que se utiliza para este tipo de compostaje se va llenado en forma continua. Este material se mezcla con el más reciente y solo en pocas ocasiones se agita todo el material dentro del recipiente. Esta forma requiere menos esfuerzo que el compostaje rápido.

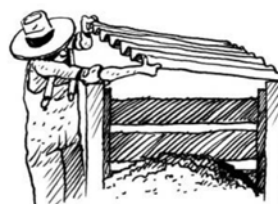
El primer paso consiste en depositar los materiales verdes y café alternados por capas. En la medida que se vaya generando se pueden cubrir las capas verdes con puños de tierra, composta madura o material café, para evitar olores desagradables. Los restos de cocina pueden ser añadidos haciendo un hoyo en la mezcla, revolviendo y ocultándolos en la misma.

El siguiente paso es cuidar la humedad y el volteo. Si bien no es necesario mezclar los materiales constantemente sí es necesario vigilarlos para evitar alteraciones en el proceso. La mezcla se puede hacer con un palo simple o con mezclador, una o dos veces al mes. En época seca hay que vigilar con mayor cuidado la humedad y, si es necesario, agregar un poco de agua.



(Continúa)

La temperatura en el interior de la mezcla aumentará, lo cual se puede apreciar a 10 ó 15 centímetros de la superficie. Es necesario vigilar que la temperatura sea elevada (55° C) y en su caso proteger el proceso del frío y la lluvia excesivos. Para esto, se puede cubrir la pila de composta con plástico u otro material que retenga el calor.



El proceso puede tardar entre 6 y 12 meses, dependiendo de la frecuencia de mezclado, la eficiencia de éste, el clima y los residuos depositados. En el cuadro 5 se describen los principales indicadores que determinan la finalización del proceso.



2.3.2 Compostaje doméstico "rápido"

Esta forma de compostaje doméstico se lleva a cabo ocupando la totalidad del volumen del recipiente, por lo que se puede emplear la pila, la trinchera, la jardinera o múltiples cajones. También es útil para la estación lluviosa, en la que se puede acumular gran cantidad de residuos, o después de una gran reunión, donde se hayan generado muchos residuos.

2.3.3 Factores importantes en el compostaje doméstico

Algunos elementos durante el proceso son críticos para la obtención de una composta doméstica con calidad y para evitar problemas durante su fabricación. Estos elementos son la temperatura, la humedad, los microorganismos y el clima. Anteriormente se habían mencionado ya estos aspectos, sin embargo, es necesario puntualizar sobre los mismos.

El picado de los residuos acelera la degradación de éstos, por lo que es deseable que se efectúe; sin embargo, esto puede aumentar en gran medida el trabajo de preparación para la persona que produce la composta doméstica.



Los residuos verdes y cafés deben colocarse en capas lo más delgadas posible para facilitar la mezcla. Es recomendable que las capas superiores y laterales sean de residuos cafés.

Cuando se llene la compostadora se debe realizar una buena mezcla. Si el material está muy seco es necesario agregar agua, sin que ésta escurra. Una vez hecha la mezcla, ya no será posible introducir más residuos porque se reduciría la velocidad del proceso.



(Continúa)

Debido a la degradación, la mezcla comenzará a calentarse a las pocas horas hasta alcanzar temperaturas de entre 60 y 70 ° C en el centro. También se podrá observar vapor saliendo y, con el paso del tiempo, una pequeña capa grisácea brillante de hongos en la superficie. La alta temperatura indica un buen compostaje, y es necesario vigilar que se mantenga constante.



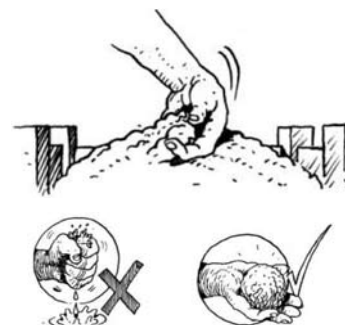
La pila debe ser mezclada dos veces por semana, desmenuzando el material apelotonado y moviendo el material desde el exterior al centro. Si fuera necesario, se añade agua o se cuida del frío extremo. La lluvia no debe inundar la compostadora.



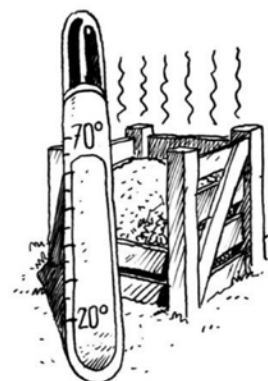
El proceso termina a las seis u ocho semanas, cuando la temperatura ya no aumenta y el material presenta las características de un composta inmadura, descritas más adelante.

FACTORES IMPORTANTES DEL COMPOSTAJE DOMÉSTICO

Humedad. Para medir la humedad, coloque en la mano un puñado del material que se encuentra hacia el centro de la pila y apriete. La humedad es adecuada si es posible formar una pelota del material sin que éste gotee, y que tenga la textura de una esponja húmeda. Si está muy mojada la mezcla, agregue un poco de material café. Si está seca, puede agregar agua o material verde.

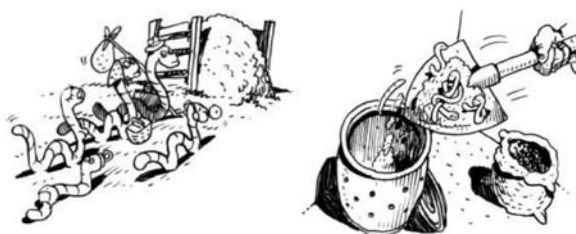


Temperatura. Dependiendo de los materiales y la frecuencia del mezclado, la temperatura aumentará por acción de los microorganismos. Esta temperatura puede percibirse con la mano o con ayuda de un termómetro de bayoneta. Cuando la temperatura se eleva sobre los 50° C, se acelera el proceso y se pasteuriza la futura composta, eliminando patógenos y semillas. Cada vez que se mezcle habrá un descenso de la temperatura, pero ésta volverá a subir en cuanto la pila se re-estabilice. Si el volteo se hace más de dos veces a la semana, es posible que no se alcance la temperatura necesaria para el proceso. Un indicador de que la composta está casi lista, es el descenso de la temperatura, sin importar la frecuencia de volteo.

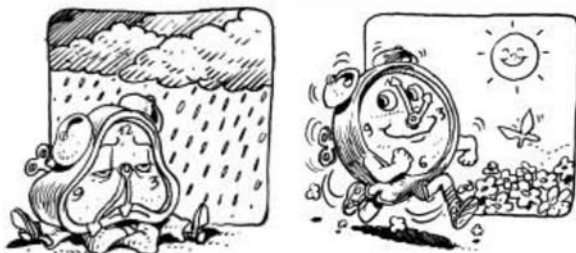


(Continúa)

Organismos. Si la compostadora se encuentra directamente sobre el suelo, los organismos se mudarán hacia la mezcla sin ayuda y en el momento que sea necesario. Compostar directamente sobre el suelo favorece el proceso y beneficia el suelo, si no se hace a gran escala. Utilizar una compostadora de trinchera (zanja) o jardinera puede ser el inicio de un bello jardín. Si éste no es el caso, es necesario utilizar composta anterior para “sembrar” los organismos o adicionar humus o tierra negra a la mezcla.



Clima. La lluvia y frío en exceso afectan el proceso. No se puede aislar la compostadora del ambiente porque también necesita el calor del sol y oxígeno del aire fresco; sin embargo, hay que protegerla. La mejor época para iniciar un compostaje doméstico es en primavera o verano. Durante las épocas frías, la velocidad del proceso disminuirá naturalmente, y volverá a acelerarse cuando regrese el calor.



2.3.4 Maduración y cosecha de la composta doméstica

La duración exacta del proceso de compostaje depende de muchos factores, y por eso es difícil medirla con precisión. Las condiciones climáticas, la frecuencia del mezclado, así como el tipo de materiales incorporados, influyen en la duración del proceso. Un indicador de que el proceso está por finalizar es el descenso de la temperatura y su estabilización casi a la temperatura ambiente. En este momento comienza la fase de maduración de la composta doméstica. Esta fase puede durar hasta la misma cantidad de tiempo que se llevó la primera y también depende de muchos factores. Si la mezcla ha sido invadida por lombrices de tierra, el producto final es mejor y el tiempo de maduración mayor. La maduración se realiza en la compostadora o la composta se puede extraer de ésta y depositarla en el suelo o en una trinchera. No es recomendable mezclar la composta inmadura con el suelo o adicionarlo a las plantas, ya que podría dañarlos. Al principio, puede parecer difícil saber cuándo

está madura la composta y lista para usarse. El cuadro 5 es una guía para conocer cuándo está a punto.

Opcionalmente se puede cribar (cernir o tamizar) la composta con el fin de eliminar algunos restos que se degraden muy lentamente (como huesos, ramas, etc). El cribado del material depende mucho del uso que se vaya a dar a la composta. Se recomienda que el tamiz tenga 10 mm de abertura. Los materiales rechazados durante el cribado dentro del proceso pueden ser reincorporados en un nuevo proceso de compostaje (una nueva pila).

Si es grande la cantidad de composta, o la estación del año no permite utilizarla inmediatamente, se puede almacenar en sacos de 5 a 50 kg. Una composta madura se puede almacenar durante varios meses, incluso años, sin que se altere su composición y estructura. El almacenaje tiene que hacerse de forma tal que las semillas “viajeras” no puedan germinar en él. Si se va a almacenar durante largo tiempo o a transportar, es recomendable secarlo al sol colocándolo sobre el piso. De ser posible, colocar una base negra para que los rayos del sol se absorban más eficientemente y el secado sea en menor tiempo. La composta se distribuye

CUADRO 5. DIFERENCIAS ENTRE LA COMPOSTA DOMÉSTICA MADURA E INMADURA

	Composta doméstica inmadura	Composta doméstica madura
Olor	Más o menos pronunciado	Sin olor fuerte
Composición	Hay lombrices y hongos (filamentos brillantes); material orgánico identificable	No hay material orgánico identificable, tampoco organismos; se asemeja a tierra
Uso	Alrededor de arbustos y árboles perennes	Incorporándolo en el suelo
Cantidad	Poca cantidad para no dañar el suelo o la planta	No hay riesgo, pueden realizarse varias aplicaciones

Fuente: adaptado de CONAMA 2003.

sobre la superficie en una delgada capa con ayuda de un rastrillo o escoba en un día soleado y sin riesgo de lluvia. Normalmente un día es suficiente; sin embargo, si se requiere de más de un día no se puede dejar por la noche y la madrugada ya que el rocío de la mañana la humedecerá de nuevo. Así es que hay que retirarla del solar durante la tarde y volver a colocarla a la mañana siguiente.

2.3.5 Solución de problemas

A lo largo del texto se han mencionado algunos de los posibles problemas que pueden ocurrir durante un proceso de compostaje, así como los cuidados que se debe tener y algunas soluciones. En el cuadro 6 se presenta un listado de los problemas más comunes, su causa más probable y su solución.

2.3.6 Usos de la composta doméstica

Los usos de la composta son múltiples; se puede añadir directamente como abono en el jardín, maceteros, huertos o, simplemente, usarse para mejorar la estructura del suelo. Sin embargo, como la composta es muy rica en nutrientes es importante seguir algunas indicaciones para su aplicación con el fin de satisfacer las necesidades nutricionales de las plantas y hortalizas.

Véanse las indicaciones para diferentes usos de la composta en el cuadro 7.

2.4 Campañas de difusión de la composta doméstica

El compostaje doméstico se ha realizado en comunidades mexicanas desde hace varios siglos. Con el crecimiento urbano, esta tradición se ha ido perdiendo, y no sólo en las ciudades sino también en las pequeñas poblaciones rurales, por la llegada de la “modernidad”. La elaboración de composta doméstica atiende a una responsabilidad social con el entorno natural, y debe ser difundida y promocionada de esta manera. La autoridad municipal, como eje rector en la política es una de las responsables de llevar a cabo un programa para la capacitación del compostaje doméstico y su difusión; sin embargo, no es la única responsable. También debe participar el sector educativo, la iniciativa privada y las organizaciones sociales. Con la colaboración de todos estos actores, el programa podrá ser un éxito.

Una vez que se ha decidido implementar un programa de difusión y capacitación sobre compostaje doméstico, se deberán seguir los siguientes pasos.

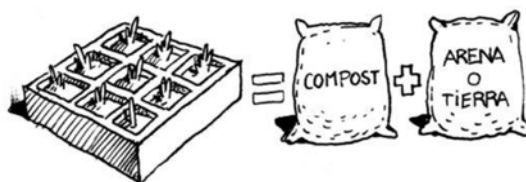
- ♦ *Selección de los capacitadores.* La selección se puede hacer a partir de personas que ya estén realizando el compostaje doméstico en sus domicilios, y tengan la disposición y el tiempo para difundirlo entre sus vecinos de colonia, barrio,

CUADRO 6. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMUNES EN EL COMPOSTAJE DOMÉSTICO

Problema	Causa	Solución
Mal olor	Humedad excesiva	Mezclar; añadir material más seco para absorber la humedad
Olor a amoníaco	Compactación excesiva (falta de aire)	Mezclar; disminuir el tamaño de la pila; agregar trozos de tamaños diferentes (ramitas, etc) para hacer espacios de aire en la mezcla
Temperatura baja	Demasiados residuos verdes (nitrógeno)	Añadir residuos cafés
	Pila demasiado pequeña	Aumentar el tamaño de la pila; tapar o aislar la pila/compostadora
	Humedad insuficiente	Añadir agua durante el mezclado; cubrir la compostadora para evitar que se pierda la humedad
	Insuficiente aeración	Voltear/mezclar; agregar trozos de material de tamaños diferentes
	Falta de desechos verdes	Añadir desechos verdes
Temperatura demasiado alta	Tiempo frío	Aumentar el tamaño de la pila; protegerla con plástico perforado para guardar el calor
	Pila demasiado grande	Disminuir el tamaño de la pila
Presencia de vectores: moscas, hormigas, roedores	Presencia de carne, desechos grasos	Retirar desechos de origen animal, cubrir la compostadora/pila con tierra o con hojas; usar una compostadora diseñada especialmente para estos residuos
	Pila seca	Añadir agua o desechos húmedos
	Exceso de humedad	Añadir residuos cafés
Moho	Falta de oxígeno	Mezclar pila.

Fuente: adaptado de CONAMA 2003.

Almácigos. Una parte de composta por una de tierra o arena.



Macetas. Mezclar una parte de composta por tres de tierra.



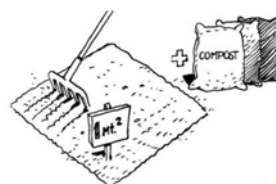
Plantas y huertos. Incorporar a los primeros 5 cm del suelo, previamente desmalezado, en primavera.



Árboles. Aplicar una capa de hasta 5 cm de espesor y que cubra desde 15 cm a partir del tronco y hasta un diámetro en suelo del total de su follaje.



Prados nuevos. Incorporar de 2 a 3 kg de composta por cada metro cuadrado de suelo.



comunidad o municipio. Se puede iniciar con un solo capacitador comprometido con el medio ambiente, o bien, preparar a nuevos capacitadores.

- ♦ *Diseño de los materiales de apoyo.* Estos materiales pueden ser tan sencillos como un tríptico o un cartel. En estos materiales se incluyen los principales puntos relativos al compostaje. El documento es un apoyo para la capacitación y no pretende

sustituirla. En el anexo A se presenta un modelo de tríptico. También se puede conseguir manuales para capacitación en internet; por ejemplo, en la dirección www.giresol.org existen algunos modelos. Además del material informativo impreso, son muy útiles los centros demostrativos donde se expongan diversos tipos de compostadoras y se muestren las diferentes etapas del proceso.

- ♦ *Selección del sitio para la capacitación.* La capacitación debe llevarse a cabo con una compostadora funcionando, así que algunas demostraciones podrían llevarse a cabo en la casa del capacitador(a) o en el centro demostrativo. También se puede construir una compostadora en la escuela o el jardín municipal, y que el capacitador sea un profesor o un jardinero.
- ♦ *Difusión de la campaña.* Ya sea a través de visitas de casa en casa, anuncios en la escuela, perifoneo (carro de sonido), volantes, mantas, periódicos y radio locales se puede invitar a la población a visitar el centro demostrativo para conocer qué es y capacitarse en la elaboración de composta.
- ♦ *Puesta en marcha de la capacitación.* Se recomienda dividir la capacitación en tres grandes rubros: la compostadora, la selección de los residuos, y el proceso del compostaje doméstico. Las sesiones pueden ser semanales, de dos horas de duración. En la primera sesión se deberá explicar los beneficios que aporta la composta doméstica, el proceso en forma general, y cómo se puede obtener o construir la compostadora. En el transcurso de la semana, los asistentes a la capacitación pueden obtener una compostadora que el capacitador puede revisar. En la segunda sesión se explica cómo seleccionar y preparar los residuos y la forma de llenado de la compostadora. Nuevamente se solicita a los asistentes que durante la semana realicen la selección y el llenado de su compostadora. En la tercera sesión se puede resolver las dudas relacionadas con la selección y el llenado, así como dar una amplia explicación de los cuidados. La cosecha de la composta y las dudas que sobre la marcha se presenten, pueden constituir el tema de la cuarta y última sesión. Al poner en marcha la capacitación, es imprescindible asegurar que estén disponibles los materiales necesarios para los ciudadanos objetivo; estos materiales incluyen la folletería, las compostadoras (o los materiales e instructivos para construir las) y la información de contacto de los capacitadores.
- ♦ *Multiplificación de los capacitadores.* De los primeros grupos de asistentes a la capacitación pueden surgir nuevos capacitadores que, con una experiencia de al menos 6 meses, sean capaces de reproducir esta capacitación en otra comunidad o con otro grupo de personas. El compostaje doméstico generará mayores beneficios al municipio en la medida en que haya un mayor número de personas participantes. Por esta razón, debe proporcionarse la capacitación durante un largo plazo e ir formando grupos de apoyo, así como existen para la enseñanza del tejido y del bordado, entre otros, en donde las personas más expertas comuniquen sus conocimientos a las principiantes. La multiplicación de capacitadores también puede fomentar el mercado de insumos, y habrá personas que puedan fabricar las compostadoras y venderlas a un precio accesible.
- ♦ *Sostenimiento del programa.* Es necesario prever la continuidad del apoyo técnico a los compostadores domésticos a lo largo de los meses y los años, para la atención de problemas, el re-entrenamiento, y el apoyo en tareas poco frecuentes (como el vaciado de la compostadora o el inicio de una pila nueva, por ejemplo). El sostenimiento es una parte integral y esencial del programa de compostaje, y requiere de la asignación de recursos y personal desde el inicio y como parte de los gastos de operación del programa. Los recursos originales deberán cubrir gastos de folletos, visitas domiciliarias, atención al público, centros demostrativos, campañas de concientización y reforzamiento, así como incentivos diversos para los participantes.

Una planta municipal de compostaje requiere de una inversión muy importante de recursos, por lo cual debe ser analizada con mucho cuidado. Si bien representa una oportunidad para mejorar el ambiente, también puede convertirse en un gasto innecesario con el consecuente despilfarro de los escasos recursos municipales. En el presente capítulo se analiza la factibilidad de construir una planta, los diferentes tipos que existen para construirlas y, finalmente, cómo se debe llevar a cabo su operación y administración. Es importante resaltar que las plantas de compostaje pueden ayudar con los gastos del servicio municipal de RSU si éstas son planeadas y operadas aplicando criterios adecuados de eficiencia técnica, ambiental y económica.

3.1 Factibilidad de la planta de compostaje

Responder a la pregunta ¿cuándo es factible construir una planta de compostaje? sólo es posible si se tiene un conjunto de información básica. Esta información se centra en los elementos críticos para la construcción de una PdC, que incluyen el mercado de la composta, las capacidades institucionales, la conciencia ciudadana, la materia prima y el financiamiento del proyecto. En algunos casos podría existir algún otro elemento crítico; por ejemplo la disponibilidad de agua en zonas áridas. A continuación se describen los elementos críticos principales.

El mercado de la composta: el compostaje es una forma de reciclaje de residuos orgánicos, de

tal suerte que puede verse como un negocio; por lo tanto, parte del estudio de mercado. El mercado de la composta por lo general no está desarrollado; sólo en algunos lugares específicos del país existe, principalmente en donde la agricultura orgánica ha tenido algún auge. Si no existe un mercado en la agricultura, podría existir un mercado importante en la jardinería. La jardinería privada en las zonas urbanas y semiurbanas reconoce las ventajas de la aplicación de la composta y generalmente está dispuesta a pagar el precio del producto. También la jardinería pública se beneficia del compostaje; sin embargo, al ser la misma entidad la que produce la composta y después la consume, no existe intercambio comercial, ni flujo de efectivo, y podría ser considerado administrativamente como un gasto. Estrictamente hablando, se trataría de una inversión en el suelo municipal. Para tomar la decisión sobre la construcción de una PdC en función del mercado, deben considerarse las siguientes opciones:

- ♦ Mercado agrícola de la composta
- ♦ Mercado de la jardinería privada
- ♦ Parques y jardines municipales
- ♦ Donación de composta a ciudadanos con conciencia ambiental
- ♦ Restauración de suelos municipales.

La capacidad institucional: una PdC no es una obra que se construya y después continúe funcionan-

do por sí sola. Es una instalación de tipo industrial que requiere de una administración permanente y adecuada. Si la administración pública municipal (el ayuntamiento) 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 cada tres años, el programa continúe. Este es el pilar fundamental del compostaje y difícilmente puede ser consolidado a la par que la planta. Los indicadores de una continuidad institucional mínimos para la construcción de la planta son:

- ♦ Existencia de un plan de desarrollo municipal basado en planes anteriores
- ♦ Personal operativo y directivo con más de tres años en funciones
- ♦ Existencia de grupos de la sociedad civil organizados y con presencia por más de tres años en temas ambientales
- ♦ Voluntad política de la administración en turno para la construcción de una obra que no necesariamente brinda resultados visibles a corto plazo.

La conciencia ciudadana: un programa municipal de compostaje, como ya se mencionó, parte de una separación de residuos desde su fuente de generación. Sin la participación ciudadana es muy difícil operar exitosamente una PdC a partir de RSU. Esta participación dependerá en gran medida de cierta conciencia ambiental, por lo que cualquier programa de compostaje deberá promover su desarrollo en los participantes, y al composta misma puede ser utilizada como “punta de lanza” en los programas de concientización a los siguientes grupos, entre otros:

- ♦ La ciudadanía en general
- ♦ Empleados del sistema de limpia
- ♦ Empresarios agroindustriales
- ♦ Provedores de servicios de alimentación o turísticos.

La materia prima: en la planeación de una PdC es importante identificar las fuentes y asegurar los volúmenes mínimos de materia prima necesaria para

la planta. Las fuentes de esta materia prima pueden incluir a las siguientes:

- ♦ Residuos verdes provenientes de podas en parques y jardines (incluyen podas de las empresas de energía eléctrica, campos de golf, universidades, panteones e instalaciones similares)
- ♦ Residuos de las empresas procesadoras de alimentos de la región (incluye restaurantes)
- ♦ Residuos de las actividades agropecuarias de la región (incluyen rastrojo, estiércol y residuos de beneficios)
- ♦ Residuos orgánicos domésticos separados de origen en las viviendas
- ♦ Residuos de plantas de tratamiento de aguas residuales (algunos lodos, pero se requiere de cierto conocimiento y experiencia para su utilización).

En todos los casos, los residuos orgánicos deben ser recolectados por separado de los residuos inorgánicos.

