

Parte 2 Reciclaje de la materia orgánica - Compostaje

1 ¿Qué es el compostaje?

Se da el nombre de compostaje al proceso biológico de descomposición de la materia orgánica contenida en los restos de origen animal o vegetal. El resultado final de este proceso es un producto que se puede aplicar al suelo para mejorar sus características, sin causar riesgos al medio ambiente.

Desde hace mucho tiempo el compostaje se realiza en el medio rural, mediante el uso de restos vegetales y estiércol animal. También, es posible compostar **la fracción orgánica de los residuos sólidos domiciliarios**, en forma controlada, **en instalaciones industriales llamadas plantas de clasificación y compostaje**. El compostaje tiene una gran importancia, ya que en el contexto uruguayo, aproximadamente el 60 % de los residuos sólidos domiciliarios están constituidos por materia orgánica.

Ventajas del Compostaje

- economía de espacio en el relleno sanitario;
- aprovechamiento agrícola de la materia orgánica;
- reciclaje de nutrientes para el suelo;
- proceso ambientalmente seguro;
- eliminación de patógenos.

2 El proceso de compostaje

El compostaje es la descomposición de la materia orgánica, que ocurre por acción de agentes biológicos microbianos y, por lo tanto, necesita de las condiciones físicas y químicas adecuadas para llegar a la formación de un producto de buena calidad.

El proceso de compostaje puede ocurrir por dos métodos:

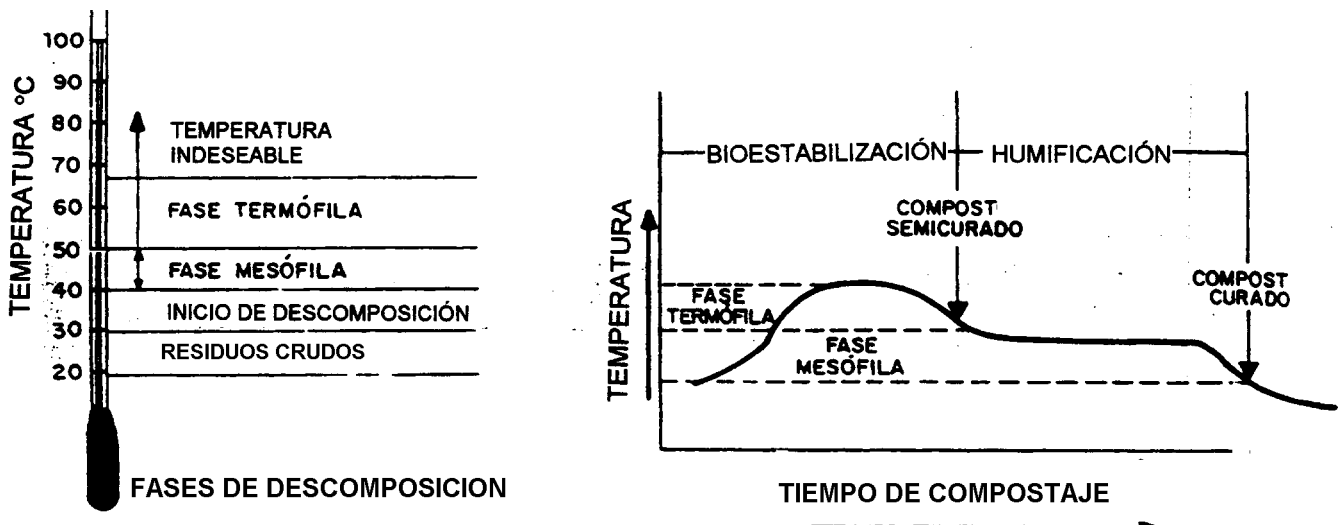
- método natural: la fracción orgánica de los residuos sólidos se lleva a un patio y se coloca en pilas de forma variada. La aeración necesaria para el desarrollo del proceso de descomposición biológica se obtiene por volteos periódicos con la ayuda de un equipo apropiado. El tiempo para que el proceso concluya, varía de tres a cuatro meses;
- método acelerado: la aeración se produce a través de tuberías perforadas, sobre las cuales se colocan las pilas de residuos sólidos, o en reactores rotatorios, dentro de los cuales se colocan los residuos, que avanzan en sentido contrario al de la corriente de aire, los que posteriormente se apilan, como en el método natural. El tiempo de permanencia dentro del reactor es de unos cuatro días, y el tiempo total del compostaje acelerado es de dos a tres meses.

El grado de descomposición o degradación del material sometido al proceso de compostaje es un indicador del estado de «maduración» del compost orgánico. El aspecto del material -color, olor y humedad- da las indicaciones. Así, el color final de la masa es oscuro casi negro; el olor inicialmente rancio, pasa a ser el de tierra mojada agradable; la humedad se reduce.

Para fines prácticos, son dos los principales grados de descomposición del material sometido al proceso de compostaje: **semicurado o técnicamente bioestabilizado**, y **curado o humificado**. El primero indica que el compost ya puede ser utilizado como fertilizante sin causar daños a las plantas; el segundo indica que está completamente degradado y estabilizado, con la calidad apropiada como para poder ser utilizado. La evolución de este proceso de «curado» puede apreciarse en la Figura 1.

Al comienzo de la descomposición del material orgánico, se desarrollan microorganismos que producen una fermentación ácida, y el pH se vuelve más bajo, lo cual es favorable para la retención de amoníaco.

FIGURA 1
Evolución del proceso de curado del compost orgánico²⁰



En la fase siguiente, los ácidos son consumidos por otros agentes biológicos, lo cual eleva el pH. El compost orgánico debe tener un pH mínimo de 6,0. Generalmente, el compost curado humificado presenta valores entre 7,0 y 8,0.

En el laboratorio se puede evaluar el grado de madurez del producto, a través de determinaciones de carbono total (C) y oxidable, nitrógeno total (N) y amoniacal, y cálculo de la relación C/N. Una relación C/N igual o inferior a 18/1 indica que el compost está semicurado, y cuando es inferior a 12/1, está curado.

El tiempo necesario para el compostaje de los residuos orgánicos está asociado a varios factores que influyen en el proceso, al método empleado y a las técnicas operacionales. El compostaje natural emplea de 60 a 90 días para alcanzar la bioestabilización, y de 90 a 120 días para la humificación. El compostaje acelerado tarda de 45 a 60 días para el semicurado, y de 60 a 90 días para el curado completo o humificación. Esta diferencia se debe básicamente a la duración de la fase termófila en el proceso acelerado, que de algunas semanas, pasa a ser sólo de dos o cuatro días.

El curado puede también ser determinado en el campo mediante el «test de la mano», como se indica en la Figura 2. En este caso, la calidad del compost se aprecia frotando un poco del mismo entre las palmas de las manos: el compost de buena calidad debe dejarlas sucias y desprenderse fácilmente.

Factores que se deben observar durante el compostaje

Aeración - es necesaria para la actividad biológica y, en niveles adecuados, posibilita la descomposición de la materia orgánica de una forma más rápida, sin malos olores. Es función de la granulometría y de la humedad de los residuos.

Humedad - el nivel de humedad de los residuos depende de su granulometría, porosidad y grado de compactación. Para un buen compostaje, la humedad debe mantenerse alrededor de un 50%. Si fuese muy baja, se reduciría la actividad biológica; si fuese muy elevada, se perjudicaría la aeración, y se produciría una anaerobiosis. En tales condiciones, se forma lixiviado, líquido de color oscuro y nauseabundo, que sale de las pilas del material en descomposición. Su producción es más elevada cuando las pilas de residuos sólidos mojados son muy altas, compactando y exprimiendo las capas inferiores de resi-

duos. Con lluvia, la formación de lixiviado se produce también por mojarse los residuos en descomposición. La compactación y el encharcamiento expulsan el aire de los vacíos existentes en la pila de residuos con lo que la anaerobiosis se instala, ingresando el material en putrefacción, con desprendimiento de gas sulfhídrico y mercaptanos. Al final, la humedad del compost para uso agrícola no debe pasar del 40% (Figura 3).

FIGURA 2
Test de la mano

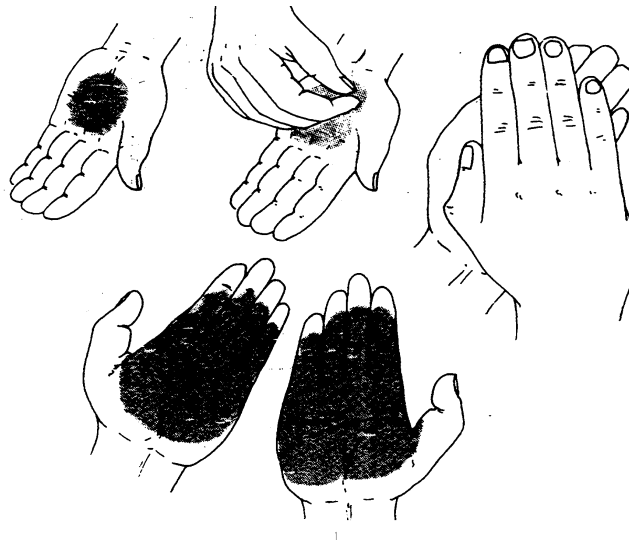
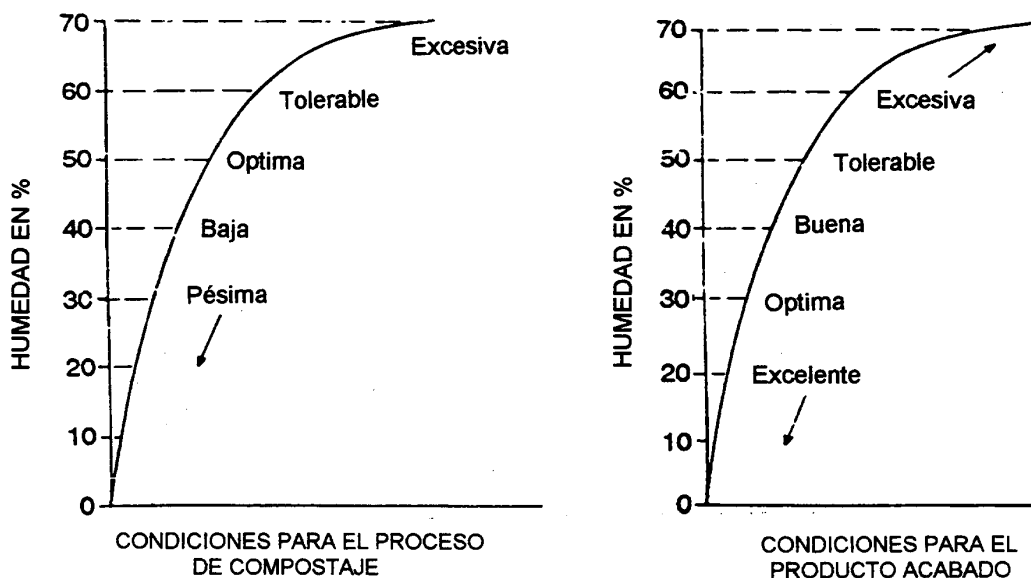


FIGURA 3
La humedad en el proceso de compostaje y en el producto terminado²⁰

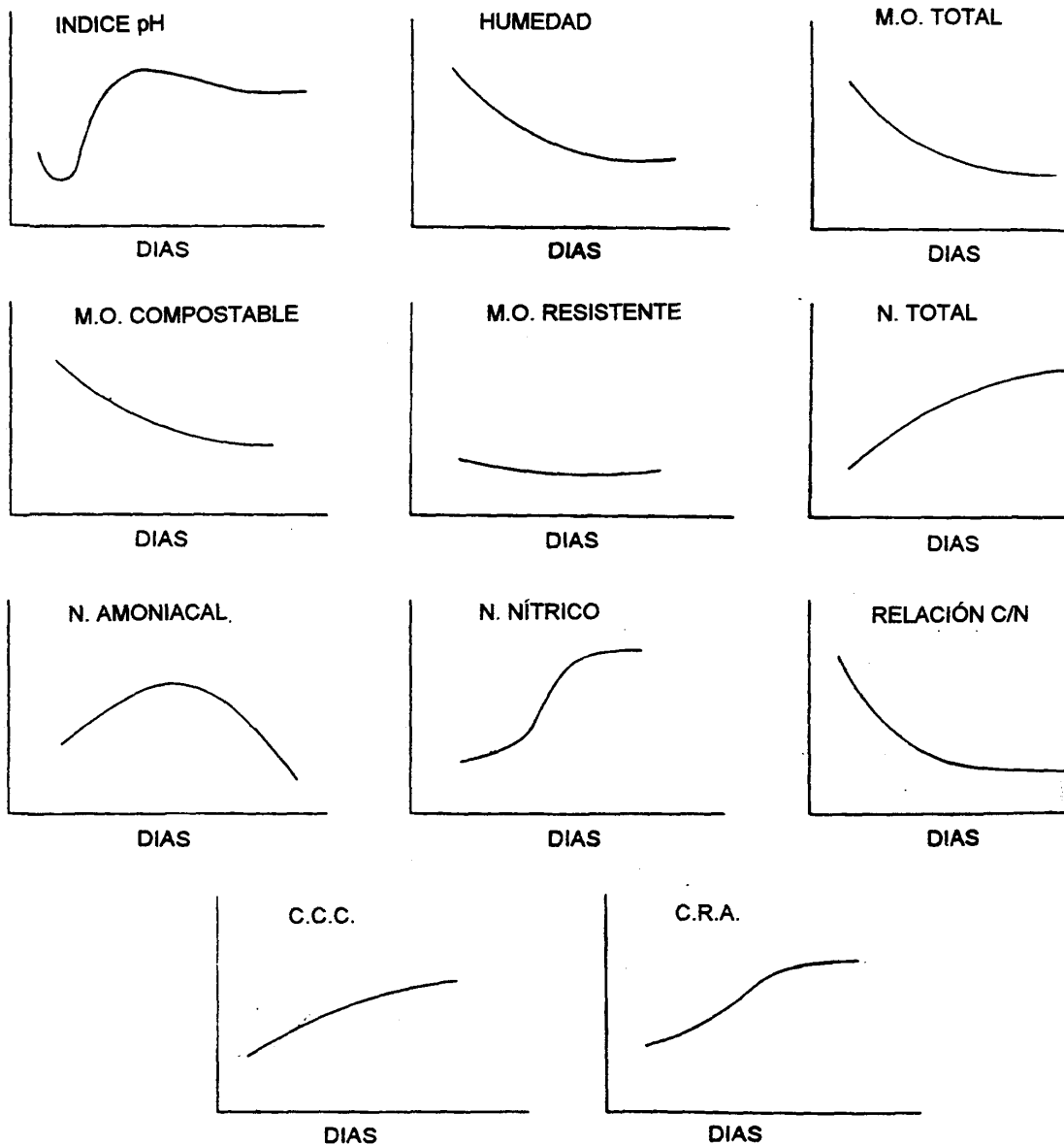


Temperatura - el proceso comienza a temperatura ambiente, pero a medida que la acción microbiana se intensifica, con la aeración apropiada, la temperatura se eleva hasta alcanzar valores superiores a 55-60 °C, en los que se mantiene por un período de tiempo que depende de las características de los residuos y de la operación de la planta. Esa fase, denominada termófila, es importante para la eliminación de microbios patógenos y semillas de hierbas dañinas, eventualmente presentes en el material. Le sigue una fase con

disminución de la temperatura hasta niveles de 30-35 °C a 45-50 °C, donde se da la bioestabilización de la materia orgánica (relación C/N próxima a 18), y finalmente, la humificación en la cual la relación C/N puede bajar a niveles inferiores a 12, con temperaturas mesófilas.