El financiamiento del proyecto: el costo de inversión de la planta y los costos de arranque y operación iniciales tienen que ser considerados. Los costos de inversión incluyen el terreno, la obra civil y la maquinaria. Los costos de operación incluyen aquellos relacionados con el pago de recursos humanos, combustibles, maquinaria, mantenimiento correctivo y preventivo. Ambos tipos de costos pueden resultar en una carga adicional para la administración pública. Antes de decidir construir una PdC se debe asegurar que se disponen de las fuentes de financiamiento necesarias, que pueden ser algunas de las siguientes:

- ♦ Recursos del ayuntamiento
- ♦ Recursos del Gobierno del Estado
- ♦ Recursos del Gobierno Federal
- ♦ Recursos de organizaciones internacionales
- ♦ Capital de riesgo de la iniciativa privada
- ♦ Banca de desarrollo.

Para que sea factible la construcción de una PdC, se requiere resolver cada uno de los cinco elementos críticos anteriores. Entre más robusta sea la solución de cada uno de los elementos descritos, mayor será la posibilidad de éxito a largo plazo del programa.

En el capítulo 4 se describen algunas plantas de composta ya instaladas en México, así como los factores de éxito y fracaso observados durante los últimos años. Sería útil para quienes pretendan instrumentar programas de compostaje una revisión de esta información y, de ser posible, la visita a algunas de las plantas ya instaladas antes de tomar la decisión.

3.2 Diseño de la planta de compostaje

3.2.1 Ubicación de la planta

Seleccionar el mejor lugar para establecer una planta de composta requiere llevar a cabo un análisis previo muy detallado que considere diversos factores. Estos factores están relacionados principalmente con el transporte y la normatividad, y son los siguientes:

Restricciones normativas: se refiere a las establecidas en las diferentes leyes, reglamentos y normas vigentes, ya sean estatales o federales. Las principales son las relacionadas con el uso del suelo, como los planes de desarrollo urbano, los programas de ordenamiento ecológico y territorial o las declaratorias de áreas naturales protegidas. De forma particular en el EM se solicita que no se construya en zonas de inundación.

Distancia promedio que recorren las materias primas: esta distancia debe ser la más corta posible ya que los costos asociados al transporte suelen ser elevados. Además, la planta debe encontrarse a una distancia del origen de los residuos similar a la del sitio de disposición final, para que sea competitiva y no represente un costo adicional de transporte. Excepcionalmente, se puede considerar la construcción de una estación de transferencia de residuos orgánicos previamente separados; sin embargo, es necesario tener en cuenta que una instalación de esta naturaleza es costosa, y es indispensable efectuar previamente un análisis de las ventajas y desventajas que esta planta de transferencia traería para el proyecto.¹

Distancia al mercado de consumo: esta distancia es importante para fomentar el uso de la composta

y disminuir los costos de transporte. La creación de una red de distribución para el transporte de grandes cantidades de composta puede constituir un apoyo valioso en este sentido. También es recomendable obtener algún beneficio del “viaje de regreso” de los vehículos que transportan productos agrícolas o materia prima a la planta.

Distancia a la fuente de agua: durante la temporada seca, en todos los climas, es necesario adicionar agua al proceso de compostaje, y por tal motivo debe existir una fuente de abastecimiento del líquido. En caso de que esto no sea posible, el diseño de la planta debe considerar una disminución de las actividades durante el estiaje, o el almacenamiento de agua de la temporada de lluvia para aplicarla en la temporada seca.

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.

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 1 ha para 10 a 30 t/día). La especificación del tamaño de la planta se indicará en la siguiente sección.

La ubicación de una PdC es una decisión compleja, en la que intervienen la consideración de los factores mencionados, además del costo mismo. Cabe mencionar que un terreno con pendiente puede ser acondicionado para el proceso, sin embargo, el costo de instalación se incrementará.

3.2.2 Escala de la planta

El tamaño de la PdC se puede calcular con base en los criterios que a continuación se presentan:

- ♦ **Disponibilidad de espacio:** cuando existe un predio ya destinado para esta actividad, la capacidad de la planta estará restringida a dicho espacio. La producción puede incrementarse si se disminuye el tiempo de proceso; esto es posible aumentando la mecanización del proceso y, consecuentemente, el costo de la infraestructura. Si no existe un mercado suficientemente grande, no resulta

¹ Consúltense “Estaciones de transferencia de residuos sólidos en áreas urbanas”, disponible en la página www.ine.gob.mx.

conveniente mecanizar en un predio pequeño. Una estimación inicial del tamaño necesario del predio puede ser 1 ha por cada 10 a 30 t/día de residuos.

- ♦ Disponibilidad de materia prima: la consideración primordial para determinar la escala de una PdC es la cantidad de materia prima a procesar. La planta debe estar diseñada para abastecerse de un mercado local de materia prima, ya que traer residuos desde grandes distancias puede resultar costoso.
- ♦ Disponibilidad de gasto corriente: una PdC aumenta el gasto corriente de la administración pública municipal, que en general no tiene excedentes. Este aumento deberá ser el mínimo posible para evitar la desaparición del programa durante alguna crisis financiera. El costo de operación por tonelada de composta puede alcanzar los \$600.00 (MX), según datos de 2005.
- ♦ Disponibilidad de infraestructura: los elementos mínimos de infraestructura para la instalación de la planta son caminos y fuentes de agua; estos elementos también pueden ser limitantes de la escala de la planta, y dependen en gran medida del clima y las capacidades municipales.
- ♦ Disponibilidad de experiencia: al inicio de las operaciones de una PdC se recomienda que la escala de trabajo sea pequeña ya que, en general, no existe personal capacitado para operar estas plantas y tiene que implementarse un “aprendizaje institucional” al seno de la planta. Es importante contar con personal con alguna experiencia.

La disponibilidad de espacio y de materia prima son factores fundamentales para el dimensionamiento de la PdC. Por su lado, la disponibilidad de gasto corriente, la infraestructura y la experiencia son factores que pueden ser mejoradas en el corto plazo y permitir el crecimiento en la escala de operación en muy poco tiempo.

El procedimiento para estimar el tamaño máximo de una planta de composta consta de los siguientes pasos:

1. Determinar el área de influencia de la planta con respecto a la materia prima
2. Determinar la materia prima máxima disponible en t/año

3. Con base en los recursos disponibles actuales (infraestructura y gasto corriente), determinar el modo de operación más adecuado y estimar las necesidades de espacio en $m^2/t/año$, y
4. Calcular el tamaño del predio requerido.

Es importante señalar que cambiar una planta de lugar es casi tan costoso como construir una nueva, por lo que se debe tomar la mejor decisión al fijar la ubicación y establecer la escala de operación de la planta. Una opción que resulta muy apropiada es seleccionar predios alejados de la dirección de la tendencia de crecimiento urbano y con terrenos alejados que tengan una alta probabilidad de poder ser incorporados a la planta en el futuro.

3.2.3 Operaciones unitarias de la planta de compostaje

Las operaciones unitarias en ingeniería son aquellos elementos de una planta que se diseñan independientemente. En plantas modulares, una misma operación unitaria puede servir para la fabricación de diversos productos. En las siguientes páginas se presentan fichas de las diferentes operaciones unitarias de una PdC. Estas operaciones son separación de residuos, reducción de tamaño, formulación, transporte, degradación, aireación, humectación, pasteurización, maduración, cribado, secado y empacado. Cada ficha contiene los siguientes rubros:

- ♦ Nombre: identificador de la operación unitaria.
- ♦ Tipo: se refiere al cambio en los materiales y puede ser físico, químico o biológico.
- ♦ Descripción: incluye el cambio principal y la función dentro del proceso de compostaje.
- ♦ Puntos críticos: son aquellos aspectos más importantes, cómo identificarlos y cómo solucionar algunos problemas relacionados.
- ♦ Método manual: estrategia que permite realizar una operación manual (sin motores) con apoyo únicamente de herramientas.
- ♦ Maquinaria: equipo electromecánico que es posible emplear para llevar a cabo la operación unitaria y, en su caso, las adecuaciones necesarias a la misma.

FIGURA 5. MAQUINARIA EN LA PLANTA DE COMPOSTAJE DE BORDO PONIENTE, DF.



Separación de residuos

Tipo: físico

Descripción:

La separación consiste en eliminar de la fracción orgánica los elementos que no se degradan biológicamente y aquellos que pueden causar la contaminación de las operaciones biológicas. Es una operación que se debería efectuar fuera de la planta, en el lugar mismo en que se generan los residuos, pero es posible realizarla en la planta.

Puntos críticos:

Existencia de RP

Solución:

Rechazo de la materia prima

Método manual:

En la PdC se descargan los residuos sobre una superficie plana, y el personal con protección para vías respiratorias, pies y manos, realiza la separación de todos aquellos elementos que pueden ser tóxicos para el compostaje, muy grandes para su transporte o que por su dureza pueden afectar el equipo para la reducción de tamaño. El resto se admite como materia prima.

Maquinaria:

Bandas de selección manual
Separadores magnéticos
Separadores vibratorios
Separadores por densidad
Separadores ópticos
Cribas

Reducción del tamaño (molienda)**Tipo: físico**

Descripción:

También se le conoce como trituración. Es una operación que puede no ser incluida para RSU orgánicos, pero que es indispensable para residuos de poda. Consiste en reducir el tamaño de los materiales para facilitar la degradación. Una versión particular de este proceso es la “ruptura de bolsas” que reduce el tamaño de RSU de una bolsa en sus componentes.

Puntos críticos:

Difícil implementación manual
Ruptura de los elementos de corte de la máquina

Solución:

Rechazo de la materia prima

Método manual:

Para el caso de las bolsas de RSU se requiere de mucha mano de obra, y por lo tanto se sugiere que lo efectúe el personal de recolección. Para el caso de poda, se emplean tijeras, machetes o hachas; sin embargo, no es recomendable depender de la molienda manual para poda a gran escala.

Maquinaria:

Molinos de martillos
Molinos de disco
Tromel de ganchos y criba

Formulación**Tipo: físico**

Descripción:

Adición de diferentes tipos de residuos y agentes químicos que facilitan el compostaje. En el anexo B se muestra una técnica para la formulación de los diferentes tipos de residuos. Para el caso de agentes químicos, pueden emplearse ácidos y bases que permiten el ajuste del pH y una previa reacción química. Otros agentes químicos deben consultarse directamente con el proveedor. En ocasiones es necesario inocular (agregar) composta ya lista a la mezcla para su maduración.

Puntos críticos:

Falta de materiales verdes o cafés
Tiempo elevado de almacenaje de materias primas
Dependencia de agentes químicos

Solución:

Adición de agentes químicos
Diversificación de las operaciones biológicas
Búsqueda de residuos específicos

Método manual:

Construcción de pilas y relleno de trincheras por capas con ayuda de palas, carretillas y rampas de madera. Adición de materias primas en pequeñas cantidades al equipo de degradación.

Maquinaria:

Cargador frontal
Tanque de formulación

Transporte

Tipo: físico**Descripción:**

Cambio de la localización física de los materiales en el interior de la planta. Incluye su movimiento desde la admisión de la materia prima hasta la salida del producto final.

Puntos críticos:

Caminos internos en mal estado
Tornillos y bandas atascados
Espacio insuficiente

Solución:

Recubrimiento de caminos
Mantenimiento preventivo
Cambio de la distribución de planta o del sistema de transporte

Método manual:

Utilizando principalmente carretillas, palas y bieldos

Maquinaria:

Cargador frontal
Camiones de volteo
Tornillos sinfín
Bandas de transportación
Cesta de mordazas
Equipo de aireación y transporte combinado.

Degradación

Tipo: biológico**Descripción:**

Biorreacción de los componentes orgánicos de la mezcla. Un conjunto diverso de organismos ataca los residuos, transformándolos bioquímicamente durante varios días.

Puntos críticos:

Control de humedad

Solución:

Humectación en temporada seca y drenaje en temporada húmeda

Control de temperatura

Humectación, aireación y cubrir pilas
Control de pH, control de temperatura, adición de químicos

Control de patógenos

Pasteurización

Control de anaerobiosis (malos olores)

Aireación

Control de vectores (moscas, ratas, etc.)

Cambiar diseño de pila, humectación, aireación, formulación

Método manual:

Utilizando principalmente carretillas, palas y bieldos

Maquinaria:

Cargador frontal
Camiones de volteo
Tornillos sinfín
Bandas de transportación
Cesta de mordazas
Equipo de aireación y transporte combinado.

Aireación**Tipo: físico**

Descripción:

Proporcionar suficiente oxígeno a la degradación y evitar de esta forma la proliferación de malos olores y reducción de velocidad en el proceso de compostaje. Ésta puede llevarse a cabo por convección natural o forzada (con uso de motores).

Puntos críticos:

Sellado de los canales de aireación

Solución:

Disminuir la humectación, aumentar el drenaje, aumentar el tamaño de algunas partículas

Disminución de la temperatura antes de tiempo

Disminuir el periodo de volteo

Método manual:

Construcción de la pila o trinchera con canales para la difusión de oxígeno. Estos canales pueden ser de tubería de plástico perforada, ramas y troncos que al retirarlos de la pila o trinchera dejan huecos, o construyendo un soporte de ramas para los residuos. Volteo manual.

Maquinaria:

Cargador frontal
Equipos para el volteo de pilas
Tubería horizontal y compresores en pilas
Aspersores, tubería y compresores en tanques y naves cerradas

Humectación**Tipo: físico**

Descripción:

Proporcionar la humedad necesaria para la degradación, evitando la inundación o la resequedad de la mezcla.

Puntos críticos:

Escurrimiento de lixiviados

Solución:

Volteo o perforación de nuevos canales de aireación

Encharcamiento en la base

Disminución de la humectación y adecuación del drenaje

Resequedad de la mezcla

Aumento de la humectación, volteo
Protección del sol

Estación seca

Protección del sol utilizando plásticos perforados, composta inmadura, material de poda o residuos cafés en la superficie.
Aumento de la humectación.

Estación húmeda

Protección de la lluvia utilizando plásticos o material de poda. Cambiar la pendiente de la pila. Adecuación del drenaje.

(Continúa)

Estación húmeda

Reformulación aumentado los residuos secos y protegiendo la pila de la lluvia, así como la captación y recirculación de lixiviados en tubería. Recolección de agua y almacenamiento en grandes tanques (cisternas o tinacos) en la estación lluviosa para uso durante el año.

Método manual:

Con ayuda de recipientes (cubetas, tambos) o tubería flexible (manguera). El agua proviene de la red municipal o canales de riego muy cercanos

No es muy recomendable hacer la humectación manualmente en zonas con problemas de abastecimiento de agua, debido a las distancias necesarias para acarrear el líquido.

Maquinaria:

Sistema de irrigación con aspersores, tubería y bombas
Equipo combinado de aireación y humectación
Aspersores, tubería y bombas en tanques y naves cerradas.

Pasteurización

Tipo: biológico

Descripción:

Eliminación de los microorganismos patógenos para la salud humana, animal y vegetal en contacto con la composta. Como primer paso se incrementa la temperatura alrededor de 35° C durante algunos días para favorecer la germinación de semillas, quistes, esporas, etc. Posteriormente se eleva la temperatura lo más rápidamente posible por encima de los 55° C durante más de 5 días para eliminar todos los organismos excepto las bacterias termofílicas (que proliferan a esta temperatura). Manteniendo la degradación a temperaturas altas disminuye el tiempo del compostaje y favorece la pasteurización.

Puntos críticos:

Clima frío
Temperatura baja

Semillas persistentes en la composta

Solución:

Proteger con plásticos o material de poda del frío
Disminuir la humectación, disminuir el volteo, proteger la pila
Secar la composta

Método manual:

El calor necesario para la pasteurización proviene de la degradación. La temperatura necesaria para pasteurizar puede ser medida con un termómetro de bayoneta.
Con ayuda del sol en el producto terminado.

Maquinaria:

En reactores y naves cerradas se puede instalar controles de temperatura utilizando agua o aire.
Utilizando un secador de gas al final del proceso.

Maduración

Tipo: biológico

Descripción:

Después de la degradación, la actividad biológica y la temperatura tienden naturalmente a disminuir. Los materiales residuales de la degradación se convierten lentamente en composta. Se utiliza el mismo equipo que en la degradación pero su operación es diferente, disminuyendo la frecuencia de volteo o la intensidad de la aireación.

Puntos críticos:

Residuos orgánicos no degradados

Solución:

Recirculación del material, utilizándolo como biofiltro o protección contra el sol o el frío

Método manual:

Construcción de pilas cónicas, triangulares o semiesféricas con ayuda de palas, bieldos y carretillas

Maquinaria:

Cargador frontal
Equipo de transporte en tanques y naves cerradas a muy baja velocidad
Equipo de volteo

Lombricompostaje

Tipo: biológico

Descripción:

Acondicionamiento opcional de la composta con ayuda de organismos anélidos (lombrices de tierra) para mejorar las propiedades del producto final. Las lombrices digieren los residuos de la degradación y crean microtúneles que favorecen la aireación y la humectación. Los organismos responsables viven en el interior del tracto digestivo de las lombrices, y la excreta de éstas es rica en nutrientes para el suelo. No es recomendable el uso de maquinaria.

Puntos críticos:

Baja concentración de lombrices

Solución:

Poca humedad, demasiado sol, poco alimento

Depredadores de la lombriz

Manipulación excesiva de la pila

Falta de alimento

Construcción de cercas perimetrales o jardineras. Cubierta de residuos de poda más ancha

Adicionar estiércol vacuno húmedo

Método manual:

En pila, trinchera o jardinera. Debido a que es difícil el empleo de maquinaria, las plantas son relativamente pequeñas.

Maquinaria:

Reactor circular con helicoidal o tronillo sinfín.

Cribado (tamizado, cernido)

Tipo: físico

Descripción:

Esta operación separa la composta en dos partes: una primera fracción más fina que está lista para su comercialización, y otra fracción de impurezas y residuos de lenta degradación (por ejemplo, huesos). También se puede separar en tres partes: la más fina de composta lista, la mediana de biofiltro para las pilas y la gruesa como parte de la mezcla. El tamaño de la malla depende del uso final. Una medida común es de 15 mm para los finos y 50 mm para los medios.

Puntos críticos:

Obstrucción de la malla

Ruptura de la malla

Solución:

Composta demasiado húmeda, secar (al sol) antes de tamizar

Seleccionar malla de acero más resistente. Si se usan rastrillos, las cerdas deberán ser mucho menos duras

Método manual:

Utilizando mallas montadas en marcos de acero (reuso de tambores de camas) o madera, pala y carretilla.

Maquinaria:

Cribas circulares especializadas

Cribas vibratorias

La adaptación de cribas puede causar algunos problemas.

Secado

Tipo: físico

Descripción:

Esta operación reduce la cantidad de agua en el producto final. Su principal propósito es disminuir los costos de transporte y aumentar la estabilidad biológica del producto. El secado se realiza incrementando la temperatura de la composta, ya sea con calor solar o calentando artificialmente con empleo de combustible.

Puntos críticos:

Composta demasiado seca que dificulta la rehidratación

Demasiado tiempo de secado

Muy alto costo de secado

Solución:

Disminuir el tiempo de secado

Aumentar la maduración

Proteger de lluvia y humedad

Utilizar la energía solar

Método manual:

En una superficie plana de color oscuro se coloca la composta con ayuda de rastrillos y se seca al sol. Hay que retirarla por las noches o cubrirla con material impermeable para que el rocío no la humedezca.

Maquinaria:

Secadores de túnel

Secadores en lote (horno de muy baja temperatura)

Cambio de temperatura y humedad en reactores y naves cerradas

Descripción:

Acondicionamiento final para su comercialización. Protección del producto del sol y la humedad excesivos durante el transporte y el almacenamiento. Facilita el transporte y comercialización. Incluye el pesaje del producto.

Puntos críticos:

Ruptura de los sacos

Sacos de diversos pesos

Acumulación de un tipo de sacos

Solución:

Utilizar materiales especializados para sacos de productos agropecuarios finos

Modificar el sistema de pesaje

Rediseño del empackado

Método manual:

Llenado y pesado de sacos con ayuda de pala y báscula. El saco puede ser cerrado con un simple lazo manualmente.

Maquinaria:

Cosedora portátil de sacos

Sistema automatizado de llenado, pesaje y costura de sacos.

La combinación de estas operaciones unitarias y la aplicación de diferentes equipos (maquinarias) y estrategias de ubicación generan una gran diversidad de posibilidades para la construcción y la operación de una PdC. En una sección subsiguiente se describen algunas de las combinaciones más comunes para optimizar estas operaciones.

3.2.4 Elementos de ingeniería

Un proceso de compostaje puede estar descrito en un conjunto de documentos con diferentes elementos de ingeniería que permiten contener la información básica necesaria para presupuestar, construir, operar y mantener la planta. El detalle de los documentos depende de la escala de la planta de tal manera que una planta a gran escala requiere de un diseño más detallado que proporcione mayores elementos de oportunidad en la producción y una planta más pequeña requiere un menor esfuerzo en este sentido. Los ejemplos que ilustran cada uno de los casos en esta sección no guardan relación entre sí, y no deben considerarse como el diseño de una planta. En la siguiente sección se aplican las diversas operaciones unitarias antes descritas y estos elementos de ingeniería para describir procesos útiles.

Diagrama del proceso: es un esquema que representa el orden de las operaciones unitarias, sus

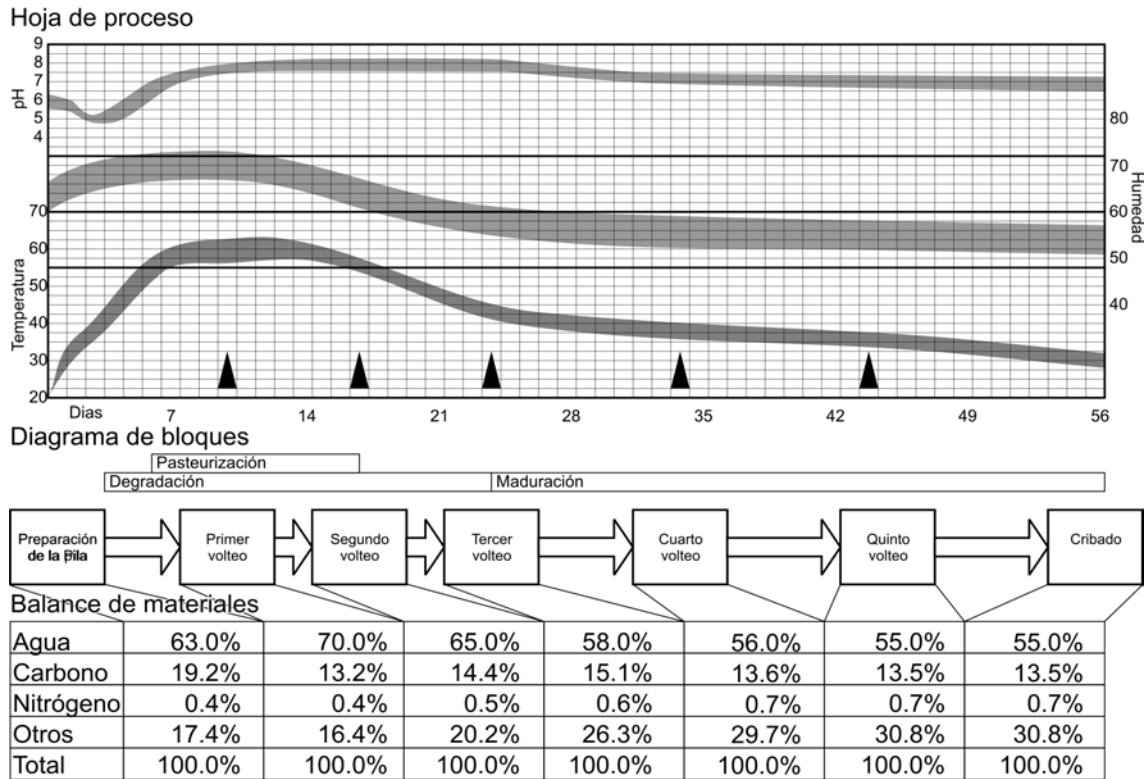
principales características así como el flujo de los materiales. Este documento permite observar todo el proceso en conjunto, y en ocasiones incluye el balance de materiales y la hoja de proceso. Un documento más detallado para plantas de mayores dimensiones es el diagrama de tubería e instrumentación.

Hoja de proceso: este documento muestra las principales variables y acciones que se llevan a cabo durante el proceso. Está organizado en forma secuencial y, por tal motivo, tiene como referencia el tiempo de proceso. Para el caso del compostaje, incluye las variables de temperatura, pH, humedad, frecuencia de aireación, humectación etc. En esta hoja está basado el diseño de calidad del proceso. Es frecuente colocarla sobre el diagrama del proceso.

Balance de materiales: incluye la información de salida y entrada de materiales en cada operación unitaria, describiendo sus características principales que, para este caso pueden asociarse con la relación C/N o el porcentaje de materia orgánica. En plantas pequeñas, el número de componentes es menor que en las de mayor tamaño. El balance de materiales es indispensable para un adecuado control de la calidad. Se acostumbra colocar bajo el diagrama del proceso en forma de tabla.

Distribución de planta: en este esquema o plano, se muestra el lugar que ocupa cada una de las operaciones unitarias así como las instalaciones complementarias

FIGURA 6. EJEMPLO DE HOJA DE PROCESO, DIAGRAMA DE BLOQUES Y BALANCE DE MATERIALES



más importantes. También el esquema debe mostrar el flujo de los materiales a través de la planta. Para su diseño se requiere de un amplio análisis del proceso, para así determinar la distribución óptima.

Hojas de equipo: incluyen las especificaciones necesarias para la adquisición de un equipo, su uso y el mantenimiento preventivo necesario. Estas hojas contienen más información en los equipos complejos que en los sencillos; sin embargo, son siempre necesarias. Las hojas pueden ser la carátula del expediente del equipo que incluye la copia de la factura, el manual de operación, el programa de mantenimiento preventivo, los informes de mantenimiento correctivo, las especificaciones técnicas y los proveedores de refacciones e insumos, entre otros.

Instalaciones complementarias: Es un conjunto de esquemas, planos y hojas de equipo de aquellos elementos necesarios para la planta y los cuales necesariamente no se encuentran dentro del proceso. Entre éstos se incluye el drenaje, la red de distribución de agua, la red eléctrica, los servicios

sanitarios, las oficinas, almacenes, cobertizos, caseta de vigilancia, etc.

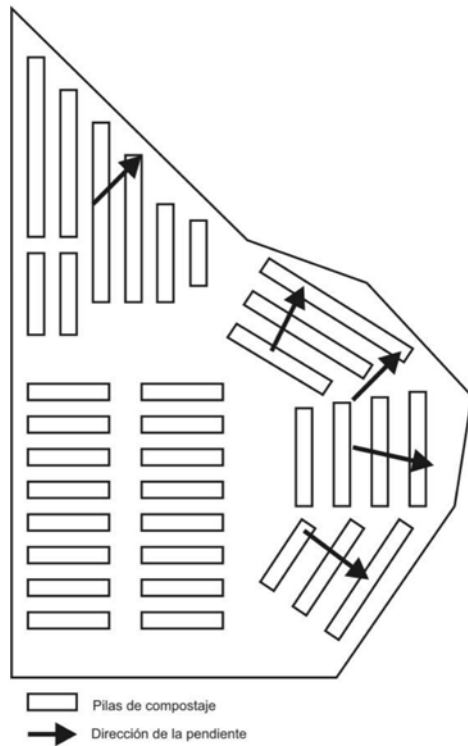
Las plantas de compostaje pueden ser diseñadas por consultores especializados en cuyo caso deberán presentarse los términos de referencia respectivos y ajustar el contrato a dichos términos. Un ejemplo de los términos de referencia para el diseño de una planta municipal de compostaje puede consultarse en el anexo D.

3.2.5 Tipos de operación de la planta

En esta sección se describen los tipos más comunes de PdC. Los ejemplos aquí mostrados son sobre plantas ideales, sin embargo, en el capítulo 4 se presentan fichas descriptivas de algunas PdC cercanas a la Ciudad de México.

Una PdC puede iniciarse con operación manual y con el paso del tiempo ir mecanizándose hasta la construcción de una nave cerrada. Para una nave cerrada es necesario considerar el clima, debido a que

FIGURA 7. EJEMPLOS DE DISTRIBUCIÓN DE PILAS EN UNA PLANTA



puede ser un excelente punto de oportunidad o una grave desventaja.

Planta de operación manual

La planta más sencilla es la que se diseña con operación 100% manual y con el mínimo de personal posible. Este tipo de planta puede producir hasta 50 t/año de composta. Los procesos se realizan manualmente con herramienta y se excluyen aquellos que requieren el uso de maquinaria. El equipo de control mínimo en una planta de operación manual es un termómetro de bayoneta. La figura 9 muestra el diseño de una planta de este tipo.

Lombricompostaje

A pequeña escala puede aplicarse con gran eficiencia y obtener un producto final con mejores caracte-

rísticas. Las lombrices son muy delicadas y, por tal motivo, durante esta etapa no es recomendable utilizar maquinaria, y la manipulación de la lombriz se hace manualmente. La figura 10 muestra los diseños de la trinchera y la jardinera que se pueden emplear para llevar a cabo el lombricompostaje. También se puede emplear una pila, pero su altura no debe rebasar a un metro.

La producción de mayores cantidades de composta utilizando este método no requiere de emplear mucha mano de obra, sino un diseño que permita trabajar en continuo. La figura 10 al final muestra el corte transversal de una jardinera. En la extrema izquierda, la composta se encuentra ya lista para su cosecha; las lombrices han concluido su tarea y ya no están presentes en esta fracción. En la extrema derecha se encuentra el proceso de lombricompostaje con las siguientes capas de arriba hacia abajo:

- ♦ Se requiere protegerlas del sol, del frío y de sus depredadores con capas de residuos de poda, cartón o plástico perforado. Esta capa se va recorriendo físicamente conforme se va llenando la trinchera o jardinera.
- ♦ Normalmente los residuos degradados parcialmente o residuos específicos como estiércol vacuno resultan un alimento adecuado para la lombriz y esta capa se recorrerá añadiendo periódicamente material nuevo por debajo de la capa de protección.
- ♦ El lombricompostaje consiste de una capa en la cual viven las lombrices activamente, procede de capas de alimento nuevo y genera la capa de la lombricomposta.
- ♦ La lombricomposta es la última capa que sirve de soporte a las otras; también sirve para el drenaje y ayuda a mantener la temperatura idónea. Conforme se recorren las otras capas ésta queda libre para su cosecha.

El lombricompostaje puede realizarse por separado en una planta con mayor mecanización, y al final formular una composta que incluya el producto de los diversos procesos de compostaje.

FIGURA 8. EJEMPLO DE CASETA DE VIGILANCIA

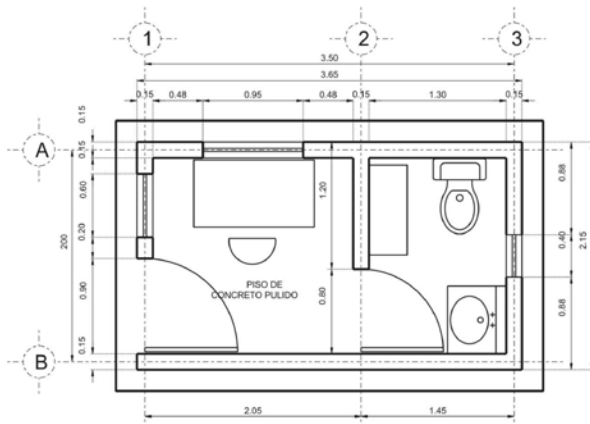
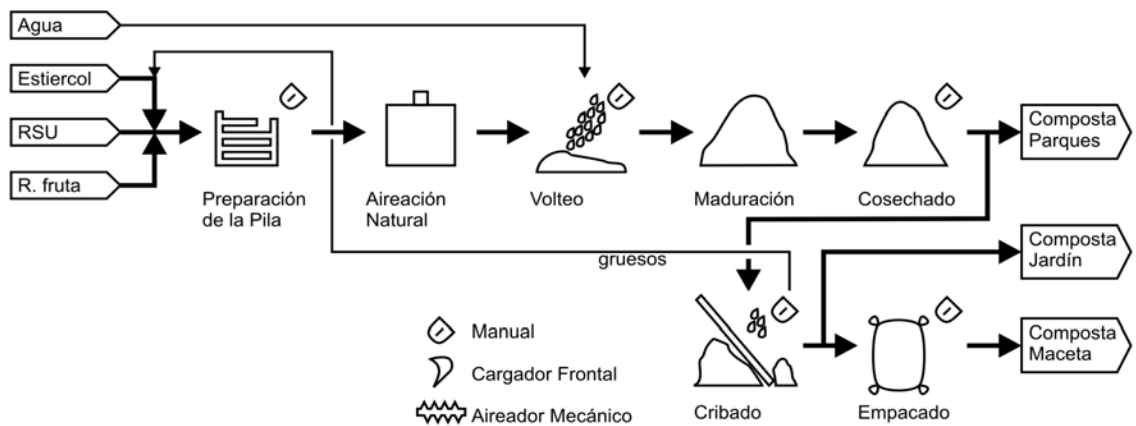


FIGURA 9. DIAGRAMA DE PROCESO DE UNA PdC DE OPERACIÓN MANUAL



Plantas parcialmente mecanizadas

Cuentan principalmente con equipo que apoya en diversas operaciones unitarias. La maquinaria más empleada es el cargador frontal simple o con retroexcavadora (figura 11). El cargador frontal pequeño (Bobcat) puede ser la opción más adecuada para plantas pequeñas; sin embargo, por encima de 500 t/año de composta producida podría presentar problemas por uso excesivo. En este sentido, los cargadores frontales tienen que seleccionarse de acuerdo a la capacidad de la planta. Este tipo de maquinaria es indispensable en las plantas de composta que operan con el sistema de pilas al aire libre; incluso en plantas con equipos más sofisticados para la aireación y humectación, el cargador frontal se utiliza para el transporte con ayuda de vehículos de volteo. En

algunas plantas con naves cerradas, el cargador frontal se sigue empleando para transporte en algunas secciones de la nave. El cargador frontal no resulta muy útil cuando existe maquinaria diseñada expresamente para el transporte, aireación, humectación, cribado, etc.

Otro equipo que se emplea en la mayoría de las plantas parcialmente mecanizadas es el molino de ramas (figura 12). Este equipo convierte en astillas las ramas provenientes de la poda y al rastrojo en paja. Se dimensiona con base al tronco más grueso que puede reducir a astillas. En la mayoría de los casos, posee un motor de combustión interna y está instalado sobre llantas, lo que permite colocarlo en diferentes partes

de la planta e, incluso, poderlo transportar a otros sitios para realizar demostraciones en programas de educación ambiental o programas especiales como el reciclaje de árboles de navidad.

Cuando existe espacio suficiente, conviene realizar el compostaje de los residuos de poda en el mismo lugar en donde se genera; un molino sobre llantas y un jardinero bien capacitado lo hacen técnicamente eficiente.

La mecanización de la planta puede continuar con la adquisición de equipo menor como bombas y tanques almacenadores de agua, generadores de electricidad (si no hay línea eléctrica cercana), cosedora manual de sacos, equipo de control (termómetro, medidor de pH y de humedad, etc.), una báscula y una criba para cargador frontal, entre otros.

FIGURA 10. TRINCHERA Y JARDINERA PARA LOMBRICOMPOSTAJE

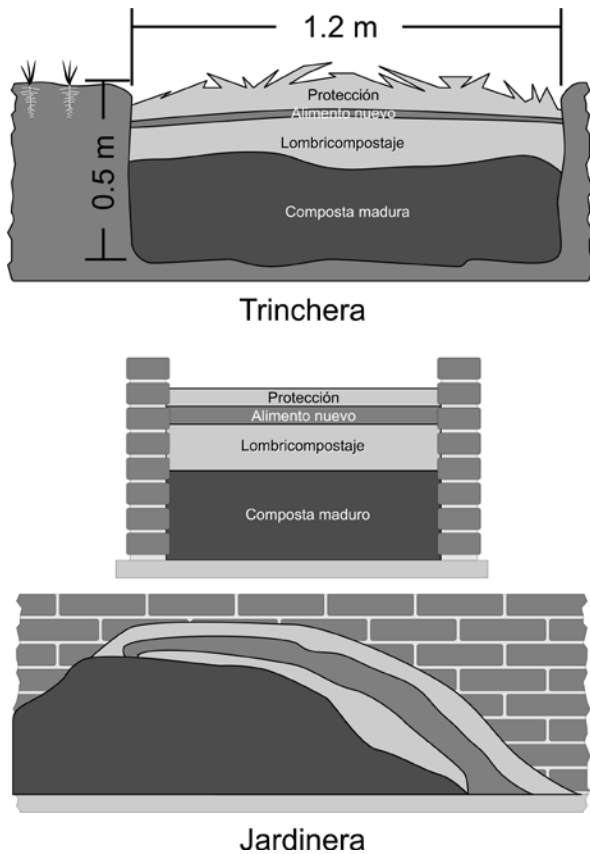
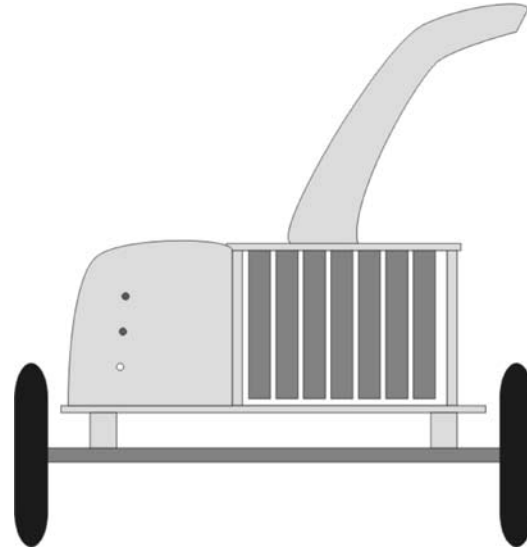


FIGURA 12. MOLINO DE RAMAS



que se utiliza en el volteo, el transporte, la cosecha, el cribado, etc.

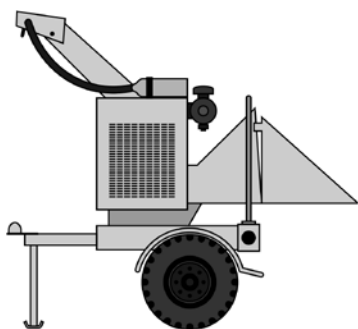
Plantas mecanizadas

Estas plantas pueden ser de tres tipos principales: las que operan en pilas, en naves cerradas y en reactores (tanques). Una combinación de estos métodos es la mejor opción pero requiere de un conocimiento muy especializado del proceso y contar con especialistas en ingeniería, microbiología y biotecnología.

La planta mecanizada más sencilla es la que opera en pilas. En lugar de emplear el cargador frontal para todas las operaciones unitarias, éste sólo se utiliza para el transporte de los materiales con ayuda de un vehículo de volteo. Cada operación unitaria se realiza con un equipo especializado, como los mencionados en las fichas presentadas. En la figura 14 se puede observar el diagrama de proceso de una planta de este tipo. Como se observa, es muy similar a la mostrada en la figura 13, sólo que en ésta el equipo para ser instalado es diferente. Este tipo de plantas puede procesar más de 1000 t/año. Es indispensable contar con un mercado de composta suficientemente desarrollado para poder operar una planta con estas características.

Uno de los puntos críticos del compostaje es la degradación, la cual se puede afectar por la humectación y la aireación inadecuadas. Existe también la posibi-

FIGURA 11. CARGADOR FRONTAL (PALA MECÁNICA) CON RETRO-EXCAVADORA (MANO DE CHANGO)



La figura 13 muestra una planta parcialmente mecanizada que incluye un cargador frontal con retroexcavadora y un molino de ramas. Como se muestra en la figura, el equipo principal es el cargador,

FIGURA 13. DIAGRAMA DE PROCESO DE UNA PdC PARCIALMENTE MECANIZADA

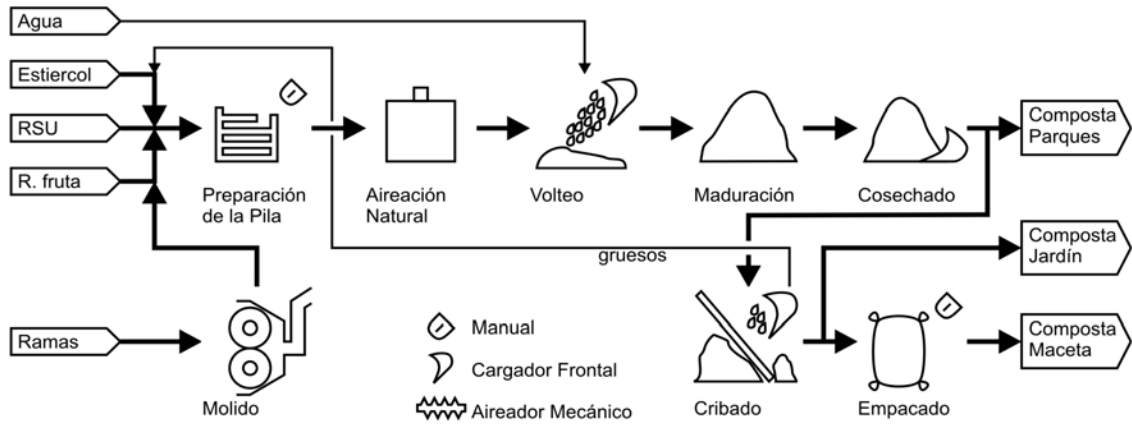
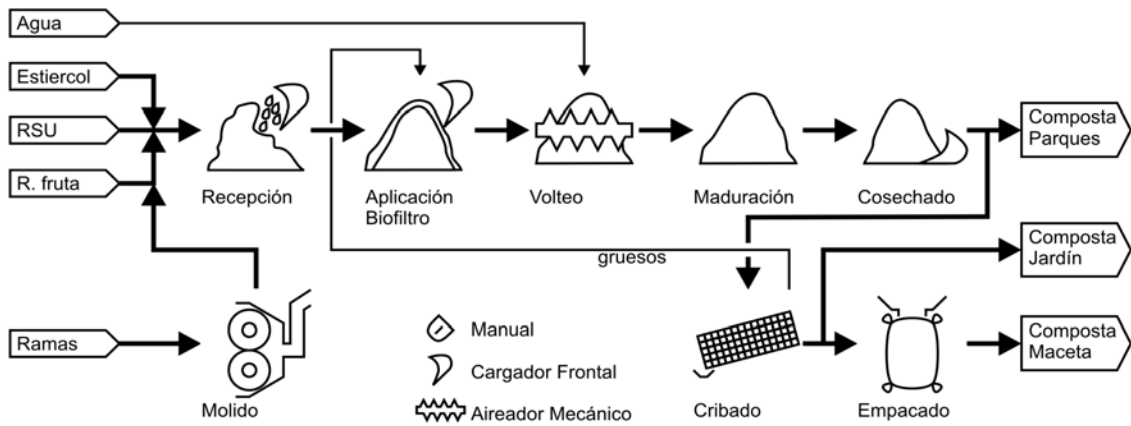


FIGURA 14. DIAGRAMA DE PROCESO DE UNA PdC MECANIZADA EN PILAS



lidad de utilizar maquinaria especializada instalada en una nave industrial cerrada para estas dos últimas operaciones, y de esta forma, poder controlar con mayor precisión el proceso de degradación. En estas plantas con temperatura y humedad controlada, en ocasiones se continúa empleando el cargador frontal como medio de transporte; sin embargo, existe equipo especializado que al mismo tiempo que transporta y voltea, proporciona el oxígeno y el agua necesarios para el compostaje. Este equipo está montado en el techo de la nave y consta de tornillos sinfín, canchilones, bandas transportadoras, aspersores, tuberías y bombas. Normalmente no se lleva a cabo la maduración de la composta dentro de las naves. Una planta se puede tecnificar cada vez más para aumentar eficiencias y

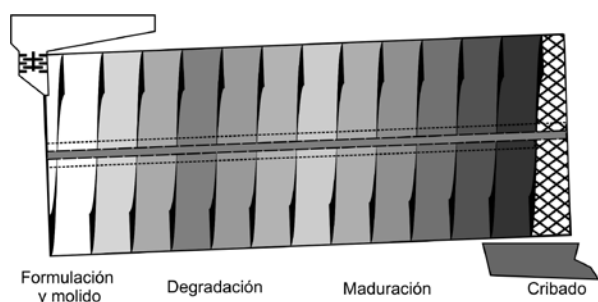
capacidad de procesamiento; sin embargo, el cambio de equipo en una operación unitaria puede afectar todo el proceso haciendo necesario el cambio de otros equipos. Por lo anterior es indispensable hacer un análisis antes de la compra de un nuevo equipo que considere la vida útil de los ya existentes para minimizar los recursos necesarios para el cambio.

La maquinaria más sofisticada para el compostaje es el reactor. Estos reactores son tanques cilíndricos con sección circular o cuadrada en donde de forma continua se agregan los materiales, el agua y el aire. En cualquier momento dentro del reactor se pueden identificar todas las operaciones unitarias del compostaje. En la figura 15 se muestra un esquema de este reactor, indicando las principales etapas. Los materiales ingre-

san por la parte izquierda del mismo y se efectúa la formulación en ese punto. Gracias a la helicoidal de la pared del tanque, el material se va desplazando hacia la derecha conforme el tanque gira. Por la parte central se agrega el agua y el aire necesarios para la degradación; también se agrega la recirculación de materiales no completamente degradados. En el centro de la primera sección del reactor se lleva a cabo la degradación, en donde la temperatura y la humedad del proceso se controlan mediante sensores y aspersores. La maduración se lleva a cabo en la segunda sección del reactor e, incluso, es posible incluir el lombricompostaje como operación en estos reactores. Al final, en el área a la derecha del cilindro, se tiene una criba que permite la salida de los materiales finos y la recirculación de los compuestos orgánicos no degradados.

Algunas diferencias con relación al diseño mostrado en la figura 15, incluyen un tornillo sinfín en lugar de la helicoidal o un pistón; una sección cuadrada o una mayor inclinación para aprovechar la gravedad como fuerza de transporte. Incluso existe un diseño basado en una columna con “válvulas” interiores para cada etapa. Estos reactores pueden trabajar desde algunos kilogramos al día y hasta decenas miles de toneladas al año. En algunas plantas se puede combinar la operación del reactor con el método de pilas.