FIGURA 4

Tendencias evolutivas de las principales variables durante el compostaje
(M.O.- Materia Orgánica; N-Nitrógeno; C.C.C.- Capacidad de Cambio Catiónico;
C.R.A.- Capacidad de Retención de Agua)²⁰



Nutrientes - la relación carbono/nitrógeno (C/N) deseable para el inicio del compostaje debe ser del orden de 30/1, y el nivel de nitrógeno debe estar entre 1,2 y 1,5%. A lo largo del proceso, parte del carbono se transforma en gas carbónico (CO_2), y parte se usa para el crecimiento microbiano. El nitrógeno queda retenido en el material, bajo forma de nitrógeno orgánico y nitrógeno inorgánico.

Relaciones C/N elevadas (60/1, por ejemplo) exigen mayor tiempo de compostaje. Si la relación C/N fuese muy baja, o sea, con un nivel de nitrógeno elevado, se debe incorporar al material otro residuo rico en carbono (restos vegetales o de podas), para que el compostaje sea adecuado. La relación C/N apropiada, para aplicación del compost en agricultura debe ser como máximo de 18/1.

pH - los residuos sólidos domiciliarios son ácidos, con pH inicial del orden de 4,5 a 5,5. El compost curado humificado tiene un pH del orden de 7,0 a 8,0.

La evolución de las principales variables durante el compostaje, sigue la tendencia presentada en la Figura 4.

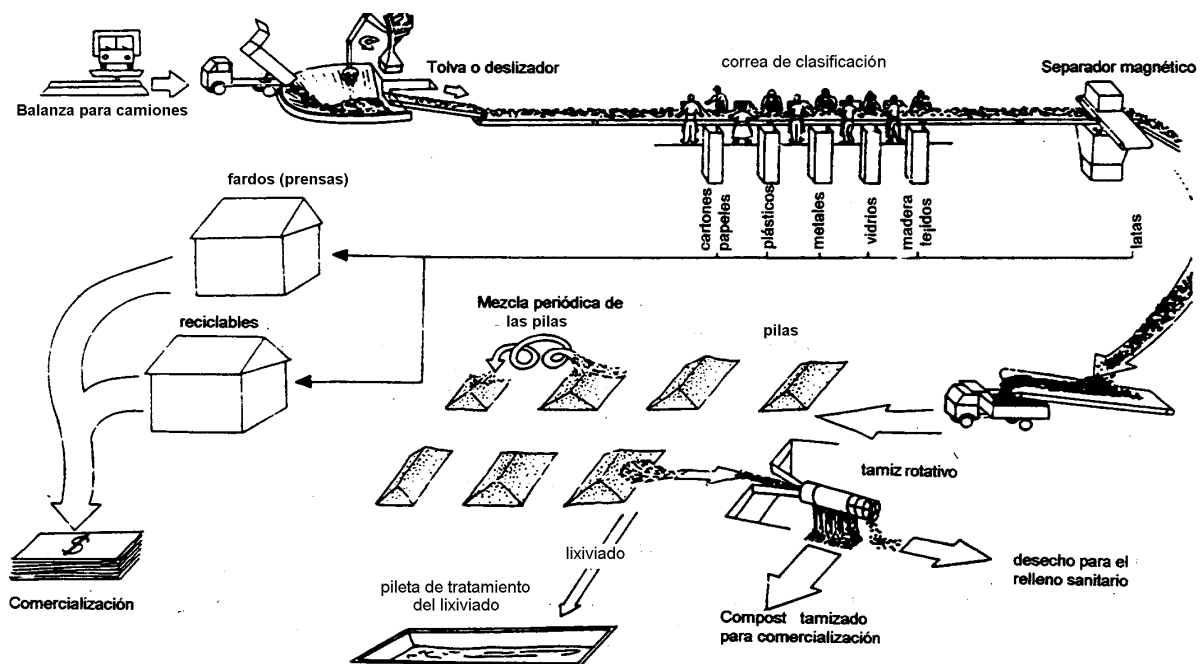
3 La planta de clasificación y compostaje

Las instalaciones de una planta de compostaje pueden agruparse en cinco sectores: recepción y despacho, unidad de clasificación, patio de compostaje, acondicionamiento y almacenamiento del compost, y entierro de desechos. La denominación de planta de clasificación y compostaje se debe a que abarca los dos procesos. La Figura 5 presenta una vista general de las instalaciones de esa planta.

Recepción

Este sector comprende las instalaciones y los equipos de control de los flujos de entrada (residuos, insumos, etc.) y salida (compost, materiales reciclables, desechos). Según el tamaño y las características de la instalación, puede haber los siguientes equipos para permitir el manejo inicial de los residuos sólidos, antes de la clasificación:

FIGURA 5
Esquema de una Planta de Clasificación y Compostaje



Balanza - a pesar de que existen instalaciones sin ese equipo, es una pieza fundamental para poder cotejar la cantidad de residuos sólidos recibidos y el compost despachado. Se pueden utilizar balanzas mecánicas simples o digitales que registran automáticamente los datos obtenidos;

Patio de recepción - para descargar los residuos sólidos, los camiones recolectores necesitan de un patio para maniobras y descarga. Ese patio funciona también como «pulmón», y recibe la descarga de los residuos sólidos en caso de interrupción temporal del funcionamiento de la planta. Reiniciado el funcionamiento, los residuos del patio serán llevados al foso o a la tolva;

Tolva o deslizador - en las instalaciones más simples, los residuos sólidos se puede descargar en una tolva o deslizador, pieza de madera o lámina de hierro con forma de medio cono truncado, dispuesta en forma inclinada, de modo que los residuos sólidos se deslicen y caiga sobre el equipo siguiente. La tolva no hace una descarga perfecta, y necesita la presencia continua de un obrero, que empuje los residuos sólidos hacia adelante. El trabajo de ese obrero es útil también para retirar los objetos voluminosos inde-seables, considerados como descarte;

Foso con piso móvil - en este caso los residuos sólidos se descargan en el foso, pozo o silo, en el fondo del cual se halla instalado el equipo llamado piso móvil. Está constituido por una correa de placas o astillas metálicas articuladas (como la «oruga» de un tractor) que, al moverse, arrastra los residuos sólidos. Acompaña al equipo una pieza llamada guillotina, localizada en la salida del foso, de altura regulable, y cuyo propósito es dosificar la descarga de residuos sólidos sobre el equipo que sigue;

Foso con brazo articulado o puente rodante - en este otro caso, por medio de un cucharón de cuatro gajos, provisto de un mecanismo hidráulico, se sacan los residuos sólidos del foso y se depositan sobre el equipo siguiente. El brazo articulado es el equipo más sencillo, con capacidad de hasta 1 m³ de residuos sólidos brutos, y posee movimientos circulares, aunque limitados. El puente rodante, en cambio, puede tomar mayores porciones de residuos sólidos, y puede desplazarse en dos sentidos, con lo cual puede atender fosos separados de diversas líneas de clasificación de residuos sólidos.

Algunos de esos equipos se ilustran en la Figura 6.