FIGURA 15. ESQUEMA DE UN REACTOR CILÍNDRICO PARA COMPOSTAJE



3.3. Administración de la planta de compostaje

Una buena administración permite tener una operación eficiente, optimizar el proceso de producción y dismi-

nuir los costos. Esto es muy importante ya que una mala administración genera problemas y es uno de los principales motivos del fracaso de este tipo de proyectos. En el caso de las plantas de compostaje municipal, una gran parte de la administración es compartida con el ayuntamiento. Por lo tanto, es importante fomentar que el ayuntamiento tenga la suficiente capacidad institucional y, además, logre asegurar la continuidad de la operación de la planta más allá del periodo administrativo ordinario de tres años. La capacidad institucional se puede ir consolidando, y por tal motivo se incluyen en esta sección algunos elementos básicos de administración. En los siguientes párrafos se describe la administración y se explican sus elementos principales. Posteriormente, se abordan los temas relativos al manual de operación y organización, recursos humanos, calidad y estimación de costos.

3.3.1 Elementos de la administración

La administración es una ciencia social que estudia los procesos de producción de bienes y servicios. Tradicionalmente se identifican cinco elementos: planeación, organización, dirección, producción y control. Estos elementos están interrelacionados y las actividades asociadas a cada elemento se asignan al personal de la empresa, institución o sistema, para una operación efectiva y exitosa.

La producción es el proceso directo de generar los bienes o servicios. En muchas ocasiones no se le considera como parte de la administración; sin embargo, ésta es en sí la razón de ser de la administración. Si bien este elemento se realiza por el “personal de la planta”, no hay que descuidar que el “personal administrativo” también produce. Los directivos producen planes y organización entre otras cosas, de la misma forma que otros trabajadores controlan la producción de los bienes o servicios.

La planeación tiene por objeto hacer un “plan”, un modelo o idea de lo que se pretende producir y cómo llevarlo a cabo. Los planes son ejercicios de estimación de una realidad futura e incluyen programas, cronogramas y presupuestos, entre otros. El proceso de planeación puede resumirse en las siguientes etapas.

Diagnóstico. Descripción y análisis del estado actual que guarda la empresa, institución o sistema de

producción de bienes o servicios. Incluye una descripción de los puntos críticos y de las oportunidades.

Planteamiento de objetivos. Basados en la misión y la visión de la empresa o institución, se elabora un modelo a futuro de lo que se quiere alcanzar. Los objetivos representan el “qué” se va a hacer, y deben estar redactados de forma tal que permitan su evaluación (a través de la medición de variables).

Diseño de estrategias. Las estrategias son el conjunto de actividades para lograr los objetivos, el “cómo”. Una estrategia puede ayudar a lograr uno o más objetivos, o sólo parte de uno.

Evaluación de estrategias. La evaluación permite comparar las diferentes formas de lograr los objetivos e incluso cambiar los objetivos en función de las estrategias, si se comprueba que son inalcanzables con la organización y recursos actualmente disponibles. La evaluación mide los recursos necesarios para instrumentar una estrategia y cumplir con los objetivos propuestos. Se relaciona directamente con la pregunta “¿cómo es mejor hacerlo?”

Definición de los elementos de planeación. En esta etapa se definen la división del trabajo y la asignación de tareas y recursos, la planeación en el tiempo y la elaboración de presupuestos, entre otros. La etapa se identifica con las palabras “quién”, “cuándo” y “dónde”.

Integración del plan. Finalmente, todas las etapas se conjuntan en instrumentos de planeación como son los llamados “planes” y “programas”. La diferencia entre plan y programa estriba en el grado de detalle de los elementos de planeación; un plan en general no incluye presupuestos y cronogramas, sólo estrategias.

Otro elemento de la administración es la organización, que se refiere a la estructura que permite a una empresa o institución producir el bien o servicio. El objetivo central de la organización es establecer un marco para actividades y autoridades, donde las personas pueden llevar a cabo sus labores con efectividad. Las actividades de organización pueden resumirse en las siguientes frases:

- ♦ “Divide y vencerás”. Se refiere a que una actividad o tarea por más difícil que sea de realizar, puede lograrse dividiéndola en sus componentes y logrando, paso a paso, cada meta. Al final, el

logro de todas las metas y el trabajo conjunto de todos los actores pueden lograr aquella tarea, por complicada que sea la misma. Esto también se aplica a la responsabilidad y la toma de decisiones a través de delegar adecuada y oportunamente las funciones, se reparte el esfuerzo.

- ♦ “Zapatero a tus zapatos”. La especialización permite que las personas puedan resolver problemas más complejos y en menor tiempo, de tal forma que si se ha dividido el trabajo y éste se efectúa por cada especialista, los resultados finales son mejores.
- ♦ “El que a dos amos sirve, con uno queda mal”. Es importante identificar claramente la línea de mando. En la administración pública puede haber problemas por esta causa si no se pone cuidado en establecer líneas de mando dentro de la administración compatibles con las redes políticas.
- ♦ “Dos cabezas piensan mejor que una”. Cuando es necesario tomar decisiones con grandes impactos, es recomendable reunir a varias personas y, en conjunto, tomar la decisión. En caso de dificultades para llevar a cabo este proceso, se puede recurrir a la línea de mando.

La dirección puede confundirse con la organización, la planeación y el control, en el sentido de que gran parte de las tareas del personal directivo se centra en estas actividades. La dirección de una empresa o institución consiste esencialmente en liderar, motivar y coordinar o comunicar a un grupo. Esto es, realizar las acciones necesarias para que los miembros de la organización efectúen las tareas encomendadas. La motivación no sólo se restringe al pago de los servicios, sino que debe incluir la satisfacción de las necesidades del empleado. El mayor enemigo de una organización es el miembro insatisfecho, y esto es responsabilidad de la dirección. La dirección se centra en establecer un pacto dinámico entre individuo y organización, liderando al grupo hacia el cumplimiento de los objetivos. Un líder es miembro del grupo, pero diferente a él, que guía, motiva y comunica. La comunicación se efectúa no sólo entre el líder y los miembros del grupo, sino que el líder facilita la comunicación en toda la organización y hacia afuera de ésta. La dirección, a su vez, tiene que verse como un proceso de produc-

ción de los servicios de “liderazgo”, “motivación” y “comunicación”, y por lo tanto la dirección también se administra al igual que todas las etapas.

El quinto elemento es el control, que implica la medición de lo logrado en relación con el estándar propuesto (plan) y la corrección de las desviaciones, para asegurar el logro de los objetivos. La esencia del control es la retroalimentación de la organización: verificar el estado de la empresa, institución o sistema, y compararlo con el plan mediante mediciones que permitan hacer análisis y llegar a conclusiones sobre las acciones pertinentes. El control incluye la evaluación de estrategias de corrección, para ajustar el estado actual al plan y determinar cuándo es necesario modificar o elaborar un nuevo plan. La evaluación de estrategias en la planeación es “el control de la producción del plan”.

3.3.2 El manual de operación y organización

Este documento como parte integrante de una PdC, describe la estructura, la asignación de tareas, el perfil de puestos, la línea de mando y, en general, la organización de la planta. Un modelo de la estructura del manual puede ser la siguiente:

Descripción general de la planta. Incluye la ubicación, el nombre del propietario y otros datos relevantes y se describe de forma general el proceso de compostaje y sus operaciones unitarias, y se elabora un listado de los documentos relacionados, ya sea de la producción o la administración.

Perfil de puestos. Incluye los conocimientos, las habilidades y las actitudes mínimas deseables, así como la totalidad de las actividades que debe realizar cada puesto dentro de la organización.

Organigrama. Incluye no solamente el diagrama que muestra la línea de mando, sino también el nivel para la asignación del sueldo o salario y la modificación de las líneas de mando en caso de ausencias cortas o largas. Se debe prever el cambio de la línea de mando en caso de eventos inusuales, como accidentes o catástrofes naturales, o también para actividades sociales, como son las deportivas o recreativas institucionalizadas.

Para el caso de plantas grandes, pueden elaborarse dos manuales: uno que describa con gran detalle las

actividades de cada persona en el seno de la institución, y otro que se ocupe de la línea de mando. Para el caso de la maquinaria compleja, es recomendable contar con un manual específico para ella y de esta forma se puede disminuir el tiempo durante la capacitación y la atención de eventos inusuales (accidentes). También puede desarrollarse un manual específico para eventos inusuales o actividades sociales.

Los manuales permiten el “fortalecimiento institucional”, pero no son lo único necesario. Un manual en sí es un conjunto de hojas impresas, sin utilidad alguna si el personal de la planta no lo conoce, ni lo sabe aplicar. La elaboración de los manuales requiere de un gran esfuerzo y resume los conocimientos que ya poseen las personas de la organización al momento de elaborarlo. Sin embargo, la utilidad de los manuales va más allá: los manuales facilitan la transmisión de conocimiento nuevo cuando se modifica el proceso, se adquiere un nuevo equipo o se integra nuevo personal. Los manuales permiten elaborar productos con calidad, y la carencia de aquellos dificulta el logro de este objetivo.

3.3.3 Recursos humanos

La base de cualquier empresa, institución o sistema son las personas. El recurso humano debe ser administrado aprovechando los mejores y mayores esfuerzos, y es el centro de la administración. Cualquier problema puede ser superado si el personal y la organización trabajan conjuntamente y ésta es esencialmente una tarea directiva que se centra en hacer compatibles los objetivos de los individuos con los de la organización.

La administración pública en ocasiones presenta problemas con respecto al personal debido a las redes políticas que la rodean. Estas redes deben ser una oportunidad para el beneficio de la PdC y en ningún momento un obstáculo, he aquí la habilidad del personal de dirección. Un proceso sencillo para lograr este aprovechamiento es:

- ♦ Estimar los conocimientos, habilidades y actitudes del personal.
- ♦ Comparar estas características con los puestos disponibles en la planta.
- ♦ Asignar el personal a los puestos considerando

primero las actitudes, después las habilidades y, por último, los conocimientos.

- ♦ Establecer las necesidades de capacitación. Es importante señalar que las actitudes son las que más tiempo tardan en generarse, seguidas de habilidades y, por último, los conocimientos. Una capacitación centrada en habilidades puede proporcionar los conocimientos necesarios y ayudar a moldear actitudes. Sin embargo, los mayores recursos de la capacitación deben asignarse a las actitudes debido a la dificultad de éstas para adquirirse.
- ♦ Contratar o rescindir contratos en función de las necesidades. Al igual que en la asignación anterior, las decisiones deben anteponerse a las actitudes sobre las habilidades y éstas sobre los conocimientos por los motivos ya mencionados.

La administración que valoriza más a las personas, tiene a su personal comprometido con la organización; sin embargo, un exceso en esta valoración puede dañar la organización al anteponerse los objetivos de los individuos a los de la organización. El mejor esquema es aquel que guarda un equilibrio dinámico.

3.3.4 Calidad

Una producción con calidad significa que existe una producción con resultados definidos y constantes. Un producto diseñado como la composta, al momento de fabricarse debe contar con las características de diseño requeridas. La composta se diseña con base en las características que permiten ofrecer al consumidor un producto útil. La calidad es mantener constante estas características a lo largo del tiempo. Si los productos difieren entre sí (por ejemplo un lote es más húmedo que otro) no se logra la calidad y el consumidor no tiene certeza sobre lo que realmente adquiere.

La calidad se logra controlando el compostaje en cada una de sus operaciones unitarias, las materias primas y el trabajo administrativo. Para alcanzar la calidad se pueden seguir los siguientes pasos:

Definir el producto. Con base en sus características, como color, olor, tamaño de partícula, humedad, carbono total, nitrógeno total, etc, atendiendo a las

normas técnicas vigentes (por ejemplo la PROY-NTEA-006-SEGEM-RS-2005) y las especificaciones particulares de los clientes. Éstos constituirán los estándares de calidad del producto.

Definir los elementos a controlar en cada operación unitaria y tarea administrativa. Se elabora un listado de características medibles para cada una de las operaciones unitarias y de las tareas administrativas.

Definir un programa de muestreo. Este programa puede ser aplicado en forma semanal, mensual o aleatoria. El muestreo se efectúa en el producto final y todas las operaciones unitarias y tareas administrativas. La programación del muestreo debe buscar interrumpir lo menos posible la producción.

Implementar el programa. Muestreando y midiendo las características seleccionadas. El registro de estas medidas permite llevar un control estadístico de la calidad.

Analizar estadísticas: Se elaboran talleres internos que permiten analizar los elementos causales de los problemas observados en el control de calidad. Se elabora un diagrama de causa-efecto que permite solucionar problemas existentes en la planta. Efectuar este análisis periódicamente permite asegurar la calidad.

La administración total de la calidad es un proceso administrativo que se centra en el control. Todas las tareas, tanto productivas como administrativas, tienen un estándar así como los “productos intermedios”. Estos productos intermedios no sólo se refieren a las fases intermedias de la producción, sino también a los productos de la administración, como son los informes, manuales, planes, ventas, compras, etc. Sólo las plantas con un departamento de calidad pueden hacer frente a los embates de un mercado cada día más globalizado.

3.3.5 Estimación de costos

La estimación de costos distribuye una porción de todos los gastos en cada producto. Este análisis permite obtener información sobre los puntos críticos en el proceso de producción y en la administración.

Un producto (bien o servicio) es resultado de la unión de los recursos materiales (máquinas, muebles,

vehículos, herramientas, materias primas) con los recursos humanos (personal) y los recursos financieros (dinero). Este producto incluye una parte de cada uno de estos elementos y es esta fracción lo que se desea estimar. Sin embargo, la fracción de recursos que se utiliza para un producto no es constante, depende del momento en que fue fabricado. Por tal motivo, es necesario hacer la referencia al lote o al tiempo, que puede ser mensual, semestral o anual.

Todos los recursos empleados para la producción tienen una expresión monetaria y pueden ser divididos en dos rubros:

Gastos. Son aquellos recursos en los que no se puede apreciar la contribución específica al producto. Por ejemplo, el personal secretarial es necesario para la producción, sin embargo, no dedica un tiempo específico para generar un producto. Dentro de este rubro se incluyen los gastos de administración, de distribución y financiamiento.

Costos. Son aquellos recursos en los que se puede apreciar una contribución precisa a la generación del producto. Por ejemplo, un empleado es capaz de trabajar 1,000 kg de composta terminada en un plazo de un mes. Dentro de este rubro se incluyen materias primas, mano de obra a destajo y gastos financieros periódicos.

Los costos definen la fracción de recursos en cada producto, no así los gastos. Para establecer la fracción de gastos se tiene que considerar un cierto periodo de tiempo, y así sumar los gastos del periodo más los costos utilizados durante el periodo, y obtener el total de recursos consumidos. La producción del periodo fue posible gracias a todos los recursos de dicho periodo. De esta forma se conocen los costos totales del producto.

Cuando existen varios productos generados en una misma planta, la situación se complica porque hay que estimar la cantidad de recursos que se emplean para uno y otro producto y esto es una tarea difícil que requiere de personal especializado en contabilidad de costos. Una de las principales complicaciones radica en el hecho de que entre más tipos de productos se fabriquen, menos recursos son necesarios para cada uno.

La estimación de costos en una PdC permite establecer el precio mínimo de venta y, consecuentemente, la rentabilidad de la planta. El precio de venta no debe ser menor que este mínimo, puesto que se estaría “subsidiando” la producción. En el caso de ser usada la composta en los parques y jardines del municipio, también se tiene que efectuar el análisis de costos y precios, para tener absolutamente claro los ahorros que la administración pública tiene al utilizar un producto elaborado para sí misma.

Las experiencias de producción de composta en México

4

Las primeras plantas de compostaje en México se construyeron a finales de la década 1960 y principios de la década 1970. Estas plantas generaron grandes expectativas; los objetivos de los promotores en esa época eran similares a los que se tienen hoy en día: recuperar materias primas para la industria de reciclaje, prolongar la vida útil de los sitios de disposición final, y mejorar la calidad de vida de los pepenadores. Para lograr estos objetivos, los gobiernos municipales o estatales invirtieron capital para acondicionar los sitios de operación, adquirir la maquinaria necesaria y capacitar a los operadores. Desgraciadamente, cerca de una tercera parte de las plantas instaladas en México han ido cerrándose, pues por diversas razones (técnicas, económicas, administrativas, políticas y sociales) dejaron de ser viables para los municipios que las operaban. Tales fueron los casos de las plantas de Guadalajara, Monterrey y San Juan de Aragón. Las plantas de Acapulco y Villahermosa se construyeron pero nunca operaron. También fracasaron las plantas de Oaxaca y Morelia. Por otra parte, muchas plantas han logrado superar obstáculos diversos y han logrado mantenerse en operación a través de los años. Ejemplos de plantas que continúan en operación y que logran los objetivos de reducción de RSU llevados al sitio de disposición final, así como objetivos educativos, son las de Bordo Poniente, Cuautitlán Izcalli, Atizapán de Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Universidad Autó-

noma Metropolitana (UAM), Jiutepec, Querétaro y Jalapa, entre otros.

Un estudio piloto del INE realizado en el año 2005 (INE 2005) identificó 61 plantas de compostaje, que estaban operando, o que hubieran operado en algún momento, en México. El enfoque del estudio fue la zona centro del país, así es que los resultados no reflejan la totalidad de las experiencias al nivel nacional; es de esperarse que existan y hayan existido más plantas en el resto de la República. Sin embargo, la muestra estudiada es importante y da elementos para un análisis de la operación de plantas municipales de compostaje en México.

En esta sección se presentan estadísticas de operación de plantas municipales de compostaje en varios estados del país, así como fichas descriptivas detalladas de algunas en el DF y el EM, y se hace un análisis de los factores de éxito y fracaso en las experiencias de compostaje municipal, basados en el estudio piloto.

4.1 Los promotores

La mayor parte de las plantas de compostaje son operadas por organismos públicos municipales, seguidos por instituciones educativas. El Gobierno del Distrito Federal opera la PdC más grande de la República Mexicana, la planta de Bordo Poniente, ubicada en el antiguo Lago de Texcoco dentro del territorio del EM. Las delegaciones del DF que cuentan con una PdC operan en predios asignados por cada delegación. Las

otras plantas de compostaje de la Ciudad de México son administradas por instituciones de educación superior o centros educativos. Tal es el caso de las plantas de la UNAM, el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM). Los Centros de Educación Ambiental cuentan con pequeñas plantas de compostaje y ofrecen talleres de capacitación a escuelas secundarias y grupos especializados.

En el EM la mayoría de las plantas de compostaje son operadas por sus respectivos organismos municipales. También hay casos en donde se establece una cooperación entre alguna institución social u organización no gubernamental y el municipio.

En el estado de Morelos, los actores principales provienen del sector privado y, en ocasiones, el esfuerzo realizado para iniciar una experiencia de compostaje municipal surge de la iniciativa de un

ciudadano individual. En el resto de la república los gobiernos municipales o estatales son los principales promotores de las plantas de compostaje existentes, de acuerdo a la muestra analizada.

4.2 Análisis de experiencias

En el cuadro 8 se muestran los nombres, la ubicación y la situación actual de las 61 plantas de compostaje que se identificaron en el estudio. Como se mencionaba anteriormente, el enfoque del estudio fueron los estados de México, Morelos y el Distrito Federal, lo cual explica la predominancia de plantas, que no incluye el total, en estas entidades. Cabe mencionar que los tamaños de las plantas varían mucho, desde la Planta de Bordo Poniente, que recibe aproximadamente 10 toneladas de residuos orgánicos al día, hasta plantas que reciben de 1-2 toneladas en el transcurso

CUADRO 8. LISTADO DE PLANTAS DE COMPOSTAJE IDENTIFICADAS

Nombre	Entidad federativa	Situación actual
PdC Bordo Poniente	DF	Activa
PdC de la Deleg. Alvaro Obregón	DF	Activa
PdC de la Deleg. Miguel Hidalgo	DF	Cerrada
PdC de la Deleg. Milpa Alta (5 plantas)	DF	Activa
PdC de la Deleg. Xochimilco	DF	Activa
PdC del Centro de Educ. Ambiental Ecoguardas	DF	Activa
PdC del Centro de Educ. Ambiental de Xochimilco	DF	Activa
PdC de Unidad Habitacional Independencia en la Deleg. Magdalena Contreras	DF	Activa
PdC de San Juan de Aragón	DF	Cerrada
PdC piloto de la UAM Iztapalapa	DF	Activa
PdC de la UNAM	DF	Activa
PdC del IPN	DF	Activa
PdC del ITESM	DF	Activa
PdC de residuos de pescados	DF	Activa
PdC de Cuautitlán Izcalli	México	Activa
PdC del Centro de Educ. Ambiental Yauclika	México	Activa
PdC de Cuautitlán México	México	Activa
PdC de Atizapán de Zaragoza	México	Activa
PdC de Capulhuac	México	Activa
PdC de Texcalyacac	México	Activa

(Continúa)

CUADRO 8. LISTADO DE PLANTAS DE COMPOSTAJE IDENTIFICADAS (CONTINÚA)

Nombre	Entidad federativa	Situación actual
PdC de San Lorenzo Huehuetitlan Tianguistenco	México	Activa
PdC de Xalatlaco	México	Activa
PdC de Amecameca	México	Activa
PdC de Nezahualcóyotl	México	Activa
PdC de Tlalmanalco	México	Cerrada
PdC de Tultepec	México	Cerrada
PdC de Hueyopxtla	México	N/D
PdC de Tepetlixpa	México	Activa
PdC de Tultitlán	México	Reactivando
PdC de Cocotitlán	México	Reactivando
PdC de Apaxco	México	Cerrada
PdC de Huixquilucan	México	N/D
PdC de la Universidad Tecnológica Fidel Velázquez	México	Activa
PdC de la Universidad Autónoma Chapingo	México	Activa
PdC de Toluca	México	Activa
PdC de Valle del Bravo	México	Construcción
PdC de Monterrey	Nuevo León	Cerrada
PdC de Aguascalientes	Aguascalientes	Activa
PdC de Acapulco	Guerrero	Nunca operó
PdC de Tonalá	Jalisco	Cerrada
PdC de Zapopan	Jalisco	Cerrada
PdC de Querétaro	Querétaro	Activa
PdC de Morelia	Michoacán	Cerrada
PdC Setzer	Morelos	Activa
PdC TepozEco	Morelos	Cerrada
PdC de Jiutepec	Morelos	Activa
PdC Tehuixtla	Morelos	Cerrada
PdC TIPMOR	Morelos	Activa
PdC de Cuernavaca	Morelos	Activa
PdC Rancho Los Molinos	Morelos	Activa
Programa integral Teocelo	Veracruz	Activa
PdC de Jalapa	Veracruz	Activa
PdC de Mérida	Yucatán	Activa
PdC de Oaxaca	Oaxaca	Cerrada
PdC de Villahermosa	Tabasco	Nunca operó
Cooperativa Orgánica del Centro Ecol. Akumal	Quintana Roo	Activa
PdC de Xcaret	Quintana Roo	N/D

N/D: información no disponible.

de un mes. En la sección siguiente se presentan fichas descriptivas con mayores detalles de 6 plantas de compostaje del EM y del DF.

El cuadro 8 resume el tipo de residuos que recibe cada planta, la fuente de dichos residuos y el destino que se da a la composta producida. Se observa que el tipo de residuo más común en las plantas es la poda de jardín, seguido por residuos orgánicos de alimentos (que pueden ser de mercados o de separación doméstica). En varios casos se incorpora también estiércol de caballerizas. En algunos casos se reciben lodos de plantas de tratamiento de aguas y en dos casos, bajo mucha supervisión e investigación, se incluyen excretas humanas (que en el proceso quedan libres de patógenos). Los residuos provienen en su mayor parte de parques, jardines y mercados municipales, si bien también se reciben residuos de ranchos, caballerizas, huertos y otras operaciones agropecuarias, así como de programas de separación doméstica de residuos orgánicos. El uso principal de la composta producida es para parques y jardines municipales e instituciones educativas. También se vende, dona o intercambia con agricultores o con la población en general. El tiempo de producción de la composta en las plantas estudiadas varía entre 2 y 6 meses.