Galpón de Selección

Este es el local donde se hace la separación de los residuos en los diversos componentes. El equipo principal es la correa de selección (Figura 7), de goma y con poleas en las extremidades, que se desliza sobre rodetes, desplazando los residuos sólidos desde un extremo al otro, permitiendo así el retiro de los materiales reciclables. Esos elementos se echan a carritos o vagonetas de ruedas, y luego se llevan al depósito de reciclables.

Para poder retirar el máximo posible de metales, inclusive baterías, pilas eléctricas y tapas de botellas y frascos, la correa debe estar provista de un separador magnético, que puede constar de un electroimán o de una polea magnética dentro de la propia correa.

Grado de selección

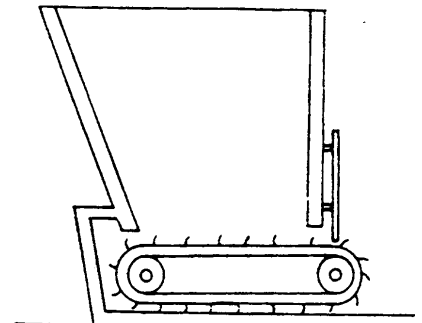
La necesidad de un mayor o menor grado de selección (eficiencia en la recuperación de reciclables), es función del mercado de reciclables. En caso de que en una determinada región no existiera mercado para ningún metal, este debe ser incorporado a los desechos.

Generalmente, hay mercado para la mayoría de los elementos reciclables; siempre habrá uso para el compost, aunque sea en el ornato y la arborización de sitios públicos. La venta de compost orgánico puede ampliarse con una buena campaña de divul-

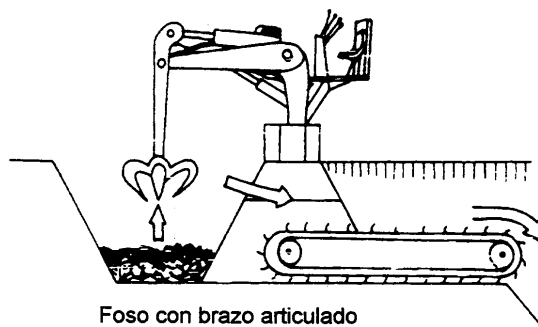
FIGURA 6
Equipos para la recepción de los residuos



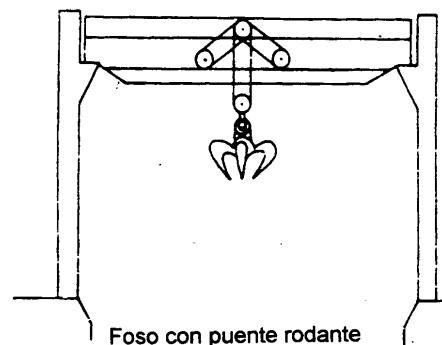
Descarga en tolva
o deslizador



Tolva con piso móvil



Foso con brazo articulado



Foso con puente rodante

gación de sus cualidades.

Patio de compostaje

Se llama patio de compostaje el área de la planta donde la fracción orgánica de los residuos sólidos sufre descomposición microbiológica para transformarse en compost. Debe estar pavimentado o cubierto con arcilla compactada, dotado de un sistema de captación de lixiviado / aguas de lluvia, y disponer de una pileta de estabilización.

En la mayoría de los casos, la fracción orgánica de los residuos sólidos se dispone en pilas o hileras de geometría variable, que se voltean periódicamente hasta obtener la cura del compost (Figura 8).

Opcionalmente, el compostaje acelerado se puede hacer en pequeñas instalaciones, inyectando aire, o facilitando el movimiento de aire en las pilas por medio de compresores o aspiradores.

FIGURA 7
Correa o mesa de clasificación de los residuos sólidos

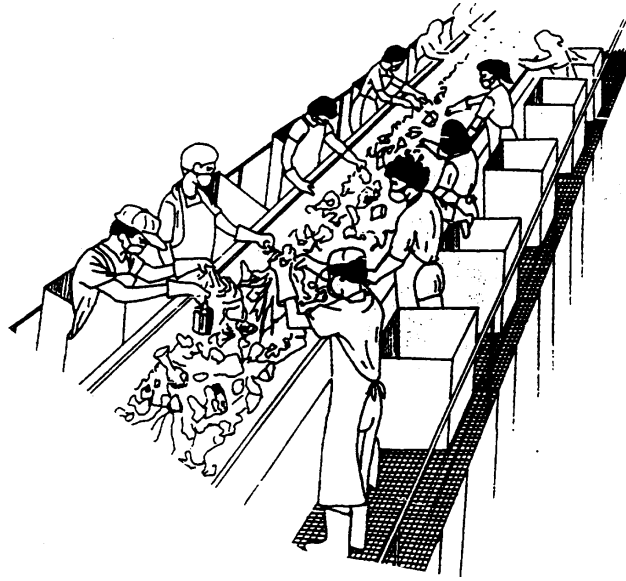
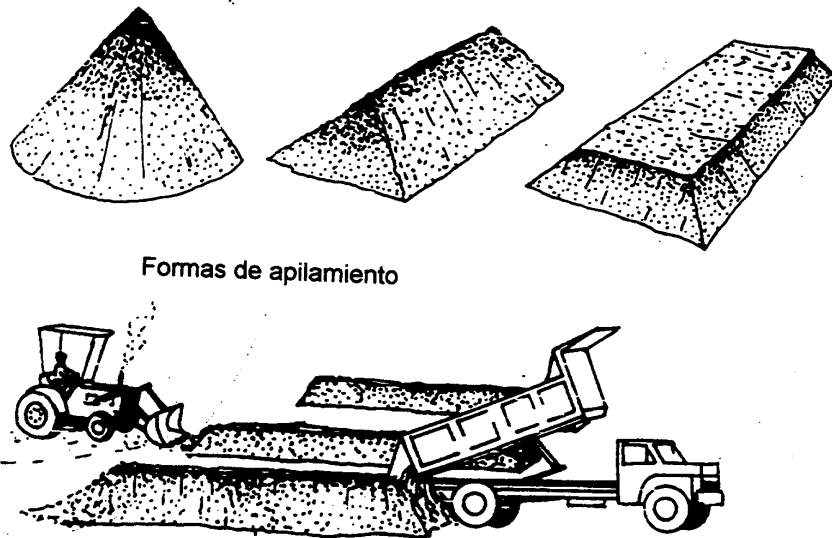


FIGURA 8
Patio de compostaje - Tipos de pilas o hileras



Formas de apilamiento

Acondicionamiento y almacenamiento

El acondicionamiento del compost curado consiste en triturarlo y tamizarlo, para darle una menor granulometría y volverlo más manejable para el agricultor. El acondicionamiento de los materiales reciclables consiste en prensarlos y disponerlos en bultos para facilitar su movilización y transporte. El almacenamiento de los productos acondicionados debe hacerse en un galpón cubierto.

Entierro de los desechos

Los materiales voluminosos y los desechos de la selección y del acondicionamiento

del compost, deben ser dirigidos al relleno de desechos. Este relleno debe ser compatible con las características de los desechos, y su ubicación debe estar aprobada por las autoridades locales. En el Capítulo IV se presentan mayores detalles en cuanto a la construcción y la operación de los rellenos sanitarios.

Economía del relleno sanitario

La planta de clasificación y compostaje produce, como promedio, una disminución de 70% en el tonelaje de residuos sólidos destinados al relleno sanitario; con ello se reducen los costos de operación por cantidad recolectada y aumenta la vida útil del área asignada a la disposición final.

Otros equipos

Trituradores o molinos - algunas plantas utilizan molinos o trituradores de cuchillas o martillos, instalados a continuación de la correa de clasificación. Esos equipos tienen la finalidad de reducir las partículas gruesas, para facilitar el compostaje. Sin embargo, en la mayor parte de las plantas esos equipos han sido desactivados por las siguientes razones: aumento de interrupciones en el funcionamiento de la clasificación, por mantenimiento correctivo; alto costo de mantenimiento; alto consumo de energía; introducción de exceso de inertes en el compost (trozos de vidrio y de porcelana); reducción excesiva de la granulometría del residuo, lo cual provoca la compactación de las hileras, generando producción de lixiviado y aglomeración del compost («tortas»).

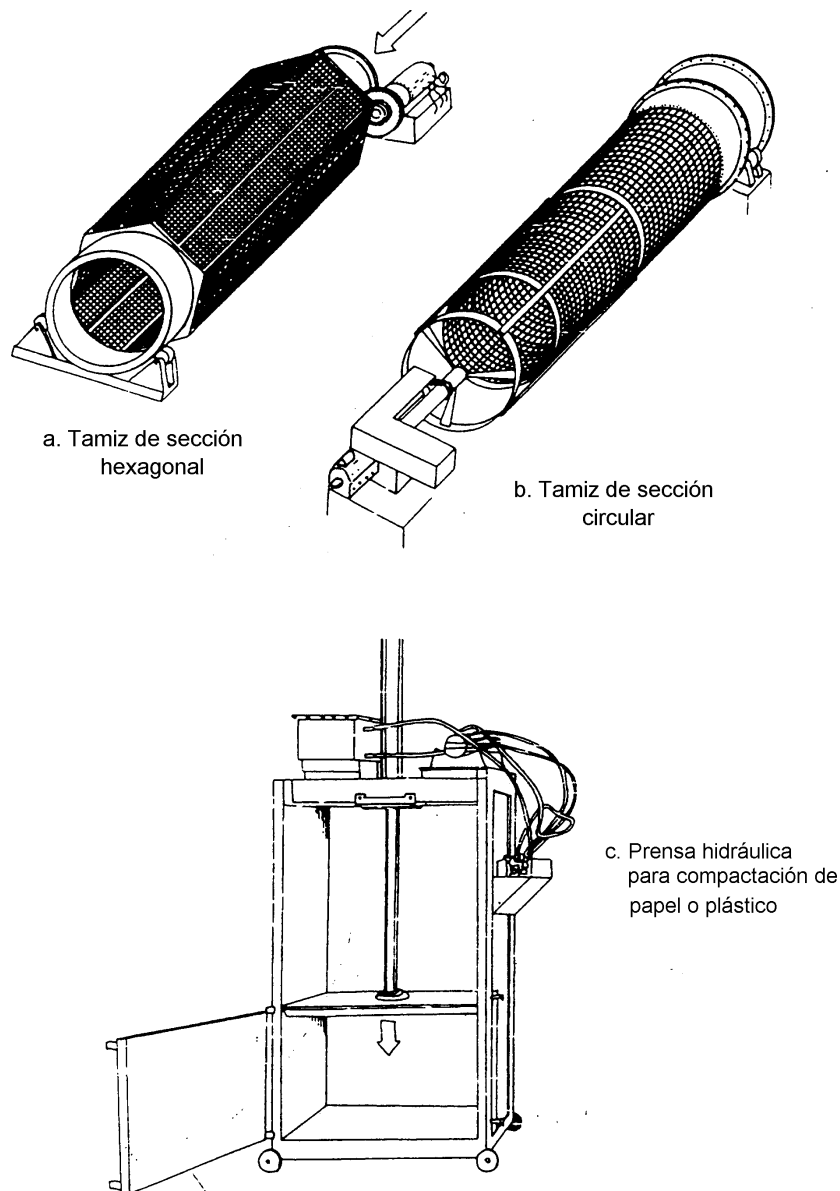
Tamiz rotativo - es un equipo de sección circular o hexagonal, con el eje ligeramente inclinado, dotado de mallas o perforaciones en las paredes laterales. Su objetivo principal es separar los componentes de menor tamaño (que salen por los lados), de los más voluminosos, que caen por el extremo opuesto a la entrada (Figura 9 - A y B). Se puede utilizar en la clasificación y en el acondicionamiento del compost. Además de su finalidad principal, puede ayudar a deshacer las «tortas» que se puedan haber formado durante el proceso de compostaje. Cuando se utiliza en la clasificación, ofrece, además, los siguientes beneficios: ayuda a romper los sacos plásticos y otros componentes frágiles, como frutas, verduras y aglomerados de residuos sólidos; uniforma la humedad, transfiriendo el exceso de agua de materiales como frutas y verduras, a otros extremadamente secos (papel, cartón, hierba seca); permite que algunos materiales, ya algo descompuestos, se mezclen e inoculen a los de difícil descomposición, como papel, cartón y paja. Las desventajas de su utilización en este sector son: costo, necesidad de paradas para limpieza, y envío de parte de la materia orgánica en descomposición hacia el relleno sanitario.

Prensas compactadoras - son equipos hidráulicos o manuales destinados a reducir, mediante presión, el volumen de materiales reciclables, como latas, plásticos, papel, cartón. (Figura 9 -C).

Biodigestores - biodigestores o bioestabilizadores son equipos que aceleran el proceso de compostaje mediante la aeración forzada. De este modo, la fase termófila reduce su período de 15 - 30 días a 96 horas, gracias a lo cual disminuye el espacio requerido en el patio de compostaje.

Ese detalle hace que el equipo sea muy importante para el tratamiento de grandes cantidades de residuos, sobre todo en sitios donde el costo del terreno es alto y los espacios disponibles escasos. Estos equipos ofrecen la ventaja adicional de permitir la captación y el tratamiento de gases.

FIGURA 9
Otros equipos de una planta de clasificación y compostaje



Existen dos tipos principales de biodigestores: el cilíndrico rotativo con eje horizontal, y el cilindro fijo con eje vertical y con extractor rotativo en la base. En ambos casos, el aire atraviesa el equipo en dirección contraria a los sólidos. En el equipo fijo existe un dispositivo para la remoción del producto por la parte inferior.

Otras instalaciones

Además de las instalaciones mencionadas, son necesarias otras para permitir el funcionamiento adecuado de la planta, como, por ejemplo:

- torre o subestación de corriente eléctrica;
- tanque elevado de agua, para abastecer las instalaciones, para la limpieza y para tomas contra incendio;
- portería para el control de entrada y de salida del personal y los vehículos;
- comedor, vestuario y sanitarios;
- oficina, para atención general, contabilidad de compras y ventas;
- taller y almacén para realizar reparaciones urgentes y la operación de mantenimien-

to;

- galpón para acondicionar y almacenar el compost curado.
- galpón para acondicionar y almacenar los materiales reciclables (en algunos casos, dispuestos en contenedores descubiertos).
- laboratorio analítico con lo suficiente para el monitoreo necesario (estufa, termómetros, balanzas, etc.).

Se pueden añadir otras instalaciones opcionales, tales como: huerta de servicios, vivero para trasplantes, recipiente para vermicompostaje (lombrices) y museo de los residuos sólidos. Además de todo eso, es recomendable la inclusión de un aula de clase o un auditorio para reuniones con escuelas y otros grupos visitantes. En caso de que se proceda a la incineración de los residuos de los servicios de salud y/o industriales, la inclusión de estas dependencias en la planta es ventajosa para disminuir la necesidad de personal. En este caso, hay que esmerarse en las precauciones en el manejo, para evitar problemas de higiene y de seguridad.

4 ¿Qué tipos de residuos sólidos pueden ir a la planta de compostaje?

Los residuos sólidos municipales incluyen residuos domiciliarios, comerciales, de barrido, de poda y limpieza de jardines y áreas verdes, etc.