Como parte del estudio mencionado, se entrevistó a expertos y operadores de plantas de compostaje para determinar los factores de éxito y de fracaso (cuadros 10 y 11) en la operación de PdC en México. Estas listas de factores hacen un recuento de experiencias reales de compostaje en México, y sirven para identificar la amplia gama de factores que pueden afectar la operación y el éxito de una planta. Su revisión minuciosa es importante para quien planea una PdC, con el objeto de prever cómo se van a atender y a evitar los posibles factores de fracaso, y cómo se puede fomentar la práctica de factores de éxito. En general, un factor de fracaso puede convertirse en factor de éxito cuando se atiende. La atención a las cinco dimensiones (política, económica, de planeación, técnica y social) redundará en mayores posibilidades de éxito.

Los centros de compostaje son operados en su mayoría por la autoridad local. Los que muestran un mayor impacto y que han logrado mayor continuidad son aquellos donde hubo colaboración entre el gobierno local y alguna institución civil. La incorporación de

participantes adicionales a la experiencia de compostaje municipal enriquece y favorece su buena marcha.

En cuanto al tipo de residuos tratados, se observa que el más común es el tipo I (residuos verdes), aun cuando el compostaje de los residuos del tipo II (residuos de cocina) es más urgente y necesario. Esto se explica por la disponibilidad de residuos en las plantas. En ninguna planta activa se han reportado problemas de acopio de materiales verdes. En cambio, ha habido ocasiones en los cuales el personal de las PdC tiene que salir a buscar residuos de ciertos componentes, como frutas y verduras, por ejemplo. La fuente principal de los residuos tratados proviene de las áreas verdes de los municipios locales. Los mercados de los municipios ocupan el segundo lugar en la estrategia de acopio de los materiales tratados.

La alternancia accidental entre los procesos aerobios y anaerobios es frecuente en la mayoría de las PdC debido a la falta de capacitación del personal de trabajo y a la poca accesibilidad a la herramienta adecuada para la aireación. Los tiempos de producción son muy variados; no obstante, es importante hacer notar que en todos los casos examinados esos periodos podrían reducirse con una mejor productividad. Los retrasos reportados surgen debido a problemas técnicos y administrativos de fácil resolución.

Los factores de fracaso identificados se relacionan unos con otros. Aunque no todas las experiencias negativas son comunes, existe un patrón de malas prácticas que resulta de la falta de información adecuada para operar los centros de compostaje. El fracaso más común es la producción de una composta de mala calidad. Después sigue la falta de un mercado desarrollado para el producto.

4.3 Fichas descriptivas

La información que se presenta en las fichas fue recolectada por la GTZ y el INE. Incluye la información referente a 6 PdC ubicadas en las cercanías de la Ciudad de México con factores de éxito relevantes. En la primera página se muestran las características generales de la PdC, así como algunos elementos gráficos distintivos. La segunda página incluye información técnica del compostaje y los datos de contacto. Es importante resaltar que al ser el compostaje una actividad en desarrollo las características descritas en las fichas pueden cambiar rápidamente.

CUADRO 9. TIPO DE RESIDUOS, FUENTE DE GENERACIÓN Y DESTINO DE LA COMPOSTA EN PLANTAS SELECCIONADAS

Nombre	Tipo de residuos*	Fuente de los residuos	Destino de la composta
PdC Bordo Poniente	I, II y IV	Áreas verdes y jardines de las delegaciones, alimentos de la Central de Abastos, generadores particulares de gran volumen	Parques y jardines de las delegaciones del DF, áreas verdes de escuelas públicas, saneamientos de celdas del relleno sanitario
PdC Deleg. Álvaro Obregón	I y III	Áreas verdes y jardines de la delegación y caballerizas; Cía. De Luz y Fuerza del Centro	Áreas de cultivo, parques y jardines de la delegación y distribución gratuita a la población; intercambio con tianguistas
PdC Deleg. Miguel Hidalgo	I, II, III	Residuos de las delegaciones Miguel Hidalgo y Azcapotzalco; residuos de la Cía. De Luz y Fuerza del Centro	Parques y jardines de las delegaciones, Bosque de Chapultepec; distribución gratuita a la población
PdC Deleg. Milpa Alta (5 plantas)	I y II	Restos de nopal, áreas verdes y jardines de la delegación	Distribución a ejidatarios de la zona, hortalizas y huertos frutales. Escuelas y deportivos de la comunidad
PdC Deleg. Xochimilco	I y III	Caballerizas de la zona y áreas verdes y jardines de la delegación	Programa de naturación de la zona con Chapingo, reforestación, escuelas
PdC Centro de Educ. Ambiental Ecoguardas	I y II	Áreas verdes del Centro y desperdicio de escuelas	Áreas verdes del Centro educativo
PdC UNAM	I	Áreas verdes y jardines de la UNAM	Áreas verdes y jardines de la UNAM
PdC piloto UAM Iztapalapa	I, II, V	Pañales desechables	Áreas verdes y jardines de la UAM
PdC San Juan de Aragón	VI	N/D	Venta en establecimientos públicos

(Continúa)

CUADRO 9. TIPO DE RESIDUOS, FUENTE DE GENERACIÓN Y DESTINO DE LA COMPOSTA EN PLANTAS SELECCIONADAS (CONTINÚA)

Nombre	Tipo de residuos*	Fuente de los residuos	Destino de la composta
PdC del IPN	I	Áreas verdes y jardines del IPN	Áreas verdes y jardines del IPN
PdC ITESM	I y II	Áreas verdes y jardines del ITESM	El vivero del campus para la producción de plantas para áreas verdes y jardines del ITESM
PdC de Cuautitlán Izcalli	I y III	Jardines del municipio y algunas industrias privadas del municipio	Jardines y áreas verdes del municipio, canchas de fútbol
PdC de Atizapán de Zaragoza	I, II y III	Ranchos y jardín del municipio y desecho domiciliario de los habitantes del municipio	Venta y donación para fomentar el programa de separación. Áreas verdes del municipio
PdC de Capulhuac	II	Esquilmos de borregos, residuos orgánicos de mercados y otros servicios	Venta y donación para fomentar el programa de separación
PdC de Xalatlaco	I y II	Residuo domiciliario de los habitantes del municipio	N/D
PdC de Amecameca	I y II	Podas de jardín del vivero y panteón. Residuos de tianguis y mercados	Venta a agricultores
PdC de Tlalmanalco	II	Residuo domiciliario de los habitantes del municipio	Venta de la composta a personas relacionadas con la floricultura; y donación de la composta para fomentar el programa de separación en los domicilios
PdC de Tepetlixpa	I, II y III	Podas, estiércol y desechos de la comida producida en los talleres de la escuela	Áreas verdes y jardines de la escuela; regalo a los agricultores locales
PdC de Cocotitlán	II	Residuos domiciliarios de un mercado local	Venta a futuro de la composta

(Continúa)

CUADRO 9. TIPO DE RESIDUOS, FUENTE DE GENERACIÓN Y DESTINO DE LA COMPOSTA EN PLANTAS SELECCIONADAS (CONTINUÍA)

Nombre	Tipo de residuos*	Fuente de los residuos	Destino de la composta
PdC Fidel Velázquez	II	Residuos domésticos de alumnos	Restauración de suelos de la universidad
PdC TepozEco	I, II y V	Áreas verdes del municipio de Tepoztlán; muy pocas cáscaras de naranjas provenientes del municipio y desechos humanos del Programa de los Sanitarios Secos de TepozEco	Ejidatarios y municipio de Tepoztlán
PdC TIPMOR	I	N/D	Venta a floricultores y viveros
PdC Teocelo	II	Basura orgánica separada del 85% de la población de la cabecera municipal	Regalo a los agricultores asociados al programa que cultivan en invernadero el jitomate y el chile morrón
PdC Mérida	I	Jardines y áreas verdes del municipio	Jardines y áreas verdes del municipio
PdC Akumal	II	Restaurantes y otros establecimientos privados	N/D

* I: poda de jardín. II: residuos de alimentos. III: residuos de animales/estiércol. IV: lodos. V: excretas humanas.

VI: residuos sólidos urbanos separados fuera del origen.

N/D: información no disponible

CUADRO 10. FACTORES DE FRACASO EN PLANTAS MUNICIPALES DE COMPOSTAJE EN MÉXICO

Factores políticos

- ♦ La falta de prioridad dada por la autoridad municipal porque percibe otros problemas urbanos como más urgentes
- ♦ La falta de continuidad de los proyectos en la administración municipal
- ♦ La falta de iniciativa por parte de la autoridad municipal
- ♦ La falta de involucramiento del sindicato o los trabajadores de limpia
- ♦ La falta de veracidad o de verificación de la información que proporcionan los distribuidores de ciertas tecnologías
- ♦ La suerte de los centros de compostaje depende de las decisiones de las autoridades y de los años electorales
- ♦ La corrupción que puede existir en torno a la construcción y operación de una planta de gran escala
- ♦ Las limitantes legales relacionadas con la comercialización de la composta por parte de los municipios.

Factores económicos

- ♦ La percepción de que es más costoso producir composta que disponer de la basura orgánica en un relleno sanitario
- ♦ La percepción de amenaza por parte de quienes actualmente se benefician económicamente del manejo de los residuos
- ♦ La incorrecta percepción de que la composta debe competir con los fertilizantes
- ♦ Los costos de operación pueden ser relativamente altos para plantas de compostaje pequeñas
- ♦ No se cobra el ingreso de la basura en los sitios de disposición final
- ♦ La composta no es rentable para muchos agricultores, el costo del transporte es elevado, la calidad y los tiempos de entrega no son confiables
- ♦ La falta de subsidio para operar las plantas de compostaje
- ♦ Problemas de flujo de dinero relacionados con contrataciones y concesiones privadas para el manejo de los centros de compostaje.

Factores sociales

- ♦ Falta de cultura del manejo de la composta, existe un desconocimiento de los usos y beneficios de la composta
- ♦ Las plantas de compostaje en México son poco conocidas
- ♦ La composta ha sido estigmatizada y tiene una mala reputación a raíz de sus malos antecedentes, hoy en día los posibles compradores desconfían del producto
- ♦ Falta de apoyo o rechazo de los centros de compostaje por parte de la sociedad civil, vecinos inconformes por olores y ruido.

Factores de planeación y administrativos

- ♦ La producción de la composta es mayor que la demanda en varios municipios, falta un mayor aprovechamiento del producto
- ♦ No existe un mercado desarrollado para la composta
- ♦ La comercialización de la composta no se considera como parte integral del proyecto de planeación y manejo de las PdC
- ♦ Falta estructurar a largo plazo el manejo de una planta de compostaje de gran escala
- ♦ Estudios de factibilidad mal realizados, falta una mayor transparencia y claridad en los costos de producción de la composta

(Continúa)

-
- ♦ La inadecuada ubicación de algunas plantas de compostaje, su lejanía con respecto al sitio de disposición final, al origen de los residuos o al mercado de consumo
 - ♦ La falta de espacio dentro de las plantas de compostaje
 - ♦ Faltan vehículos y recursos para garantizar el acopio, ineficiencia en el acopio del material en los mercados y en el sector industrial
 - ♦ La falta de un programa incentivos para los pepenadores causa una baja eficiencia en la separación de los residuos
 - ♦ La falta de cooperación de los recolectores quienes no entregan el producto orgánico a las plantas o la separan inadecuadamente
 - ♦ La falta de comunicación y coordinación entre los recolectores y los trabajadores de las PdC
 - ♦ La burocracia en los ayuntamientos y municipios causa atrasos en la operación de las PdC
 - ♦ Poca motivación de los recolectores para capacitar a la población y recolectar la basura separada
 - ♦ La producción de la composta no está bien distribuida en los municipios o ciudades: hay zonas con plantas poco productivas por falta de insumos y otras áreas sin plantas de compostaje.

Factores técnicos

- ♦ No se realizan pruebas preliminares del proceso antes de la instalación de la planta, los cambios al proceso se efectúan conforme se presentan los problemas en la planta
 - ♦ La vulnerabilidad de las plantas de compostaje ante la alta probabilidad de incendio en los basureros
 - ♦ Falta de adecuada separación del material en el servicio de acopio y transferencia, la limpieza de residuos mal separados en la planta toma mucho tiempo y esfuerzo
 - ♦ Falta de capacitación del personal en las plantas de composta
 - ♦ Fallas mecánicas que causan atrasos en la producción de composta
 - ♦ Introducción de tecnologías extranjeras incompatibles o que no se han probado localmente, el diseño y el funcionamiento de la maquinaria no se adapta a las características de los residuos mexicanos
 - ♦ Compra de maquinaria muy especializada cuyas refacciones resultan difíciles de conseguir localmente
 - ♦ La falta de equipamiento y maquinaria adecuada para operar las plantas de compostaje causa atrasos considerables en la producción de la composta
 - ♦ La pobre estimación del volumen de residuos a recibir, sus características y composición, por estaciones del año
 - ♦ Problemas de abastecimiento de agua en las plantas de compostaje
 - ♦ Pobre control de calidad de la composta y producción de composta de baja calidad
 - ♦ Falta de control de calidad de las pilas de composta y las dificultades en el proceso de volteo
 - ♦ Diseños inadecuados de la maquinaria (contenedores, bandas transportadoras, etc.)
 - ♦ Los sistemas automatizados de control de la maquinaria no han dado buenos resultados
 - ♦ Existe una constante fuente de problemas de mantenimiento creando altos costos, los martillos de los molinos se desgastan rápidamente debido a que son muy abrasivos los residuos mexicanos
 - ♦ Alta intensidad de ruido
 - ♦ Baja productividad de los trabajadores.
-

Factores políticos

- ♦ Las autoridades municipales reconocen que las plantas de composta ofrecen beneficios ambientales, sociales y políticos
- ♦ Los actores políticos reconocen el valor de la composta como una solución viable para reducir el volumen de los RSU en los municipios e incrementar la restauración del suelo
- ♦ La población es consciente de los beneficios de hacer y de usar composta
- ♦ Se logra asegurar la continuidad de operación de los programas de separación de orgánicos y la operación de la planta, de una administración municipal a la siguiente
- ♦ La autoridad ofrece garantías a los diferentes actores que producen y consumen la composta.

Factores económicos

- ♦ Existe un sistema de cobro para recolectar y procesar los RSU
- ♦ Se reutiliza la composta en terrenos del municipio o institución educativa
- ♦ Se produce una composta con calidad que es factible vender
- ♦ Existe demanda para composta en la zona (ya sea en áreas urbanas o rurales)

Factores administrativos y de planeación

- ♦ Existe seriedad en el acopio y se garantiza la puntualidad del material de entrada
- ♦ Están previstos recursos para el mantenimiento y reemplazo del equipo y maquinaria
- ♦ Existe suficiente espacio en la planta para almacenar la composta producida mientras se distribuye
- ♦ Existe colaboración y buena voluntad del personal de recolección de los residuos
- ♦ Existe una recolección separada de los residuos
- ♦ Hay acceso al agua, ubicación de la planta cerca de una fuente de agua
- ♦ La operación y la administración de una PdC es igual a la de una pequeña o mediana empresa privada.

Factores técnicos

- ♦ El personal que opera la planta de composta está capacitado y motivado
- ♦ La planta cuenta con equipo para monitorear el proceso de producción
- ♦ Se preselecciona el material en la planta
- ♦ La producción de la composta es continua, sin interrupciones
- ♦ Existe un efectivo proceso de separación y un buen control de la calidad de los residuos que entran a la planta

Factores sociales

- ♦ Existe conciencia de la sinergia que representa lo que es un “residuo” para un ciudadano y un “mejorador de suelos” para un agricultor
 - ♦ La sensibilización y buena disposición de la población para separar los residuos en los domicilios
 - ♦ La población y los tomadores de decisiones ven resultados concretos. Una planta bien operada, un programa de separación bien llevado, la disponibilidad y el uso de composta de buena calidad
 - ♦ Se conjugan esfuerzos personales con esfuerzos individuales, y se cuenta con el apoyo de la población civil.
-

Datos generales

TIPO DE PLANTA

- ◆ Planta de lombricompostaje de 1,200 m² de terreno que pertenece al Ayuntamiento.

INICIO

- ◆ El programa se inició en febrero de 2001.

Localización y descripción de la zona

UBICACIÓN

- ◆ El municipio de Amecameca está localizado al sureste del EM, en un área cercana a la Sierra Nevada, abarcando 181.72 km².

POBLACIÓN

- ◆ 48,363 habitantes (2005) con una tasa de crecimiento anual de 1.3%.

CLIMA

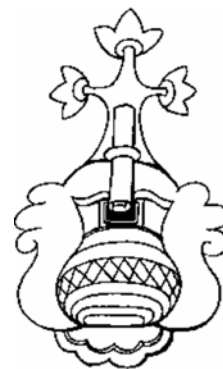
- ◆ Templado subhúmedo con lluvias en verano; temperatura promedio anual de 13.2° C; y situado a una altitud media de 2,480 msnm.

Objetivos del proyecto

El programa funciona en gran parte por la convicción personal del responsable de la planta hacia el cuidado del medio ambiente. Tiene un objetivo educativo y para reducir los residuos que se vierten en el sitio de disposición final. Además de su aplicación en las actividades del vivero, la composta se emplea para actividades de reforestación del municipio. Se está estudiando su factibilidad para la aplicación en actividades agrícolas.

Estadísticas

- ◆ La municipalidad genera 19 t de RSU al día, de las cuales un 41% (7.8 t) son de tipo orgánico.
- ◆ La planta recibe un total de 2.15 t de desechos orgánicos al mes.
- ◆ Solamente 1% de los residuos orgánicos de la municipalidad son tratados en Amecameca.
- ◆ En 2004 se generaron 23 t de composta.



Descripción del programa

El programa se inició en 2001 bajo la Dirección de Servicios Públicos, y forma parte del plan de desarrollo municipal. La recolección de los residuos se efectúa de manera separada y los residuos suelen provenir de podas del vivero y del panteón, cáscaras de frutas de algunos tianguis y residuos de mercados. La planta se ubica dentro de un vivero que pertenece al ayuntamiento.

Detalles técnicos del programa

Entrega: la recolección se hace manualmente por los responsables, quienes colectan residuos verdes y podas del panteón y del vivero. Las cáscaras de frutas de algunos tianguis y los desechos orgánicos de los mercados son recolectados en ocasiones por un camión municipal de 1.5 t. **Preparación:** los desechos se incorporan directamente sin trituración en 12 pilas de precompostaje de 3.6 x 1.5 x 0.6 m colocadas sobre una capa de geomembrana. El proceso dura 20 días, y las pilas son cubiertas con plástico. El lixiviado se recolecta y se recicla. **Composta:** El precompostaje se alimenta cada 20 días en capas con 15 cm a 3 pilas con lombrices (1.5 t de lombrices en toda la planta). Las pilas de 30 x 1.2 x 0.50 m se colocan sobre el suelo. El riego se realiza cada 8 días, según la estación. Las pilas son cubiertas con ramas para evitar su desecación. **Utilización:** Al cabo de 3 meses la composta se recolecta, después de retirar las lombrices, y se guarda en una bodega antes de ser cribado y empacado en costales de 50 Kg.

Particularidades

Todo el proceso se lleva a cabo manualmente. La composta producida es muy fina y de alta calidad.

Aspectos sociales

Tres empleados (uno de tiempo parcial) cuentan con seguridad social. La planta se cierra por las noches y el público no tiene acceso directo. A pesar de esfuerzos del responsable, el apoyo público es mínimo. Los empleados no poseen una capacitación especial aunque el responsable es biólogo de profesión. Talleres y visitas a la planta se organizan para los estudiantes con el fin de promover y difundir la importancia del compostaje.

Aspectos ambientales

Se efectúa la recolección de los lixiviados durante la primera fase del compostaje para analizar su composición y posible aplicación en la silvicultura. Pruebas de composición de la composta y del lixiviado se realizaron durante los años 2002, 2004 y 2005.

Aspectos económicos y comerciales

De las 23 t producidas se vendieron 11 t a los agricultores a \$1000 (MX) la tonelada. Se estima que cada tonelada de composta producida cuesta \$1238 (MX). El resto de este producto se utiliza en el vivero. El ayuntamiento paga los sueldos de los trabajadores, \$10630 (MX) mensuales y adquiere la maquinaria y las herramientas solicitadas por el responsable de la planta. La planta no cuenta con conexión eléctrica, el agua proviene del escurrimiento de nieve y se guarda en una cisterna de 60 m³.

Planes futuros del programa

La planta tiene como objetivo principal continuar incrementando el volumen de lombrices, para aumentar la cantidad de composta producida y disminuir el tiempo del proceso. Se está planeando una ruta piloto para realizar la recolección separada de desechos orgánicos domésticos en algunas colonias del municipio.

Éxitos y problemas

La razón principal del éxito del programa reside en la experiencia técnica y la motivación del responsable. La planta no cuenta con gran apoyo por parte de la ciudadanía y el apoyo del ayuntamiento es insuficiente.

Contactos

Autoridad responsable del programa: Ayuntamiento de Amecameca.

Contacto en la PdC: Coordinación de Ecología

Dirección del contacto: Plaza de la Constitución No. 1

Centro, Amecameca, C.P 55660

Teléfono del contacto: +52 597 97 80 748.

Datos generales

TIPO DE PLANTA

- ♦ Aeróbica de 1000 m² de terreno dentro del sitio de disposición final municipal.

INICIO

- ♦ El programa se inició en julio de 1999.

Localización y descripción de la zona

UBICACIÓN

- ♦ El municipio está ubicado en el noreste de la Ciudad de México dentro del EM, abarcando 89.88 km².

POBLACIÓN

- ♦ 472,526 habitantes (2005), con una tasa de crecimiento anual de 0.2 %.

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 msnm.

Objetivos del proyecto

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. La composta 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.

Estadísticas

- ♦ La municipalidad produce 500 t de desechos al día, de los cuales un 49% (245 t) es de tipo orgánico.
- ♦ La planta recibe un total de 120 m³ aproximadamente por mes, que representan 48 t de desechos orgánicos.
- ♦ El 0.8 % de los residuos orgánicos totales del municipio son tratados.
- ♦ La planta produce 54 m³ de composta al mes.



Descripción del programa

El programa de compostaje está gestionado por el Ayuntamiento de Atizapán a través de la Dirección de Servicios Públicos, con una alta participación de la población (hasta un 85% en algunas colonias). Consiste en la recolección selectiva de residuos orgánicos domésticos de diversas colonias, además de las podas y pasto de las áreas públicas del municipio, de estiércol de algunos ranchos y árboles de navidad desechados.

Detalles técnicos del programa

Entrega: los desechos domiciliarios orgánicos son colectados 3 días a la semana con 12 camiones, los otros desechos son colectados por 7 camiones del área de parques y jardines. **Preparación:** las podas son molidas con una trituradora; los empleados abren las bolsas de residuos orgánicos domiciliarios y retiran los inorgánicos. **Composta:** la materia orgánica se coloca en capas alternativas de pasto, desechos domésticos y poda triturada hasta alcanzar pilas de 20 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 pipa. Los volteos se hacen con retroexcavadora una vez por semana o cuando la maquinaria está disponible. **Utilización:** la cosecha de la composta se realiza manualmente y, cuando se regala, se criba. Si es para uso municipal dentro de los parques y jardines se aplica sin cribar.

Particularidades

La planta esta ubicada sobre el primer relleno sanitario del EM, construido en 1997.

Aspectos sociales

En total 9 empleados trabajan en la planta. Tienen seguridad social y uniformes adecuados para las operaciones de producción de la composta. Dos empleados están sindicalizados con un contrato colectivo de tipo anual, los demás tienen contratos

renovables por 3 meses. La participación de la población de las colonias que separan su basura es en promedio del 64%. No se han desarrollado campañas masivas de promoción en el municipio. El público no tiene acceso a la planta salvo durante visitas guiadas al relleno y a la planta.

Aspectos ambientales

No se hace ningún tipo de monitoreo físicoquímico de la composta. Los lixiviados de las pilas se infiltran en las celdas del relleno sanitario.

Aspectos económicos y comerciales

De momento no se vende la composta, ya que las cantidades producidas no alcanzan a cubrir la demanda municipal. La planta es totalmente financiada por el ayuntamiento incluyendo los sueldos y la maquinaria. Los gastos anuales de la planta ascienden a \$201,896 (MX).

Planes futuros del programa

El ayuntamiento tiene planeado incrementar el número de colonias participantes con una recolección separada (orgánicos e inorgánicos), además de recolectar los residuos de los mercados.

Éxitos y problemas

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.

Contactos

Autoridad responsable del programa: Ayuntamiento de Atizapán de Zaragoza

Contacto en la PdC: Dirección de Servicios Públicos
Dirección del contacto: Blvd. Adolfo Lopez Mateos No. 91
Atizapán de Zaragoza, C.P. 54500

Teléfono del contacto: +52 (55) 50 95 29 00

Datos generales

TIPO DE PLANTA

- ♦ Aeróbica y lombricompostaje de 2.6 ha perteneciente al ayuntamiento.

INICIO

- ♦ El programa se inició en 1998.

Localización y descripción de la zona

UBICACIÓN

- ♦ El programa se desarrolla en el municipio de Capulhuac, EM. El municipio está ubicado al sureste de la Ciudad de Toluca y cubre una superficie de 21.5 km².

POBLACIÓN

- ♦ 30,838 habitantes (2005) con una tasa de crecimiento anual de 1.4%.

CLIMA

- ♦ Templado subhúmedo a frío, con una temperatura anual media de 13° C, situada a una altitud media de 2,630 msnm.

Objetivos del proyecto

El programa está dirigido principalmente a la reducción de los desechos que se depositaban en el tiradero, además de manejar gran cantidad de esquilmos y residuos producidos en el municipio (entre 30-45 ton/semana). El sitio de compostaje se localiza a un costado de un centro de acopio, otra alternativa con la cual también se intenta reducir los volúmenes de desechos enviados al tiradero.

Estadísticas

- ♦ La municipalidad genera 17.6 t de RSU al día, de los cuales un 51% (8.9 ton) son de tipo orgánico.
- ♦ El 100% de los RSU son recolectados por separado, en orgánicos e inorgánicos, y son llevados a la planta de separación y compostaje antes del sitio de disposición final.
- ♦ Son entregados a la planta un total de 267 t de residuos orgánicos al mes.
- ♦ El 98% de los residuos orgánicos de Capulhuac son tratados en la planta.
- ♦ La planta produce aproximadamente 90 toneladas de composta por mes.



Descripción del programa

El programa es administrado por el V Regidor de Capulhuac. Consiste en la recolección selectiva de residuos orgánicos domiciliarios 3 días a la semana, además de la colección de esquilmos y residuos orgánicos de mercados, comercios y otros servicios.

Detalles técnicos del programa

Recepción: los desechos son recolectados con 7 camiones, 3 días a la semana. Los particulares también pueden ingresar a la planta con vehículos privados para depositar sus desechos.

Preparación: no se hace preparación para el compostaje, como trituración o molienda, por falta de equipo. Los empleados abren las bolsas que contienen los orgánicos y eliminan inorgánicos antes de que los incorporen en pilas.

Composta: la materia orgánica se coloca en 107 pilas de 4 x 16-20 x 1.5 m sobre suelo sin recubrimiento. El proceso dura 5-6 meses y las pilas se riegan, según la estación, cada 15-20 días partir del 2º mes con mangueras. El agua proviene de un canal de riego. Las pilas son volteadas cada 15 días con una retroexcavadora (que no funciona adecuadamente).

Lombricompostaje: las 3 a 4 pilas con lombrices rojas de California se compostan 3 meses antes de incorporarse en las pilas. **Utilización:** la cosecha de composta se realiza durante el quinto mes, se criba y se empaca en costales de 50 kg.

Particularidades

Debido a que la tradición de la elaboración de la barbacoa es muy importante en el municipio, una gran parte de los residuos entregados en la planta incluyen esquilmos de borregos. La generación se estima de 30 a 45 t de esquilmos por semana.

Aspectos sociales

Son 10 las personas que trabajan 6 días a la semana en la planta. Todas poseen seguridad social, equipamiento de protección adecuado (guantes, tapabocas, y uniformes). Los empleados han tenido previamente la oportunidad de participar en talleres de formación sobre el tema de la producción de composta. La participación de la población es primordial para el buen funcionamiento de la planta ya que la recolección

separada cubre todo el municipio. La planta se cierra por la noche y el público no tiene acceso directo a la misma.

Aspectos ambientales

No se hace recolección de los lixiviados. Al principio se hicieron muestras físico-químicas; la última data de noviembre 2004.

Aspectos económicos y comerciales

La composta se vende a \$1000 (MX) por tonelada. Aproximadamente 8000 costales son almacenados en la planta. La composta se vende a agricultores, y a otros municipios, y se regala a la población para uso en sus jardines. Los empleados ganan \$2600 (MX) al mes. La PdC está totalmente financiada con el presupuesto otorgado por el ayuntamiento.

Planes futuros del programa

Tratar de continuar el programa de compostaje. Encerrar con plástico las pilas para evitar generación de lixiviados y mejorar con ello el proceso.

Éxitos y problemas

La planta posee maquinaria bastante especializada y una mecanización del proceso pero, por falta de dinero y de soporte, no se puede efectuar las reparaciones necesarias. Existe mucho retraso en la separación y la selección de los residuos reciclables entregados en la planta. La criba adquirida en 1997 no se ha utilizado debido a que es inadecuada para los residuos. Se observan claramente fallas en la gestión de la planta debido a problemas políticos locales.

Contactos

Autoridad responsable del programa: Ayuntamiento de Capulhuac

Contacto en la PdC: Quinta Regiduría

Dirección del contacto: Plaza Hombres Ilustres, Centro, Capulhuac, C.P: 52700

Teléfono del contacto: +52 (71) 31 33 56 24, +52 (71) 31 35 41 72

Datos generales

TIPO DE PLANTA

- ♦ Aeróbica con un área de 6400 m², la cual pertenece al ayuntamiento.

INICIO

- ♦ El programa se inició en 1998.

Localización y descripción de la zona

Ubicación

- ♦ El municipio de Cuautilán Izcalli EM está localizado en el noroeste de la Ciudad de México, abarcando 109.92 km².

Población

- ♦ 498,021 habitantes (2005) con tasa de crecimiento anual de 1.9%.

Clima

- ♦ Predomina clima templado a subhúmedo 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.

Objetivos del proyecto

La principal razón de haber construido la PdC 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 ayuntamiento a través de la Dirección de Ecología.

Estadísticas

- ♦ La municipalidad produce 574 t diarias de RSU, de las cuales un 26% (149 t) son de tipo orgánico.
- ♦ La planta recolecta alrededor de 208 t de residuos orgánicos por mes.
- ♦ La planta trata un 5% de los residuos del municipio.
- ♦ De enero a julio de 2005 se produjeron 350 t de composta.



Descripción del programa

El programa de compostaje es administrado por la Dirección de Ecología del Ayuntamiento. 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 colonias.

Detalles técnicos del programa

Entrega: los desechos son llevados por camiones municipales de la Dirección de Servicios Públicos y Privados. **Preparación:** las podas son molidas 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 pipa, según la temporada del año. Las pilas son volteadas cada semana con un cargador frontal. **Utilización:** La composta se criba y se empaqueta en costales rotulados.

Particularidades

Sólo se emplean residuos orgánicos provenientes de grandes generadores, esto es RME.

Aspectos sociales

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. Está permitido el acceso al público a la planta durante el horario de labores.

Aspectos ambientales

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 físico-químico del producto, pero si se realizan mediciones de pH y de temperatura cada tres días.

Aspectos económicos y comerciales

La composta se intercambia con base en \$1200 (MX) la tonelada, aunque por razones fiscales no se puede vender, por lo que los clientes pagan en especie, con donación de equipos o herramientas, y lo hacen principalmente a particulares. El costo de producción se estima en \$400 (MX) por tonelada. Los empleados ganan entre \$2400 (MX) y \$5600 (MX) al mes. La municipalidad paga los sueldos y participa en la compra de maquinaria.

Planes futuros del programa

La planta va trasladarse a un sitio con mayor espacio. Se desea incrementar la recolección domiciliar separada de RSU hasta lograr un 10% del total de los residuos orgánicos municipales. Se ha comprado un tractor y aireador mecánico para voltear las pilas con mayor facilidad.

Éxitos y problemas

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.

Contactos

Autoridad responsable del programa: Ayuntamiento de Cuautitlán Izcalli

Contacto en la PdC: Dirección de Ecología.

Dirección del contacto: Calle Planeta No. 3, Col. Rincón Colonial, 54730 - Cuautitlán Izcalli, Estado de México.

Teléfono del contacto: +52 (55) 58 64 09 50

Datos generales

TIPO DE PLANTA

- ◆ Varios tipos de compostaje de aeróbico y anaeróbico realizado en un centro escolar público.

INICIO

- ◆ El programa se inició en 1990.



Localización y descripción de la zona

UBICACIÓN

- ◆ El municipio de Tepetlixpa está localizado en el sureste del Estado de México y abarca 46.68 km².

POBLACIÓN

- ◆ 16912 habitantes (2005) con una tasa de crecimiento anual de 0.1%.

CLIMA

- ◆ Predomina el clima templado a subhúmedo, con lluvias en verano. La temperatura media anual máxima es de 18.2° C. Situado a una altitud media de 2340 msnm.



Objetivos del proyecto

La principal razón para haber construido la PdC dentro de la escuela es por convicción personal del responsable. La planta se enfoca en la investigación sobre el compostaje y las posibilidades educativas. La composta se aplica dentro de la escuela en los árboles frutales y plantaciones de diversas hierbas y flores. Se regala también a algunos agricultores con fin de difundir sus beneficios.

Estadísticas

- ◆ La municipalidad de Tepetlixpa produce 6 t de residuos diarios.
- ◆ La planta recolecta los desechos orgánicos generados en la escuela.



Descripción del programa

El programa de compostaje es gestionado por los profesores de la escuela. Los residuos son recolectados de manera separada y consisten en podas, estiércol y desechos de talleres de comida producidos por la escuela.

Detalles técnicos del programa

Entrega: los residuos son recolectados manualmente dentro de la escuela por los estudiantes y maestros involucrados.

Preparación: según el tipo de composta. **Composta:** Varias formas de hacer composta han sido experimentadas en la escuela. La pila de lombricompostaje está tapada con plástico, mide 1.5 x 17 x 0.5m y se encuentra sobre una cama fabricada con tabiques. Otros tipos de tratamiento incluyen fermentación anaeróbica en bote (tambo), lombricompostaje en bote, así como la preparación de un biofertilizante con base composta y NaOH. **Utilización:** la composta no se criba ni se empaqueta. Se usa tal cual en aplicaciones específicas de la escuela y, ocasionalmente, se regala a particulares o agricultores.

Particularidades

El programa no tiene metas económicas, es un proyecto con objetivos exclusivamente educativos.

Aspectos sociales

La escuela cuenta con 327 estudiantes quienes colaboran regularmente en las operaciones para producir la composta. El responsable difunde sus conocimientos a través de talleres escolares en el municipio, en el EM y a nivel nacional e internacional.

Aspectos naturales

No se hace la recolección de los lixiviados. Tampoco ningún tipo de monitoreo fisicoquímico de la composta. Solo se hace el monitoreo a vista y con base en la experiencia obtenida a través de los años.

Aspectos económicos y comerciales

Aunque no recibe ningún tipo de financiamiento por parte de la municipalidad, el responsable fue premiado con el máximo galardón en materia de medioambiente otorgado por el gobierno del EM debido a la calidad de su trabajo. La composta se usa dentro de la escuela para abonar a plantas y árboles. Ocasionalmente, se regala a agricultores para divulgar y fomentar actividades de agricultura orgánica.

Planes futuros del programa

El responsable desea mantener la producción de la planta y, de ser posible, aumentar el volumen de la composta producida; así mismo se desea utilizar las aguas residuales de la escuela para regar las pilas y los botes de compostaje.

Éxitos y problemas

El programa es exitoso por su carácter educativo y formativo para los estudiantes. Se puede decir que su impacto es importante y el responsable cuenta con reconocimiento social por su trabajo dentro de la región y el EM.

Contactos

Autoridad responsable del programa: Escuela Técnica No. 14 de Tepetlixpa

Contacto en la PdC: Profesor Gumersindo León Guzmán
Dirección del contacto: Secundaria Técnica No. 14, Carretera México-Cuautla, Tepetlixpa, Estado de México.

Teléfono del contacto: +52 (59) 7975 - 0156, +52 (59) 7975-0208

Datos generales

TIPO DE PLANTA

- ♦ Planta de composta aeróbica con más de 6,000 m² que pertenece al Gobierno del Distrito Federal.

INICIO

- ♦ El programa se inició en 1988.

Localización y descripción de la zona

UBICACIÓN

- ♦ Se ubica a un costado del relleno sanitario de Bordo Poniente dentro de terrenos federales en el EM y el límite con el DF.

POBLACIÓN

- ♦ En todo el DF hay más de 8 millones de habitantes.

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 2,240 msnm.

Objetivos del proyecto

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. La composta que se produce se utiliza en los parques y jardines de las delegaciones del DF, en las áreas verdes de escuelas públicas, y para sanear las celdas del relleno sanitario.

Estadísticas

- ♦ El Distrito Federal produce 12,000 t de residuos sólidos diarios de los cuales el 50% son orgánicos
- ♦ La planta de Bordo Poniente recibe 10 t de residuos orgánicos al día
- ♦ La planta trata el 0.16% de los residuos orgánicos del DF.



GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL
México, la Ciudad de la Esperanza



Descripción del programa

La planta de Bordo Poniente está administrada por la Dirección General de Servicios Urbanos de la Secretaría de Obras y Servicios del Gobierno del Distrito Federal.

La poda y pasto de las áreas verdes y jardines de las delegaciones son recolectados de manera separada y entregados a la planta. Así mismo, los desperdicios de alimentos de la Central de Abastos ingresan a la planta. Algunos generadores particulares de alto volumen están autorizados para ingresar sus productos en la planta. Los residuos orgánicos separados en los domicilios de algunas delegaciones también se depositan en esta planta.

Detalles técnicos del programa

Entrega: a Central de Abastos entrega 2 a 3 cajas de transferencia de verduras y flores (60 ton) diariamente. La delegación Azcapotzalco entrega 1 caja de transferencia (20 ton) previamente seleccionada en la delegación diariamente.

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 pipa está disponible para regar las pilas. 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.

Particularidades

La planta de Bordo Poniente es la más grande de México.

Aspectos sociales

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 delegaciones que separan efectivamente los residuos orgánicos domésticos y otras que no separan adecuadamente. La planta de Bordo no está abierta al público aunque existe un programa de visitas para difundirla y mostrar su funcionamiento a grupos interesados.

Aspectos ambientales

Un pequeño laboratorio en la planta permite medir el pH y la temperatura de las pilas. Se ha establecido colaboración con el IPN para realizar diversos estudios de carácter medioambiental y técnico en la planta.

Aspectos económicos y comerciales

La composta que se produce en la planta no se vende debido a restricciones administrativas. La planta es totalmente financiada por el Gobierno del DF.

Planes futuros del programa

La planta de Bordo Poniente sigue a prueba. Si da buenos resultados se tiene contemplado aumentar su tamaño.

Éxitos y problemas

La falta de equipamiento adecuado retrasa la producción de la composta 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 las diferentes delegaciones y los responsables de la planta.

Contactos

Autoridad responsable del programa: Gobierno del Distrito Federal

Contacto en la PdC: Dirección General de Servicios Urbanos

Dirección del contacto: Carretera México- Texcoco km 2.12 de la autopista Peñon Texcoco, Zona Federal del proyecto del lago de Texcoco, Estado de México.

Teléfono del contacto: +52 (55) 5799 2241

Lo que hay que tener en cuenta:

Ubicación

Para mediar ambiente un pedazo del material de la pila en su mano, estará correcto si puede hacer una pelota que no caiga ni se desmenuza fácilmente (como una esponja bien estrujada). Si está seco, aunque material húmedo (verde) o agua.

Temperatura

Dependiendo de los materiales añadidos a la pila y la frecuencia de volteo, habrá un alza de temperatura dentro de ésta, debido a la actividad de los microorganismos.

Esto es bueno porque indica que el compostaje se hace más rápido. Cuando la compostaje está así lista, bajará sin importar cuántas veces voltee.

Microorganismos

Si su pila o compostera se ubica directamente sobre la tierra, los microorganismos que se requieren para el proceso pasarán a la mezcla. Si sus materiales se encuentran aislados, agregue a la mezcla unos puñados de compost viejo o tierra para ayudar a iniciar el proceso.

Época del año

Las bajas temperaturas de invierno retardarán el proceso de compostaje, por lo tanto es recomendable iniciar una pila en primavera o verano.

¿Cuándo está lista la compost?

Dependiendo de cuánto tiempo el proceso, su compost estará lista en un período de 3 a 12 meses. El compost resultante puede haber madurado o no...

Comprobando su madurez

Prueba de la bolsa:

Coloque 1 kilo de compost en una bolsa transparente, ciérrala y cóquela en un lugar alejado del sol directo, a temperatura ambiente.

Si después de 24 horas la bolsa ha "traspasado" los dedos, esto indica que el compost está listo para encontrar medida.

Maduración:

Ubique la compostera inmadura en lugar sombreado, haciendo una pequeña pila (no es necesario voltear o mojar). Déjelo madurar 1 a 2 meses.

Tabla de comparación:

	Compost Inmadura	Compost Madura
Color	Café oscuro	Café oscuro
Olor	Mediamente pronunciado	Sin olor fuerte
Composición	Hay lombrices. Aun hay partes identificables del material orgánico.	No hay lombrices. El material orgánico no puede ser identificado.
Uso	Cobertura para jeringas, arboles y árboles perennes.	Incorporado en la tierra.
Cantidad	Poca cantidad (puede quemar las plantas).	No hay riesgo, realizar varias aplicaciones.



Usando la composta

Se debe cibar con una rejilla de 1x1 cm. El material retenido se devuelve a la compostera.

Aplicación y dosis recomendadas:

Almacigón:

1 parte de compost por 1 parte de arena o tierra.

Huertos, flores y prados nuevos: 2 a 3 Kg. de compost por cada metro cuadrado, incorporándolo a la tierra.

Arbolist: Cubra el suelo con una capa de hasta 5cm, desde unos 15 cm, alrededor del tronco, hasta cubrir el ancho de su copa.



Plantas en maceteros:

1 parte de compost por 3 partes de tierra.

Incorporar a los primeros 5 cm. del suelo, en primavera. Deberá desmenuzarse primero.

Té de Compost:

Llene una bolsa de tela con un kilo de compost. Anémla y sumérgala en un balde lleno de agua. Permita que se empape durante una noche y vierta el "té de compostar" en la zona de sus plantas. Si lo vierte por más de una noche, diluya en 1 litro de agua antes de usarlo.



Problemas y soluciones:

problema	causa	solución
Mal olor	Falta de oxígeno	Voltee la pila
	Demasiada agua	Agregue material café
	Demasiado material verde	Agregue material café
Centro muy seco	La pila es muy compacta o grande	Voltee la pila o disminuya su tamaño
	Falta de agua	Voltee y humedezca
Temperatura no sube (buena humedad y olor)	La pila es muy chica	Agregue materiales o aisle los lados
	Falta material verde	Agregue cortes recientes de pasto o restos de vegetales o frutas
Vectores, moscas	Tiempo frío	Agregue materiales o cubra la pila
	Demasiada humedad	Agregue material café y cubra la pila
	Restos de cocina	Cubra los restos de cocina con tierra, composta vieja u hojas secas

Más información en

Compostaria Gestión de Residuos y Sólidos Contaminados. SEMARNAT-GTZ.
Av. Ocho Calles No. 1612, Piso 2º, Col. Condesa, 06000 Tlalpan, México.
Tel: +52 (55) 5368 8262. Fax: +52 (55) 5362 2247.

www.giresol.org

Produzca su propio abono:

Guía para el Compostaje Casero



¿Qué significa?

COMPOSTAJE:

Proceso de descomposición de materiales orgánicos (restos de frutas, verduras, pajas, paja, etc.). Si ayudamos en este proceso acumulando los materiales en una pila, añadiendo agua y revolviendo para que se aireen, obtendremos composta.

¿Por qué compostar?

Es la forma ideal de reducir los residuos orgánicos de su hogar.

Es una buena manera de mejorar la estructura de la tierra, las propiedades de drenaje, aireación y la habilidad de retener nutrientes y agua, en todo tipo de suelos.

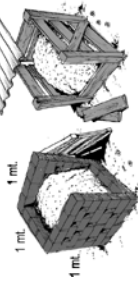
¿Cómo se hace?

Compostar

1 Compostera Cúbica

Puede ser de ladrillos o madera. Se recomienda dejar un lado libre o que sea fácil de desmontar, para facilitar el volteo del material y retirar de la composta lista. Se debe dejar espacios entre las tablas o ladrillos para la entrada de aire.

Las dimensiones ideales son de 1 m. por lado.



2 Barril o Tambor plástico

Para una correcta aireación, debe hacerse entre 24 y 48 hoyos de 2 cm. de diámetro. Si tiene tapa y puerta lateral, puede cobrarse el boteo en el suelo, cuando se haga necesario revolver la mezcla, basis con rodillo.



Porno estar en contacto con la tierra se recomienda agregar algunos puñados de composta o tierra del jardín a la mezcla para ayudar a iniciar el proceso.

Materiales

Materiales apropiados para compostar

Puede utilizar gran parte de lo que se genera en el jardín y en la cocina. Los materiales a compostar están divididos en café y verde, esto significa que son más secos o más húmedos respectivamente.

Café (secos)	Observaciones	Verdes (húmedos)	Observaciones
Aserrín, virutas de madera	En pocas cantidades. No usar si proviene de madera enchapada.	Cenizas de madera	Usar pocas cantidades
Hojas perennas (no secan en seco)	A veces son muy duras, es mejor usarlas picadas.	Citríco	Requiere de buena aireación
Hojas secas	Junirlas un olojo para usar en las otras estaciones.	Oleas	Solamente poides en trozos de menos de 5 cm.
Paja y heno	Picay y moler para compostar rápido y mejorar la aireación.	Estiércol de animales herbívoros	Caballos, vacas, ovejas, pollos, patos, conejos, etc.
Pasto cortado y seco	Cuando se requiere de materiales café para la mezcla se puede secar pasto recién cortado.	Frutas y verduras	Usar cascara o pedazos. Picado en pedazos chicos
Podas	Ayuda en la aireación, máxamo 8 cm.	Hojas y bolsas de té	Españar
		Maizacas verdes	Cobrarlas al sol en una bolsa de plástico y luego lavarlas antes de agregarlas a la mezcla, para matar posibles semillas.
		Pasto recién cortado	Moldear con maticas secas para evitar olores. Presección: No usar pasto tratado con pesticidas hasta después de tres o cuatro cortes.