La planta de compostaje sólo debe procesar los residuos sólidos domiciliarios y comerciales (restaurantes, pensiones y hoteles, tiendas y centros comerciales). Eventualmente, podrá procesar ramas y otras hierbas, con tal de que estén debidamente trituradas. No debe procesar los residuos de barrido, mucho menos los de servicios de salud, siendo estos destinados al relleno sanitario y a la incineración, respectivamente.

Los residuos sólidos domiciliarios tienen una composición variable, según la estación del año y las diversas características de cada localidad, principalmente por los aspectos socioeconómicos y culturales de la población. Generalmente, sin embargo, cerca de un 50% de su peso está constituido por materia orgánica, que contiene sobras de cocina y restos de origen vegetal y animal, además de papel, cartón y otros materiales proclives a degradación biológica.

Características de la fracción orgánica de los residuos sólidos destinada al proceso de compostaje

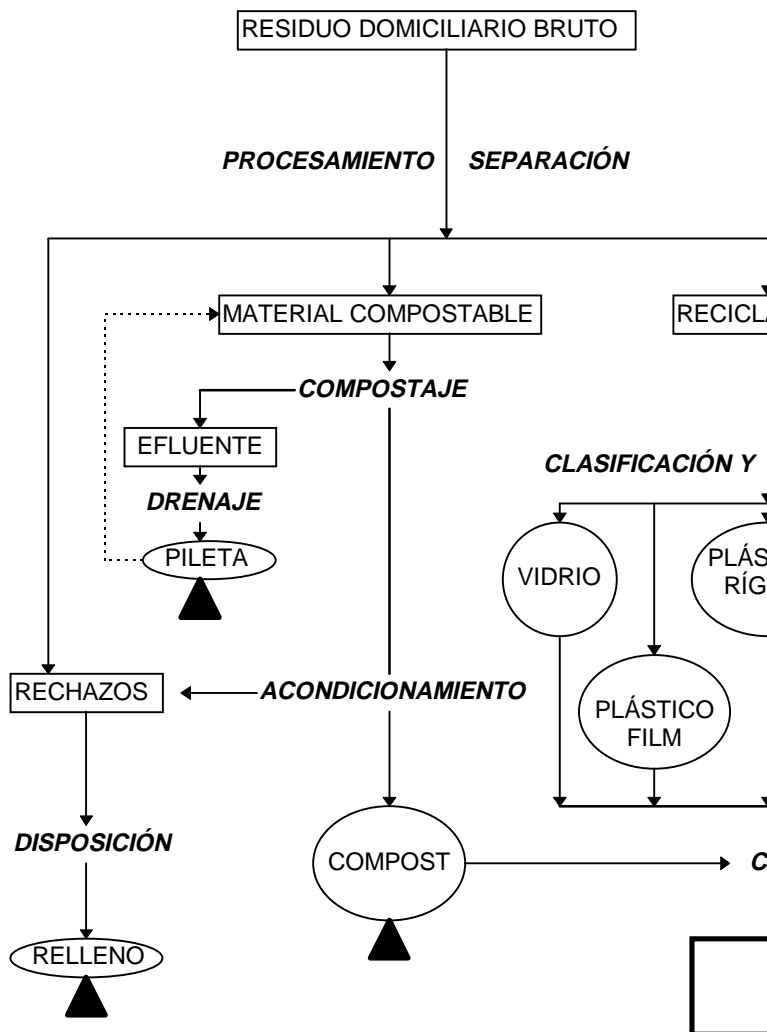
- **pH** - es ácido. Lo ideal es que está cerca de la neutralidad;
- **niveles de carbono (C) y nitrógeno (N)**, deben ser tales que la relación C/N sea del orden de 30/1.
- **granulometría** - el residuo debe tener una granulometría adecuada para el proceso según el método natural, a fin de garantizar una buena aeración de las hileras. Las dimensiones de las partículas deben alcanzar 1,2 cm x 5 cm (0,5 x 2"). El exceso de partículas finas puede provocar la producción de lixiviado y la formación de aglomerado;
- **humedad** - debe estar entre 40 y 60%, para posibilitar una buena aeración;
- **materiales indeseables** - se deben evitar dos tipos de materiales: los que pueden perjudicar la calidad del producto, como cascos de vidrio, y los que pueden perjudicar el proceso, como el exceso de film plástico

El resto está constituido por materiales que se pueden reaprovechar -los reciclables-, como vidrio, plásticos, metales ferrosos y no ferrosos (aluminio, cobre, zinc), trapos y cueros, y también los que pueden no tener valor comercial, como lozas, maderas, piedras, cauchos, ladrillos y bloques rotos, etc. Estos constituyen el llamado «desecho» de los residuos sólidos, y según su clasificación, deben ser destinados al relleno sanitario o al

vertedero de residuos inertes.

El esquema de la Figura 10 representa el flujo de los componentes de los residuos domiciliarios en una planta de clasificación y compostaje

FIGURA 10
Flujo de materiales en una planta de clasificación y compostaje



5 Pautas para proyectar una planta de clasificación y compostaje

El proyecto de una planta de clasificación y compostaje debe ejecutarse considerando las características socioeconómicas y culturales de la población atendida. Se debe siempre evaluar las diferentes fases del proceso y comparar las alternativas, tomando en cuenta:

- economía de espacio en el relleno sanitario;
- reducción de los costos de instalación;
- menor costo operacional;
- mejor rendimiento en la separación de materiales reciclables;
- mejor calidad del compost;
- menor deterioro ambiental;

Los principales factores a considerar son:

- las características de los residuos procesados (ver Capítulo II);
- mercado actual y potencial de compost y reciclables en la zona de influencia de la planta;
- régimen de trabajo (generalmente un solo turno - 44 hs. semanales);
- datos sobre el crecimiento poblacional (se debe prever el servicio a la población por 10 años como mínimo);
- paradas para mantenimiento (se recomienda utilizar los sábados para la limpieza y el mantenimiento de las instalaciones);
- características del proceso escogido (rendimientos, pérdidas, tiempo de compostaje y necesidad de espacio);
- características de los equipos adquiridos (dimensiones, materiales de construcción).

En el Cuadro 1 se presentan las principales recomendaciones para un proyecto de esta clase, agrupadas por sector.

CUADRO 1
Recomendaciones para un proyecto de planta de clasificación y compostaje a partir de los residuos sólidos domiciliarios¹⁷

Sector	Recomendación
Recepción	<ul style="list-style-type: none"> • prever balanza para camiones; • patio de recepción, preferentemente pavimentado con drenaje; • foso de descarga debe ser cubierto, con captación de lixiviado; • paredes de tolvas y deslizadores deben tener inclinación mínima de 60 grados en relación a la horizontal; • fosos deben tener paredes verticales de un lado e inclinadas de los otros, para favorecer el escurrimiento de los residuos.
Clasificación	<ul style="list-style-type: none"> • utilizar motores eléctricos a prueba de polvo y de agua; • correa con ancho útil máximo de 1 metro, velocidad entre 6 y 12 m/min, con variador de velocidades (juego de poleas), equipada con electroimán o polea magnética; • en caso de uso de tamiz, usar el de tipo rotativo, con sección circular o hexagonal; malla de como mínimo 5 cm, y rotación entre 14 y 20 rpm.
Patio de compostaje	<ul style="list-style-type: none"> • se debe prever volteadora de hileras o pala cargadora; • tiempo de compostaje varía con las características de la materia prima y del clima de la región - en general, de 60 a 90 días en climas cálidos y 90 a 120 días en climas fríos; • utilizar hileras con altura entre 1,2 y 1,8 metros; • el patio debe tener inclinación de cerca de 2/1.000, y contar con sistema de drenaje para captación de lixiviado y aguas pluviales, conduciéndolas a la pileta de estabilización; • el área del patio debe incluir sectores de tamizado del compost, secado y almacenamiento del compost curado.
Acondicionamiento	<ul style="list-style-type: none"> • utilizar tamices rotativos de sección circular o hexagonal, con malla de aprox. 20 mm de abertura. Se puede prever tamices con doble malla, para producir dos tipos de compost, uno de abertura gruesa y otra fina; • los fardos deben tener peso máximo de 40 kg.
Otras instalaciones	<ul style="list-style-type: none"> • vertederos deben tener capacidad mínima para 10 años de operación y estar a una distancia máxima de 15 km de la planta; • canteros de vermicompostaje deben prever 30 a 50 días de operación; • otras instalaciones existentes (administración, mantenimiento, almacén e instalaciones opcionales como vivero para trasplante y huerta) deben situarse en posiciones adecuadas para facilitar el acceso y evitar problemas de pérdida y contaminación.

Elección del sitio

Otro factor de gran importancia es la elección del sitio para instalar la planta.

Cualquier emprendimiento acerca de la disposición de residuos sólidos domiciliarios o industriales debe seguir procedimientos y atenerse a criterios técnicos, que le permitan al organismo encargado del medio ambiente la aplicación de las leyes o resoluciones vigentes para conceder el permiso respectivo.

A modo de información, es interesante conocer que en Brasil (Resolución CONAMA n° 001/96), para las plantas de clasificación y/o de reciclaje de residuos sólidos domiciliarios que procesen una cantidad igual o mayor que 100 ton/día, es obligatoria una Evaluación de Impacto Ambiental y su respectivo Relatorio de Impacto al Medio Ambiente (EIA/RIMA). Si la cantidad fuera inferior a 25 ton/día, esto podrá ser prescindido, introduciéndose una relación de apéndices a las exigencias técnicas del permiso de instalación. La Resolución no contempla instalaciones entre 25 y 99 ton/día, de modo que en estos casos el organismo de control del medio ambiente deberá ser siempre consultado.

Para plantas de compostaje, en municipios con producción de residuos domiciliarios inferiores a 100 ton/día, cuya población atendida es generalmente inferior a 200 mil habitantes, hay necesidad de EIA/RIMA cuando se dan algunas de las siguientes condiciones:

- el emprendimiento se destina al tratamiento de residuos domiciliarios;
- su ubicación inadecuada puede causar impacto ambiental en la región;
- el patio de cura del compost puede ser fuente de polución de aguas superficiales o subterráneas.

Todas las informaciones y criterios exigidos son válidos, también, para instalaciones de clasificación, transferencia y rellenos sanitarios, incluyendo aquellos que operan en conjunto con las plantas.

En Uruguay, a nivel nacional rige la Ley 16.466 del 19 de enero de 1994 de Evaluación de Impacto Ambiental y su reglamentación el Decreto 435/994. Dentro de la lista de actividades comprendidas por la ley, relativo al tema residuos sólidos, sólo están explicitadas las plantas de tratamiento y disposición final de residuos tóxicos y peligrosos, habiendo un párrafo final que deja abierto la inclusión de otras actividades a juicio del Poder Ejecutivo. (Ver Anexo A).

Es importante conocer que hay antecedentes en la región, de pleitos por considerar el manejo de los residuos sólidos urbanos como actividad de residuos peligrosos. El caso a que se hace referencia es a un proceso licitatorio para la concesión de los servicios de recolección de los residuos urbanos de la Ciudad de Buenos Aires, que fue suspendido - agosto de 1997 - en virtud de una resolución judicial, que acogió favorablemente objeciones formuladas por una asociación ecologista al contenido del pliego de condiciones. La exigencia de dicha asociación era que no se adjudicara ninguna empresa hasta tanto no se adecuara el Pliego a la Ley Nacional de Residuos Peligrosos N° 24.051 de Argentina³⁸.

Urbanización

Se debe elaborar un proyecto paisajístico para la planta de clasificación y compostaje, a fin de volver el sitio más agradable, mejorando el posible mal aspecto que pueda tener, por el hecho de estar trabajando con residuos.

Del proyecto de paisajismo, deben resultar espacios cubiertos de pasto, canteros con plantas ornamentales, y siembra de árboles alrededor de las instalaciones. Plantar, con preferencia, árboles frondosos y de crecimiento rápido como eucaliptos, pinos y grevillas. Cuando los árboles crezcan, ocultarán las instalaciones a la vista de los transeúntes, lo cual es psicológicamente positivo, ya que un centro de procesamiento de residuos sólidos

suele percibirse como una instalación desagradable. Una cortina de árboles alrededor de la planta de clasificación amortigua el viento, que podría esparcir malos olores por el vecindario, permitiendo su ascenso por convección hasta una altura que favorezca su dispersión en la atmósfera; además, ofrece mayor privacidad a los trabajos que se realizan en su interior.

6 Creación de una planta de clasificación y compostaje

Inversión necesaria

Se estima que el costo medio de inversión por tonelada diaria de capacidad instalada de procesamiento de residuos sólidos domiciliarios urbanos en una planta de clasificación y compostaje, donde se trabaje con el proceso «acelerado», sería del orden de US\$ 25.000, mientras para el proceso «natural» sería de US\$ 11.000. En esos valores no está incluido el capital necesario para la adquisición del terreno o las expropiaciones, debido a las variaciones de éstos precios según las localidades, como tampoco los movimientos de tierra y la preparación del patio³³.

La contratación de terceros para la instalación de la planta, requiere una inversión del orden de US\$ 40.000 a 50.000 para el proceso acelerado, y de US\$ 25.000 a US\$ 30.000 para el proceso natural. En estos valores se incluyen los movimientos de tierra y la preparación del patio³³.

La elección de la alternativa del proceso está fuertemente influenciada por la gravedad del problema y la disponibilidad de espacio para el patio de cura. En términos generales, se puede decir que el proceso «acelerado» es más recomendable para instalaciones de mayor capacidad (a partir de 200 t/día), y requiere menos espacio en patios, debido al menor tiempo de permanencia del material en los mismos.

Gastos operacionales

Las informaciones sobre costos operacionales de estas instalaciones son bastante imprecisas cualquiera sea el proceso considerado. Plantas con capacidad de 50 ton/día que operan por el método «natural», presentan valores entre US\$ 6,00 y US\$ 10,00 por tonelada procesada, sin considerar los costos de mantenimiento y recuperación/pago de capital. Un modelo ideal de 95 ton/día supone un gasto de US\$ 20,00 por tonelada de residuos sólidos brutos, todos los costos incluidos.

En Brasil, una planta de compostaje acelerado, que procesa 110 ton/día operada por la empresa privada, recibe del poder público cerca de US\$ 13,50 (sin contar los gastos de mantenimiento) por tonelada procesada, quedando tanto el compost como los materiales reciclables en poder de la prefectura. Otra operadora privada cobra de una prefectura del Estado de São Paulo US\$ 18,00 por tonelada procesada, incluyendo mantenimiento y quedando con la propiedad de los productos. Este precio puede alcanzar valores de US\$ 35,00 a US\$ 45,00 para el proceso natural con capacidad de hasta 50 ton/día y US\$ 50,00 a US\$ 80,00 para el acelerado, con capacidad igual o superior a 200 ton/día, cuando la operadora no queda con la propiedad de los productos y presta servicios especiales, tales como, monitoreo del proceso, empleo del personal altamente calificado, etc³³.