Materiales NO apropiados para compostar:

NO incluir	Observaciones
Carna, huesos, pescado	Emiten olores y atraen roedores y vectores.
Cenizas de carbón	Contienen químicos
Comida cocida y granos	Contienen aceites y grasas que atraerán roedores y vectores.
Excrementos de animales carnívoros	Pueden contener organismos patógenos para la salud.
Acetiles y grasas	Se pudren y huelen mal cuando se descomponen.
Maizacas y plantas persistentes	Maizacas y plantas que tienen raíces persistentes o semillas.
Materiales inorgánicos	Vidrios, albas, metales, plásticos
Plantas enfermas	Queso, mayonesa, aderezos, leche, yogur, crema, etc.
Productos tóxicos	La composta resultante podría seguir infectado

Proceso de Compostaje

Compostar puede asemejarse a cocinar, donde los ingredientes son materiales café, materiales verdes, aire y agua.

- 1 Disponga en capas una parte de material verde por cada parte de material café.
- 2 Mezcle y revuelva.
- 3 Añada agua cuando sea necesario y proporcione aire volteando la mezcla.
- 4 Composta terminada.

Composta rápida (3 a 4 meses)

Junite material y pique todo en trozos de menos de 5 cm.



Composta lenta (10 a 12 meses):

Depositar material orgánico en la medida que se genere.

Al cabo de un año podrá encontrar composta lista. Cavar en la compostera para agregar la mezcla que está al fondo.

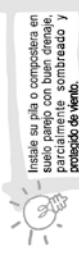


Revuelva la mezcla una vez por semana y cúide de que esté siempre húmeda, como una esponja estrujada.

En la medida que agrega material fresco, éste retrasará la producción de composta, por ello una buena opción es iniciar una pila nueva.



Inicie su pila o compostera en su patio con buen drenaje, parcialmente sombreado y protegido de viento.



Si desea ayudar un poco el proceso, rocíe con agua (10 2 veces por mes) y entierre una vara o palo en la mezcla, para asistir la aireación.

Anexo B. 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 cuadro B.1, el cual puede ser fotocopiado para utilizarse varias veces y ajustar la formulación. Los pasos de la técnica son los siguientes:

1. Realizar una copia del cuadro B.1.
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 colocará 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 (30 - 1) o la de la humedad (60% - 40%) 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.

CUADRO B.1. TÉCNICA PARA LA FORMULACIÓN DE MEZCLA DE COMPOSTAJE

Material	Composición aproximada			Peso	N	C	H ₂ O
	% N	% C	% H ₂ O				
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			
	Maleza 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 orgánica de RSU	0.189	9.58	65			
	Hojas caídas recientemente	0.300	18.00	60			
	Paja de trigo	0.210	26.88	30			
	Residuos de aserraderos	0.098	16.58	25			
	Residuos café ↓	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			
Papel estraza		0.010	42.66	5			
Agua		0.000	0.00	100			
			Suma				
C/N							
Humedad							

Adaptado de: GTZ 1999 y Tchobanoglous, *et al.* 1993.

Anexo C. 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 al azar.
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 ó 3 semanas antes de la siembra.
Tabaco	18.0 t/ha	Enterrar 4 semanas antes del transplante.
Papa	20.0 t/ha	
Betabel	25.0 t/ha	Este cultivo requiere mayor cantidad de materia orgánica
Alfalfa	15.0 t/ha	Repartir a voleo y enterrar con un pase de arado.
Tomate y pimiento	17.0 t/ha	Enterrar 6 semanas antes del transplante.
Fresa	22.0 t/ha	
Espárrago	22.0 t/ha	Ciclos 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.
Vid	15.0 t/ha	En nuevas plantas, duplicar la dosis.
Olivo	8.0 t/ha	Aplicar cada dos años.
Manzano y peral	17.0 t/ha	Se entierra en agosto de cada año en la superficie de irrigación.
Frutos agrios	20.0 t/ha	Si es plantación nueva, 8 kg adicional para cada árbol.
Frutos de semilla grande	13.0 t/ha	Chabacano, durazno, ciruelo, almendro. Cada dos años enterrar superficialmente.
Árboles	17.0 t/ha	Enterrar cada dos años.
Almácigos	35% vol.	Mezclar perfectamente.

* La dosis exacta a aplicar depende de la calidad de la composta y 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 D. Términos de referencia para la elaboración del proyecto ejecutivo de una “Planta de separación de residuos sólidos y composta”

Los términos de referencia que se presentan han sido elaborados por la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México y la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH con el apoyo del Instituto Nacional de Ecología. Este documento es guía para la preparación de licitaciones públicas de plantas de composta medianas o grandes que requeriría de un grupo de ingenieros para su planificación y construcción. Con el objeto de reducir costos es común que una planta de composta y una planta de separación de subproductos inorgánicos se construyan juntas y por tal motivo este documento contempla esta posibilidad. Cada caso es especial y este documento tendría que modificarse en función de las necesidades y las leyes locales. El texto subrayado destaca los aspectos que deben completarse con datos específicos del proyecto a presentar.

I. Antecedentes

Objetivo general

Diseñar una planta para el tratamiento de residuos orgánicos y de separación de residuos en: (Localidad/Municipio).

Objetivos específicos

Identificar los subproductos que son susceptibles de comercialización, procedentes de la recolección separada de residuos sólidos urbanos.

Diseñar el producto del compostaje a partir de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos con base en los mercados locales y/o regionales.

Elaborar la ingeniería básica, el diseño, las especificaciones, el catálogo de conceptos, el presupuesto base, el sistema de administración y los manuales de operación de una planta para el tratamiento de residuos orgánicos y manejo de residuos reciclables localizada en: (Localidad/Municipio)

Proporcionar la información requerida en detalle para licitar la construcción de una planta para el tratamiento de residuos orgánicos y el manejo de residuos reciclables en: (Localidad/Municipio)

Definiciones

Proyecto: el proyecto ejecutivo de la planta para el tratamiento de residuos orgánicos y separación de residuos en (Localidad/Municipio)

Composta: producto de la biorreacción aerobia de residuos orgánicos.

Subproductos: todas aquellas fracciones de los residuos sólidos urbanos que una vez separados y tratados por medios físicos, poseen un valor comercial en los mercados de subproductos locales o regionales.

Planta: planta para el tratamiento de residuos orgánicos y la separación de residuos localizada en: (Localidad/Municipio)

II. Alcance de los conceptos de trabajo

Diagnóstico básico
Levantamiento topográfico
Mecánica de suelos
Proyecto funcional
Proyecto arquitectónico
Proyecto de instalaciones complementarias
Proyecto estructural
Proyecto electromecánico
Proyecto eléctrico
Sistema de organizacional
Catálogo de conceptos, cantidades de obra y especificaciones
Presupuesto base
Manual de operación y mantenimiento
Informe final

1. Diagnóstico básico

Se elaborará un diagnóstico básico con la información tomada de esta sección como una primera fuente y, en su caso, toda aquella que sea necesaria acopiar para los fines del proyecto.

Localización y límites

Establecer los límites territoriales en donde se llevará a cabo el proyecto. También se pueden presentar ampliaciones del territorio justificando plenamente el impacto en los mercados de proveedores y clientes. En su caso, presentar el alcance de cada una de las diferentes etapas de crecimiento.

Medio ambiente

Es una breve descripción general de las diferentes características del medio ambiente natural, tales como los tipos de suelos, el relieve, el clima, etc., resaltando aquellas ventajas o fortalezas así como los puntos críticos para llevar a cabo la construcción y operación de la planta. Incluye también una breve descripción del impacto sobre el medio ambiente natural de la zona cercana al proyecto. (La manifestación de Impacto Ambiental tendrá que hacerse por separado de estos términos de referencia).

Asimismo se deberá incluir una breve descripción general de las diferentes características del medio ambiente

social tales como su demografía, desarrollo histórico, tradiciones, actividades económicas, etc., resaltando aquellas ventajas o fortalezas y puntos críticos para la implantación de la planta.

Descripción general del sistema de limpia pública actual

En este punto se considerarán los rubros operativos, administrativos, financieros y jurídicos que determinan la función del manejo (almacenamiento, recolección y transporte) y la disposición final actual, que sean útiles para el planteamiento de las estrategias inherentes al diseño de la planta.

Estudio de generación y composición

Este estudio permitirá realizar una estimación de la generación de los RSU aplicando las normas técnicas u oficiales vigentes o, en su caso, alguna metodología similar. La generación debe estimarse para viviendas en cada nivel o estrato socioeconómico, y la generación de residuos originadas en las principales ramas de la actividad económica del municipio.

La composición tiene que determinar el flujo disponible de materiales para la separación de subproductos y la elaboración de la composta así como el sitio de su generación, de tal forma que sea posible establecer las diferencias de costo debido a su distribución espacial. También deberá incluirse la información relacionada con los principales contaminantes, tales como los metales pesados, residuos peligrosos y bolsas de plástico, entre otros, que afecten directamente la producción de la composta y la separación de subproductos con algún valor económico.

Este estudio debe incluir una proyección de la generación de RSU y de aquellos subproductos susceptibles de procesamiento por la planta y en el cual se considere el crecimiento de la población y cambios en el patrón de consumo así como el desarrollo económico previsto. Se debe presentar información base confiable para realizar extrapolaciones así como los modelos empleados e información referente a su validación.

Estudio de mercado de composta y subproductos

Incluye un estudio detallado de los diferentes productos de origen orgánico comercializados en la zona y que se

emplean en la agricultura y jardinería local y regionalmente. Un estudio similar se efectuará sobre los subproductos inorgánicos de los RSU. Debe incluir información sobre las materias primas empleadas, el proceso de producción, así como las instancias productoras, el precio de venta y el área de comercialización y, si es posible. Incluir también información sobre el historial de la oferta de dichos productos al menos durante los últimos cinco años y una extrapolación sobre su probable evolución futura para los próximos cinco años.

Elaborar un inventario general de la demanda indicando los clientes actuales y potenciales, y clasificando la demanda en función de las principales características del producto. Se debe incluir además una encuesta sobre la demanda potencial de la composta y los subproductos inorgánicos. Asimismo, se deberá incluir, en su caso, la información adicional que proporcione datos relevantes para el diseño de los productos y procesos de la planta.

Arquetipo de clientes

Presentar los diferentes arquetipos de clientes que se pretende impactar, incluyendo como características de los mismos: su distribución espacial, la demanda y las características deseables del producto. Ésta información será considerada como una síntesis del estudio de la demanda.

Descripción de los productos

Es un listado de los productos que se tienen contemplados para la planta. Se debe indicar todas sus características de diseño, como son sus principales componentes, uso, el arquetipo de cliente objetivo, la evolución futura de la demanda, así como las ventajas competitivas con respecto a la oferta existente. En caso de varios productos, se debe establecer claramente la diferencia entre ellos y su plena justificación.

2. Levantamiento topográfico¹

Se deberá realizar un levantamiento topográfico del sitio utilizando brigadas de campo y aparatos topográficos.

¹ Se parte del hecho de que existe ya un predio destinado para la construcción de la planta.

Los trabajos se desarrollarán mediante una poligonal cerrada, la cual deberá incluir los puntos de referencia, ángulos y trazo. La equidistancia vertical entre las curvas de nivel será considerada de tal manera que sea representativa y que no afecte la interpretación de la información plasmada en el plano topográfico. El levantamiento se realizará con tránsito de aproximación al minuto.

El levantamiento topográfico determinará en forma definitiva el lugar en el que se deberá instalar la planta.

Después de concluir con el levantamiento de la poligonal principal, se deberá realizar un levantamiento en detalle del área identificando la infraestructura existente en la zona, los caminos principales y secundarios, las rampas de acceso, las zonas de escurrimiento, etc.

Dentro de los requerimientos del presente trabajo se trazarán secciones transversales con la finalidad de conocer las diferentes cotas y elevaciones del terreno natural con el fin de poder proyectar las instalaciones de la planta de compostaje.

3. Mecánica de suelos

Con el propósito de realizar un diseño óptimo de la planta, y considerando que las propiedades mecánicas de los suelos tienen gran influencia sobre el comportamiento de las estructuras, se deberán determinar los parámetros de campo y laboratorio tales como la capacidad de carga, la permeabilidad, la clasificación de suelos, la capacidad de intercambio catiónico, el peso volumétrico, la granulometría, el contenido orgánico total, los límites de consistencia, la compresión triaxial, la compactación proctor estándar, el pH, la humedad, el coeficiente de infiltración y la porosidad, entre otros más que el caso pueda requerirlo.

Con estos parámetros, se podrá establecer el diseño constructivo de estructuras así como el potencial de infiltración de lixiviados y el espesor de suelo de intercambio, entre otros.

4. Proyecto funcional

Tamaño de la planta

El tamaño de la planta debe en primer lugar, considerar la generación de residuos y su posible aprovechamiento, el estudio de mercado así como aquellos aspectos relacionados con el financiamiento y la recuperación de la

inversión, y todos los criterios que permitan optimizar este proceso de financiamiento en función de la disminución de la cantidad de disposición final y la factibilidad técnica-económica de la planta.

Diseño a detalle del proceso

Se deberá realizar el cálculo y el diseño del proceso incluyendo una amplia descripción de los componentes del mismo. Incluye el diagramas, planos de la instalación y una amplia descripción de los rangos de operación de cada proceso u operación, así como los límites máximos y mínimos permitidos para cada una de las variables. También incluye una amplia descripción de los sistemas de control, ya sean estos manuales, semiautomáticos o automáticos.

Diagrama de flujo: síntesis clara y confiable del proceso, utilizando para su elaboración un sistema de representación estándar.

Balace de materiales: contiene la información de los componentes, al nivel del diseño del producto, así como los principales contaminantes del medio ambiente y las principales variables físicas y químicas de cada una de las corrientes.

Descripción de operaciones y procesos unitarios: contiene una amplia descripción de los principios técnicos, haciendo referencia a la fuente de información y, en su caso, a los experimentos o estudios piloto realizados para tal efecto. Se debe incluir la eficiencia y el consumo de los principales servicios tales como agua (en todas sus calidades), energía eléctrica, combustibles, etc. También se indicarán las emisiones a la atmósfera, las descargas residuales y los residuos generados en cada operación y proceso. Conviene incluir además una breve discusión sobre las ventajas que presenta esta operación o proceso sobre otras alternativas posibles.

Servicios auxiliares: describe los principales servicios auxiliares, así como un balance para éstos, el dimensionamiento de los equipos relacionados con dichos servicios y, en su caso, una breve explicación de los principios de operación de los equipos.

Distribución de planta: Tiene por objetivo establecer las necesidades de espacio y la mejor distribución posible de las operaciones y procesos unitarios a partir del proceso propuesto.

Diagrama de Tubería e Instrumentación: es una representación gráfica de la planta con el grado de detalle de

piezas de tubería que permite la construcción de la obra. También incluye la colocación de los equipos principales y auxiliares, así como los mecanismos de medición y control. Este diagrama es un modelo tridimensional de la planta y contiene vistas superiores, laterales, cortes, detalles e isométricos.

5. Proyecto arquitectónico

Arreglo de conjunto

Se diseñará el arreglo de conjunto tomando en cuenta topografía, superficie disponible, orientación del predio, ubicación de la infraestructura de la planta y obras complementarias. Este arreglo deberá priorizar afectar al mínimo el entorno, con un diseño compatible con el medio. Se deberá incluir lo siguiente:

Acabados: plano general que contenga el listado y las especificaciones de acabados, la lista de materiales con simbología en plantas, cortes y fachadas, incluyendo todas las edificaciones tanto de proceso, como las complementarias.

Instalaciones Hidrosanitarias: plano de arreglo de conjunto que contenga el proyecto de alcantarillado sanitario, pluvial y red de agua potable, incluyendo el o los planos de detalle y la lista de materiales. Debe de un incluir un diseño que permita la recolección y almacenamiento de agua pluvial como insumo para el compostaje.

Proyecto arquitectónico de edificios: a título enunciativo mas no limitativo, las instalaciones complementarias deberán incluir lo siguiente:

- ◆ Caseta de vigilancia.
- ◆ Edificio para servicio de operadores (servicios sanitarios, regaderas, área de comedor, vestidores, etc.)
- ◆ Patio de maniobras, estacionamiento y áreas verdes
- ◆ Área de residencia de control y operación, tanto técnica como administrativa
- ◆ Nave industrial para procesamiento y almacenamiento de productos inorgánicos reciclables
- ◆ Sistema de suministro de agua potable y drenaje
- ◆ Malla ciclónica perimetral para delimitar el predio.

Se buscará un diseño apropiado para el caso de la nave industrial, acorde con el medio natural y que permita una adecuada distribución y manejo de los residuos reciclables, con base en un proyecto que sea funcional.

Plano general de herrería y carpintería: deberá contener toda la herrería y carpintería de puertas, ventanas y demás estructuras modulares para evitar dimensiones variables, con detalles de perfiles y armazones a escala y con acotaciones, referenciados a los planos de acabados.

Plano general de detalles constructivos: deberá contener todos los detalles a escala de obras ocultas hidrosanitarias que consisten en registros, bajadas, etc.

Vialidad

Se debe incluir el diseño de la vialidad en detalle, espesores de material para la circulación de vehículos y personal de acuerdo con las necesidades de estacionamiento, así como maniobras normales y extraordinarias dentro de la planta, acceso para peatones y vehículos, comunicación directa con el patio de maniobras, circuito vehicular y peatonal en toda la planta y pendientes en los patios hacia los desagües pluviales.

6. Proyecto estructural

Se considera que la planta incluirá únicamente estructuras, edificaciones y una nave industrial, de dimensiones que no requieren un diseño estructural complejo; sin embargo, se deberá desarrollar y calcular su diseño estructural para garantizar su adecuada estabilidad.

Se deberá incluir el diseño de las estructuras propuestas considerando la cimentación; asimismo, a título enunciativo mas no limitativo, los documentos en los cuales se basará la elaboración del mencionado proyecto y los cuales son los que a continuación se indican:

- ◆ Reglamento de construcción para el DF y normas complementarias
- ◆ Reglamento de construcciones de concreto reforzado, AC-318 y comentarios
- ◆ Estructuras de concreto para el mejoramiento del medio ambiente, ACI.0350
- ◆ Normas del Instituto Americano de Acero, AISC
- ◆ Criterios de diseño de la American Water Works Association, AWWA

- ◆ Recomendaciones de la Sociedad Americana de Soldadura, AWS
- ◆ Manual AIMS para ingenieros
- ◆ Reglamento de construcciones vigentes en el municipio en donde se construirá la planta.

También deberán considerarse, a título enunciativo mas no limitativo, los siguientes puntos para alcanzar un mejor funcionamiento estructural:

- ◆ Cargas muertas
- ◆ Cargas vivas
- ◆ Cargas accidentales
- ◆ Cargas por impacto
- ◆ Sismo
- ◆ Viento
- ◆ Asentamiento de estructuras

El diseño de las estructuras se efectuará para la combinación de esfuerzos más desfavorables, verificando que las deformaciones de los elementos queden dentro de los límites permisibles.

Para las estructuras que soporten equipo o maquinaria, se incluirán el impacto y la vibración en el análisis de los factores de carga. Con el apoyo de los resultados de mecánica de suelos, las estructuras o edificaciones se diseñarán e integrarán considerando las cargas muertas, vivas, accidentales, de sismo, empuje de tierra y subpresión. En estructuras que alojen maquinaria se considerará además del peso de la misma y factores de carga por vibración e impacto. Se debe integrar la preparación necesaria en las bases para el anclaje y reforzarse los elementos estructurales sobre los que puedan descansar momentáneamente durante su instalación.

Informe final del diseño estructural

El informe final deberá contener las memorias descriptivas y de cálculo estructural, especificaciones y procedimientos constructivos, el catálogo de conceptos de obra por unidad, los alcances de los conceptos, y los planos estructurales.

Los planos estructurales de todas las unidades consideradas en las edificaciones e instalaciones complementarias, se revisarán e integrarán de acuerdo con el formato autorizado por la dependencia responsable y deberán incluir plantas y elevaciones con todas las cotas,

secciones, armados, cortes y detalles necesarios para su correcta interpretación, incluyendo bases para los equipos así como las cantidades de materiales, capacidad de carga del terreno y coeficientes sísmicos de diseño y cantidades de obra para cada estructura. Se anexarán a la memoria descriptiva, de cálculo estructural y el catálogo de conceptos de obra.

7. Proyecto electromecánico

Para la operación adecuada de la planta se deberá determinar y cuantificar el equipo requerido, especificando sus características, así como las necesidades de instalación y operación. A título enunciativo más no limitativo, el equipo podría ser el siguiente:

- ◆ Cribas
- ◆ Aireadores
- ◆ Prensas compactadoras
- ◆ Molinos
- ◆ Bandas transportadoras
- ◆ Reactores
- ◆ Cargador frontal
- ◆ Vehículos recolectores de residuos orgánicos y reciclables

Se deberán proponer equipos comerciales y probados en el país, de fácil mantenimiento, con existencia de refacciones, determinando las necesidades para su instalación y operación. También se deberá incluir accesorios, herramientas y equipo complementario. En su caso, se deberá evaluar la conveniencia de proponer equipos de combustión interna.

Hojas de especificación del equipo

Estas hojas contienen las características principales del equipo, incluyendo sus funciones, materiales de construcción, dimensiones, características especiales, mantenimiento y atención, entre otras.

Se debe elaborar una hoja para cada uno de los equipos considerados como activo fijo que contenga toda la información necesaria para su adquisición, para cada uno de los equipos ofertados en el mercado y que cumpla con las especificaciones de diseño, deberán también mencionarse las ventajas y desventajas comparativas. Para equipos de procedencia extranjera se indicará

adicionalmente los trámites y demora ocasionada por importación, así como los esquemas de mantenimiento y asistencia técnica que el proveedor disponga.

Cada una de las hojas debe contener la información económica referente a su precio, los gastos de envío, aduana e instalación, así como los relacionados con su mantenimiento preventivo y estimaciones de los correctivos e información referente a su depreciación y precio de recuperación al final de la vida útil.

La hoja por equipo debe incluir la información necesaria para el ciclo de vida del equipo con énfasis en el destino final de todos sus componentes al convertirse en residuo. También se debe añadir las referencias necesarias para la elaboración de sistemas de calidad.

8. Proyecto eléctrico

Realizar el diseño del sistema eléctrico de la planta incluyendo la determinación de cantidades de materiales y la documentación correspondiente para el equipo electromecánico e instalaciones complementarias.

El diseño eléctrico se elaborará tomando en consideración los aspectos de proyecto estructural, funcional y electromecánico, tanto para el tratamiento de los residuos, como para las instalaciones complementarias.

A título enunciativo más no limitativo, el diseño eléctrico deberá incluir los siguientes aspectos:

Memoria de cálculo y estudios:

- ◆ Voltaje de distribución de fuerzas
- ◆ Voltaje de distribución de alumbrado
- ◆ Voltaje de distribución de contactos, apagadores, etc.
- ◆ Factores de demanda para los circuitos alimentadores y derivados
- ◆ Tipos de conductores a utilizar considerando las condiciones ambientales
- ◆ Temperatura ambiente
- ◆ Tipo de cableado a utilizar
- ◆ Transformador
- ◆ Indicar la selección de los calibres de los conductores, tomando en cuenta los criterios de capacidad del cable y caídas de tensión permitidas
- ◆ Desarrollo del proyecto y distribución de cargas.