Espacio físico

El proceso acelerado, recomendable para instalaciones con capacidad superior a 200 ton/día, exige menos espacio en el patio de compostaje que el proceso natural (recomendable hasta 200 ton/día), debido al menor tiempo de permanencia del material en proceso de biodigestión y mayor área cubierta por instalaciones industriales. En ambos procesos, las instalaciones administrativas exigen espacios iguales, y los rellenos demandan áreas proporcionales a la cantidad de desechos. Las áreas efectivamente necesarias dependerán de la topografía local, del nivel de reciclaje y de las instalaciones adicionales (como viveros, instalaciones para cría de lombrices -vermicompostaje-, jardines, cercas vivas, etc.), sea cual sea el proceso adoptado. En cifras redondas, se puede decir que para insta-

laciones con capacidad de procesamiento de 200 t/día (valor donde la comparación es más realista), serían necesarias unas 8 há para el proceso acelerado y más de 12 há. para el natural. Si no se toma en cuenta el espacio para el relleno sanitario, estos números bajan a 5 y 6 há, respectivamente. Se debe considerar, además, que para capacidades mayores -para las cuales es más recomendable el proceso acelerado- la economía de espacio sería considerablemente mayor con este proceso.

Otros requisitos administrativos

Cabe enfatizar la necesidad de integración administrativa e institucional de las actividades del servicio de limpieza pública. Esto requiere preparación e instrumentación específicas del poder público, tanto en la hipótesis de operación directa, como en la tercerización de las diversas fases y actividades (Anexo A).

Permiso de instalación

Las siguientes informaciones básicas deben ser suministradas por el emprendedor para solicitar el permiso de instalación de una planta de clasificación y compostaje:

- alternativas de ubicación;
- ajuste del sitio en área de interés ambiental;
- vías y medios de acceso a la instalación;
- existencia de cuerpos de agua en el área de influencia;
- uso y ocupación del suelo en las áreas vecinas;
- datos sobre la predominancia y dirección de los vientos;
- posibles problemas como consecuencia de la implantación del emprendimiento como, desvalorización inmobiliaria e intensificación del tráfico en el área;
- mapas de la región, en escala 1:10.000, indicando las informaciones relacionadas.

Recomendaciones

Los equipos y las instalaciones deben ser realizados por firmas calificadas, que usen materiales adecuados al uso específico, anexen manuales y den garantías.

La calidad de un producto generado en un proceso industrial es el resultado de la contribución de todas las etapas involucradas, desde el proyecto de las instalaciones hasta su utilización por parte del consumidor.

La utilización de técnicas y prácticas adecuadas optimiza el rendimiento del proceso como un todo y propicia el suministro de un producto más adecuado a las expectativas del consumidor.

Importante

No es verdadero el argumento de la «ganancia» de una planta de clasificación y compostaje, de la que muchas veces se habla a los gestores públicos o privados de los servicios urbanos. Las ventas de materiales reciclables y de compost no cubren ni siquiera los gastos operacionales correspondientes, y mucho menos los costos financieros y de inversión. Para lograr el equilibrio económico, los ingresos de una planta de clasificación y compostaje deben complementarse con un impuesto de servicios que, en general, llega hasta el 60% del costo total de operación.

7 Operación de la planta de clasificación y compostaje

En el Cuadro 2 se presentan las principales recomendaciones de operación, agrupadas por sector, con miras en el buen funcionamiento de las instalaciones y la obtención de un producto de calidad.

CUADRO 2
Recomendaciones de operación de una planta de clasificación y compostaje de residuos sólidos domiciliarios¹⁷

SECTOR	RECOMENDACIONES
Recepción	<ul style="list-style-type: none"> • pesar camiones llenos y vacíos al entrar y salir de la planta; • procesar exclusivamente residuos domiciliarios; no tratar barrido y material proveniente de servicios de salud; • retirar residuos voluminosos para evitar atascamiento; • no dejar los residuos parados más tiempo del estrictamente necesario.
Clasificación	<ul style="list-style-type: none"> • el primer operador rasga las bolsas de residuos cerradas; • los clasificadores en lados opuestos deben estar intercalados; • no colocar dos operadores consecutivos seleccionando el mismo material; • entrenar cada funcionario en la clasificación de más de un material; • si hay funcionarios en entrenamiento, usar velocidad baja de la correa; • retirar el máximo posible de film plástico, pilas (baterías), metales e inertes.
Patio de compostaje	<ul style="list-style-type: none"> • voltear las hileras con la periodicidad requerida, garantizando una frecuencia mínima de dos veces por semana en la fase termófila, disminuyendo en función de la evolución del compostaje; • mantener la humedad entre 50 y 60% durante el compostaje; • mantener placas con identificación y datos sobre las hileras; • un eventual compostaje conjunto deberá iniciarse con relación C/N=30; • observar comportamientos anormales y corregirlos.
Acondicionamiento	<ul style="list-style-type: none"> • separar vidrios por color y plásticos por tipo; • si se hace vermicompostaje, evaluar la necesidad de retirar, total o parcialmente, las lombrices al final; • utilizar paradas y fines de semana para acondicionamiento complementario.
Otras instalaciones	<ul style="list-style-type: none"> • ejecutar limpieza y mantenimiento semanal los sábados; • las eventuales huertas y viveros deberán ser monitoreados periódicamente para evaluación de la calidad de los productos y de la necesidad de complementar con fertilizante mineral; • almacén debe mantener existencia de principales piezas de reposición; • si hay incinerador de residuos de servicios de salud, en las instalaciones de la planta, garantizar independencia de circuitos de los materiales.

Recursos humanos

La mano de obra es el factor que más influye en el costo operacional de una planta. Su dimensión depende de una serie de factores, como: capacidad de la planta, nivel de entrenamiento de los operadores, grado de acondicionamiento de los productos y estilo de gestión.

El sector que más mano de obra emplea es el sector de clasificación. En Brasil se acostumbra utilizar un obrero por cada metro lineal de correa móvil. Como ejemplo, se puede sugerir la siguiente distribución de empleados para una instalación que atiende una zona de 110 mil habitantes, con dos correas móviles de 16 m de largo cada una:

Gerente	1
Administrativos	6
Técnicos de nivel medio	2
Choferes	2
Operadores de máquinas	2
Técnicos no calificados	53

Monitoreo

Según ya se expuso, los principales factores que influyen en el proceso de compostaje son: la temperatura, la humedad, el pH y la aeración. La temperatura y el pH evolucionan en función de las otras variables sobre las cuales se puede actuar operacionalmente, como se indica a continuación.

Aeración - el proceso de compostaje es aeróbico, debiendo haber siempre oxígeno del aire entre las partículas de residuos sólidos. En el proceso natural no existe monitoreo del nivel de aeración, ya que esta ocurre simplemente por difusión y convección natural. En este sentido, los problemas de rutas preferenciales y zonas anaeróbicas se minimizan mediante el volteo del residuo, que se debe hacer con la frecuencia adecuada, a lo largo de todo el proceso.

En el método acelerado, en el cual existe inyección de aire, debe haber monitoreo y, de ser posible, registro continuo de la aeración para garantizar condiciones adecuadas.

Humedad - se debe evaluar la humedad del material en compostaje, al comienzo y semanalmente, por medio de la toma de muestras, para su determinación en laboratorio (secado en estufa). Si la humedad es elevada, se deben hacer hileras más bajas, o voltearlas con mayor frecuencia; si es baja, regarlas con agua natural o lixiviado diluido, al mismo tiempo que se procede a voltear la hilera.

Temperatura y pH - a pesar de ser resultantes de las otras variables, el seguimiento de la temperatura y del pH es fundamental para diagnosticar la existencia de problemas operacionales o indicar la fase (bioestabilización o humificación) en que se encuentra el proceso