Se deberá de realizar un análisis detallado de los transformadores que incluya al menos los siguientes:

- ♦ Fuerza
- ♦ Demanda total
- ♦ Capacidad del transformador
- ♦ Recomendación del transformador comercial

Planta de emergencia

Se debe evaluar la conveniencia de instalar una planta de emergencia generadora de corriente eléctrica, cuyo principal objetivo será asegurar la operación de la planta, cuando no se reciba el suministro normal de energía eléctrica.

Para el cálculo de la capacidad necesaria de la planta generadora de electricidad, se tomará en cuenta lo siguiente:

- ♦ Cargas de emergencia
- ♦ Motores de mayor potencia
- ♦ Instalaciones complementarias
- ♦ Alumbrado.

La planta de energía será recomendada en términos de la disponibilidad en mercado.

El informe deberá contener las memorias descriptivas y de cálculo eléctrico, especificaciones y procedimientos constructivos, el catálogo de conceptos de obra, alcances de los conceptos y planos.

9. Proyecto de instalaciones complementarias

Se elaborará el proyecto de las estructuras adicionales necesarias para el funcionamiento óptimo de la planta, tales como la red de agua potable, el sistema de alcantarillado pluvial y sanitario, la red de riego, las áreas de jardinería, los caminos internos, el camino de acceso a la planta, y todas aquellas que se requieran para mejorar la operación de la planta y los servicios de los operadores.

Servicio de agua potable

Se elaborará el cálculo y el diseño de la red de agua potable para el servicio de las instalaciones de toda la planta, alimentando a todas las unidades de servicios tales como regaderas, sanitarios y todo aquellos dispositivos que requieran agua potable a partir de una o

varias cisternas instaladas de acuerdo a la localización más conveniente. Se integrarán con estos elementos los planos detallados y la memoria de cálculo correspondiente. Como ejemplo, se menciona lo siguiente:

Alcantarillado: se calculará y diseñará la red de alcantarillado que recolecte las aguas residuales que se generen en las instalaciones complementarias de la planta; además deberá incluir un sistema especial para su captación y tratamiento primario.

Drenaje pluvial: se calculará y diseñará el drenaje pluvial de la planta para eliminar los volúmenes de lluvia que ingresen a la planta. Este diseño incluye la recolección y almacenamiento de agua pluvial para su utilización en el compostaje. Para su protección, se deberá incluir en el diseño de la planta el desvío de escurrimientos pluviales.

Red de riego: se calculará y diseñará un sistema de riego para las áreas verdes y el proceso de elaboración de composta, presentando los planos de detalle, en los cuales se indicará la ubicación de las líneas, sus características, diámetros, piezas especiales, etc.

Caminos y acondicionamiento del terreno

El proyectista deberá diseñar los caminos internos y el de acceso principal a la planta, considerando para su diseño que la planta estará posiblemente ubicada dentro de un área natural protegida, por lo cual no es recomendable el revestimiento con asfalto. También deberá considerar el diseño de un puente para cruzar una pequeña cañada como parte del camino de acceso.

Con base en el diseño arquitectónico, las obras complementarias y el levantamiento topográfico, el proyectista determinará el acondicionamiento del terreno requerido para la construcción de la planta, impactando al mínimo posible las condiciones originales de la zona.

Sistema de administración

En esta sección se incluirá la información referente a planeación, organización, dirección y control. Debe de presentar una descripción amplia de cada uno de los subsistemas y los instrumentos que se emplean (contabilidad, recursos humanos, organigramas, planes, programas, etc.).

Este sistema de administración debe plantearse como parte de la administración pública y hacer referencia a la normatividad aplicable, así como a los esquemas que

prevalecen en el municipio y, en su caso, los mecanismos de transición al nuevo sistema. También debe considerar que forma parte de un sistema integral de manejo de los residuos que incluye recolección, recuperación de materiales, producción de la composta y disposición final. Así como se debe establecer las bases para un sistema de calidad para la mejora continua de todo el sistema.

11. Catálogo de conceptos, cantidades de obra y especificaciones

En los formatos autorizados se elaborará el catálogo de conceptos y cantidades de obra. El catálogo abarcará todos los conceptos de trabajo para la construcción, equipamiento y acondicionamiento total de la planta, llegando al detalle de piezas y evitando la unidad de medida lote, basándose en los planos y en las listas de materiales correspondientes. El catálogo debe incluir, a título enunciativo mas no limitativo, lo referente a:

- ◆ Equipos: suministro, instalación y accesorios
- ◆ Obra civil: limpieza y acondicionamiento del terreno, edificaciones, obras complementarias, vialidades e instalaciones
- ◆ Equipamiento, instalaciones eléctricas y electromecánicas: materiales, cantidades, equipos y accesorios
- ◆ Fontanería: instalaciones hidráulicas de agua potable, sanitarias y pluviales.

Especificaciones

Se elaborará las especificaciones en detalle de todos los conceptos de trabajo contenidos en el catálogo de conceptos. Se pueden englobar en una sola especificación aquellos conceptos repetidos cuyo material de construcción y proceso constructivo sea igual.

12. Presupuesto base

Tomando como base el catálogo de conceptos y cantidades de obra del proyecto, se elaborará el presupuesto base en detalle, dividiendo por área y subdividiendo por unidad.

Deberá incluir a título enunciativo más no limitativo, estudios de mercado, de rendimiento de mano de obra, materiales e insumos, maquinaria, herramientas, utili-

dad, costos indirectos y deberá ajustarse a los formatos establecidos presentando los análisis de precios unitarios para cada uno de los conceptos de obra incluidos en el proyecto.

El presupuesto base se presentará en los formatos de catálogo de conceptos y cantidades de obra, o como lo autorice la dependencia respectiva.

Se presentará un resumen con las sumas parciales y la suma total, señalando la fecha en que se determinó y el presupuesto se presentará en el orden que determine la empresa siempre y cuando la información de costos se puede integrar por bloque. A título enunciativo más no limitativo, el orden podría ser el siguiente:

- ◆ Suma por unidad de tratamiento o edificio
- ◆ Suma por área, como la funcional, arquitectónica, estructural y eléctrica
- ◆ Resumen y suma total.

De forma complementaria, se debe presentar un análisis de rentabilidad. Presentar la tasa de interna de retorno con base al estado del mercado financiero y su análisis respectivo, incluyendo al menos dos opciones: la primera relacionada con un financiamiento público a fondo perdido y, la segunda, con el financiamiento privado. Se puede incluir cualquier tipo de estrategia que pueda ser aplicable dentro del marco de la legislación vigente para la administración pública municipal. El análisis tiene que incluir los costos asociados a los pasivos ambientales y el beneficio para la sociedad.

13. Manuales de operación

Manual de operación y mantenimiento: debe incluir todas las actividades necesarias para que la planta sea operada correctamente y en forma continua, dentro del rango de diseño. Debe incluir una descripción funcional de todos los procesos así como una descripción de los equipos e instrumentos utilizados, mencionando sus capacidades y características de operación, y requerimiento de mantenimiento preventivo y correctivo (frecuencia de mantenimiento y maniobras que deberán efectuarse para sacar los equipos de operación, por causas de mantenimiento,). Además, deberá contener los requerimientos de personal, capacitación y un programa para el mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo. Con este manual se deberá normar la operación y man-

tenimiento de la planta así como introducir al personal en su operación total.

Manuales de equipos: para cada uno de los equipos que requieren de una capacitación adicional para su operación, también es necesario presentar un manual de operación; éste puede ser el proporcionado por el fabricante o generado de tal forma que se integre coherentemente en todos los documentos de la planta. En caso de haber sido escrito en un lenguaje diferente al español, se deberá contar con una traducción del mismo.

Manual de organización: incluye la estructura organizativa propuesta así como los canales de comunicación y de mando. En este manual también se describe cada uno de los puestos productivos y administrativos; contiene los objetivos y funciones así como todas las obligaciones, y la relación con los otros puestos. En este documento se debe de incluir el nivel de instrucción y capacitación, así como los principales conocimientos, habilidades y actitudes requeridas para el puesto. También se debe incluir un sistema de categorización que permita determinar la asignación de sueldos y salarios.

Manual de contingencias: incluye la información referente a posibles eventualidades causadas por los riesgos inherentes durante la construcción u operación a la planta. Al menos, deberá contener secciones relacionadas con producción, salud, protección civil y la protección al entorno ambiental.

Los manuales tienen que ser redactados siguiendo un lenguaje y un esquema de acuerdo al nivel de instrucción y capacitación del personal que ejecutará las actividades, tomando como base los conocimientos, habilidades y actitudes requeridas. La organización de la información contenida en los manuales es libre, siempre y cuando, contenga toda la información necesaria para la adecuada operación de la planta.

14. Informe final

Todos los documentos generados deben estar plenamente identificados a través de un sistema que permita hacer referencias entre ellos. Este sistema se deberá explicar en cada uno de los diferentes encuadernados, así como hacer una breve descripción de los diferentes documentos.

Toda la información contenida en dichos documentos es propiedad de _____ y debe ser proporcionada libre de compromisos o responsabilidades. En caso de patentes y otros derechos de autor, los docu-

mentos mencionarán específicamente esta característica y toda la información de esta naturaleza tiene que ser referenciada a la documento fuente y no incluir en los informes o planos. En los casos que se obtenga permiso de los autores para su utilización, se deben de presentar los esquemas de utilización permitidos con base en la normatividad legal aplicable.

Para la información que se entrega en todos y a cada uno de los conceptos de trabajo del proyecto ejecutivo para la planta, se proporcionará toda la documentación reunida durante el desarrollo del proyecto, incluyendo anexos, catálogos, cotizaciones; como propuesta se tiene el orden siguiente:

Volumen 1: documentación de concurso de obra (términos de referencia y catálogo de conceptos). La empresa que resulte ganadora entregará original y 7 copias de lo siguiente:

- ♦ Diseño conceptual
- ♦ Descripción, alcances y forma de pago de cada uno de los conceptos
- ♦ Especificaciones técnicas
- ♦ Catálogo de conceptos y cantidades de obra
- ♦ Planos.

Volumen 2: documentación complementaria de obra. La empresa que resulte ganadora entregará original y 7 copias de lo siguiente:

- ♦ Memoria descriptiva y marco de referencia
- ♦ Estudio topográfico y de mecánica de suelos
- ♦ Proyectos: funcional, instalaciones complementarias, arquitectónico, estructural, electromecánico, eléctrico, etc.
- ♦ Documentos complementarios. El conjunto de documentos que contengan información base (encuestas, muestreos, minutas, etc.) organizados en forma modular. Cada uno de los módulos deberá contener un resumen de la información como los estadísticos básicos (media, desviación estándar, coeficiente de asimetría, curtosis, coeficiente de correlación, etc.) y/o tabla de contenido
- ♦ Manual de operación y mantenimiento
- ♦ Presupuesto base.

Volumen 3: Planos (cinco impresiones originales en papel bond). Todos los planos tendrán el mismo tama-

ño y los datos que contendrán como mínimo serán los siguientes:

- ◆ Nombre y número de plano
- ◆ Datos del proyecto
- ◆ Lista, características y cantidades de materiales y equipos
- ◆ Simbología y abreviaturas utilizadas
- ◆ Notas aclaratorias
- ◆ Escalas convencionales, numéricas y gráficas
- ◆ Orientación al norte astronómico
- ◆ Niveles, acotaciones y coordenadas
- ◆ Dibujos isométricos de las líneas de conducción de agua

Las unidades dimensionales se presentarán en el sistema métrico decimal.

Volumen 4: síntesis ejecutiva del proyecto que permita la diseminación selectiva, así como la presentación del proyecto a un público no especializado. Se incluyen en este volumen lo siguiente:

- ◆ Al menos 3 láminas (60 x 90 cm) para presentación del proyecto.
- ◆ Proyecto ejecutivo simplificado con la síntesis de los conceptos más importantes generados dentro del estudio.
- ◆ Memoria descriptiva del proyecto, empleando como procesador de texto Microsoft Word para su distribución en CDs.

Respaldos digitales: Se entregarán respaldos digitales de todo el proyecto para lo que se empleará el software Microsoft Office (Word, Excel, Access, etc.) y AutoCad. Para estos respaldos se utilizarán CD.

Glosario

Acopio: La acción de reunir residuos sólidos en un lugar determinado y apropiado para su recolección, tratamiento o disposición.

Biodegradable: Cualidad de poder ser metabolizada por medios biológicos.

Biotecnología: Toda aplicación tecnológica que utilice recursos biológicos, organismos vivos o sus derivados, para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos.

Caseta: Construcción ubicada en la entrada de una instalación que tiene por objeto resguardar al personal que vigila el acceso a las herramientas y los servicios sanitarios.

Composta: Material inodoro, estable y parecido al humus, rico en materia orgánica, resultado del proceso de compostaje de los residuos biodegradables.

Compostaje: Degradación de los residuos biodegradables bajo condiciones controladas, y su transformación en composta (humus artificial) por la acción de micro y macroorganismos, fijando nutrientes y carbono en formas que pueden ser utilizadas directa y rápidamente por las plantas.

Compostar: Acción de elaborar composta.

Contenedor: Recipiente en el que se depositan los residuos sólidos para su almacenamiento temporal o transporte.

Control: Inspección, vigilancia y aplicación de las medidas necesarias para el cumplimiento de las disposiciones establecidas.

Descomposición: La transformación de los materiales a compuestos químicos más sencillos.

Diseño: Trazo o delineación de una obra o dibujo. Técnicamente se aplica el término al proyecto básico de la obra.

Educación ambiental: Proceso de formación dirigido a la sociedad, tanto en el ámbito escolar como en el ámbito extraescolar, para promover la percepción integrada del medio ambiente a fin de lograr conductas más racionales a favor del desarrollo social y del medio ambiente. La educación ambiental comprende la asimilación de conocimientos, la formación de valores, el desarrollo de competencias y conductas, con el propósito de garantizar la preservación de los sistemas vivos.

Generación de residuos: Acción de producir residuos a través del desarrollo de procesos productivos o de consumo.

Gestión integral de residuos: Conjunto articulado e interrelacionado de acciones y actividades normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región.

Humus: Fracción orgánica del suelo. Generalmente es de color marrón y cumple con la función de ser el hábitat principal de la microfauna del suelo. Además absorbe la energía solar, retiene la humedad, mejora la estructura del suelo y por ende disminuye la susceptibilidad del mismo a erosionarse.

Medio ambiente: Conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre que hacen posible la existencia y el desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinados.

Programas: Serie ordenada de actividades y operaciones articuladas para alcanzar ciertos objetivos.

Reciclaje: La transformación de los materiales o subproductos contenidos en los residuos sólidos a través de distintos procesos que permiten restituir su valor económico y reintegrarlos a un proceso productivo o para su consumo directo.

Recolección: Acción de recoger los residuos sólidos en sus puntos de generación y trasladarlos a instalaciones para su transferencia, tratamiento o disposición final.

Residuo: Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó. Los residuos son susceptibles de ser valorizados o requieren sujetarse a algún tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en la ley correspondiente y demás ordenamientos que de ella emanen.

Residuos de manejo especial: Son los generados en los procesos productivos que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o bien, que no siendo peligrosos, son producidos en grandes volúmenes.

Residuos orgánicos: Todo residuo sólido biodegradable.

Residuos peligrosos: Son aquellos que poseen alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes

infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados por el contacto con los mismos.

Residuos sólidos urbanos: Son los generados en las casas habitación que resultan de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas, de los productos que se consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos con características domiciliarias que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por la ley como residuos de otra índole.

Reuso: Es el retorno de un bien o producto al consumo o a la corriente económica para ser utilizado de la misma manera para la que fue creado, o para otro uso sin cambio alguno en su forma o naturaleza.

Riesgo: Probabilidad o posibilidad de que el manejo, la liberación al ambiente y la exposición a un material o residuo, ocasionen efectos adversos en la salud humana; en los demás organismos vivos; en agua, aire y suelo; en los ecosistemas; o en los bienes y propiedades pertenecientes a particulares.

Tratamiento: Procedimientos físicos, químicos, biológicos o térmicos, mediante los cuales se transforman las propiedades de los residuos.

Valoración de los residuos: Brindar un valor a los residuos y permitir que estos reingresen a las cadenas productivas, disminuyendo así la cantidad de residuos que se disponen adecuada o inadecuadamente en el medio ambiente natural.

Nota: Varias de estas definiciones se tomaron o adaptaron de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos.

Bibliografía

- Alcolea M, González C. 2000. Manual de Compostaje doméstico (en línea). Barcelona. <http://www.compostando.com>.
- Asamblea Legislativa del Distrito Federal. 2003. Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal. México: *Gaceta Oficial del Distrito Federal* 22/05/2003.
- Cámara de Diputados del Honorable Congreso de la Unión (CDHCU). 2005. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (en línea). México: CDHCU. <http://www.cddhcu.gob.mx>.
- . 2006. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (en línea). México: CDHCU. <http://www.cddhcu.gob.mx>.
- . 2006. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (en línea). México: CDHCU. <http://www.cddhcu.gob.mx>.
- Comisión Europea. 2000. Ejemplos de buenas prácticas de compostaje y recogida selectiva de residuos. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas.
- Comisión del Medioambiente Regional de los Lagos (CONAMA). 2003. *Manual de compostaje casero*. Chile: Comisión del Medioambiente Regios de los Lagos - Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).
- Cornell University, Tompkins Country. 2006. Master Composter Volunteer Program (en línea). USA: Cornell University. <http://counties.cce.cornell.edu/tompkins/compost/mastercomposter.html>.
- Corporación de Investigación Tecnológica de Chile. 1999. Manual de Compostaje. Santiago de Chile: Corporación de Investigación Tecnológica de Chile.
- Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GFA-Infrastruktur und Umweltschutz, Ingeniurgemeinschaft Witsenhausun Fricke y Turk. 1999. *Utilisation of organic waste in (peri-) urban centres*. Germany: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).
- Deffis, CA. 1994. *La basura es la solución*. México: Árbol.
- Dulac, N. 2001. The Organic Waste Flow in Integrated Sustainable Waste Management; Tools for Decision-makers; Experiences from the Urban Waste Expertise Programme (1995-2001) (en línea). Netherlands: <http://www.waste.nl>.
- Ecomark. 2003. Composting Basics: An Introduction to Composting for Alberta Producers (en línea). Edmonton: Ecomark LTD. <http://www.ecomarkenv.com>.
- García, E.N., L.E. Prado, M.F. Robles y V.F.J. Rodríguez. 2005. *Implementación del proceso de compostaje para el tratamiento de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas municipales*. México: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria (AIDIS).
- Gobierno del Estado de México (GEM). 2006. *Gaceta de gobierno* CLXXXII (9/10/2006). México: Toluca: GEM.
- Hoomweg D, L. Thomas y L. Otten. 1999. *Composting and its Applicability in Developing Countries* 8. Washington DC: The World Bank.

- INE 2005. Sistematización de la información existente sobre los programas municipales de composteo. Elaborado por Nathalie Jean-Baptiste bajo la coordinación de Ana Córdova. Número de contrato: INE/ADE-023/2005. México.
- Kebekus F, G. Dilewski y D.T. Drees. 2000. ¿Tratamiento mecánico-biológico de desechos? - Introducción y ayudas para la toma de decisiones relativas a su aplicación en países en desarrollo (en línea). Deutschland: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ): <http://www2.gtz.de/MBA>.
- Legislatura Constitucional del Estado Libre y Soberano de Guanajuato. 2005. Ley para la Gestión Integral de Residuos del Estado y los Municipios de Guanajuato. Guanajuato.
- Legislatura de Querétaro Arteaga. 2005. *Ley de Prevención y Gestión Integral de Residuos del Estado de Querétaro*. Querétaro.
- Legislatura del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. 2004. *Ley de prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos y de manejo especial para el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave*. Veracruz.
- Lugo, S. 1998. *Evaluación de los proyectos de compostaje en el Ecuador*. Quito: Fundación Natura, Red Panamericana de Manejo de Residuos (REPAMAR), Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).
- Ministerio Estatal de Baviera para el Desarrollo Provincial y Asuntos del Medio Ambiente. 2001. *De residuos verdes a compost. Manual para el compostaje de residuos vegetales*. Argentina: Rosario: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).
- Navarro, RA. 2002. Manual para hacer composta aeróbica (en línea). El Salvador: CESTA Amigos de la Tierra. <http://www.cesta-foe.org/recursos/saneamiento.htm>.
- Reza B.G., R.M.R. Sauri, V.E.R. Castillo y N.R.I. Méndez. 2005. *Aprovechamiento de la composta para la oxidación de metano*. México: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria (AIDIS).
- Röben, E. 2002. *Manual de compostaje para municipios*. Ecuador: Loja: Ilustre Municipalidad de Loja.
- Robles, M.F., F.G. Valencia, P.E. Durán. 2005. *Uso de poliestireno como texturizante en el proceso de composteo*. México: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria (AIDIS).
- Rodríguez, Q.G., M.J. Paniagua. 2005. *El vermicomposteo de biosólidos y agua tratada en el noroeste de México: Ecomparque, un caso de estudio*. México: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria (AIDIS).
- Rodríguez, S.M.A. 2001. *Estado actual de la producción de composta en el Valle de México*. México: Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del Instituto Politécnico Nacional.
- Sanzo, C.A. y A.R. Ravera. 1999. Cómo criar lombrices rojas californianas (en línea). Argentina. <http://www.lombricesrojas.com.ar>.
- Sauri, R.M.R., A.H.A. Nájera, H.J.G. Ramírez y S.G.M. Mejía (1998). Aplicación del composteo como método de tratamiento de los residuos de frutas producidos en zonas de alta generación (en línea). México: Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán. <http://www.uady.mx/sitios/ingenier/revista/volumen6/aplicacion.pdf>.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). 2004. Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos, Parte 7 - Compostaje de la Materia Orgánica en los RSU - (en línea). México: SEMARNAT, GTZ: <http://www.giresol.org>.
- Sztem, D. y M.A. Pravia. 1999. Manual para la elaboración de compost: bases conceptuales y procedimientos (en línea). Uruguay: Unidad de desarrollo municipal de la Presidencia de la República - Organización Panamericana de la Salud (OPS).
- Tchobanoglous, G, H.Theisen y S. Vigil. 1993. *Gestión integral de residuos sólidos*. Madrid: McGraw-Hill.
- Velásquez, A.J.C., R.M.R. Sauri, V.D. Cabañas y H.J.G. Ramírez. 2005. *Composteo de lodos de fosa séptica*. México: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria (AIDIS).
- Veyna, C.S., S.D. Ramírez, P.I. García y M.F. Robles. 2005. *Caracterización de la digestión anaerobia de residuos vegetales de la Central de Abastos de Ciudad de México* (en 1er congreso de Medio Ambiente y Desarrollo). México: Instituto Politécnico Nacional (IPN).
- Walsh, S. 2000. Uso biotecnológico de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (Argentina) (en línea). Madrid: <http://habitat.aq.upm.es/bpal/onu00/bp713.html>.

Este *Manual de compostaje municipal. Tratamiento de residuos sólidos urbanos*,
elaborado por Marcos Arturo Rodríguez Salinas y Ana Córdova y Vázquez,
se terminó de imprimir en los talleres gráficos
de la empresa S y G Editores, S.A. de C.V.,
Cuapinol 52, col. Pedregal de Santo Domingo,
Coyoacán, 04369,
Ciudad de México,
durante el mes
de octubre
de 2006

Se tiraron
2,000 ejemplares
más sobrantes
para reposición

EJEMPLAR DE DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA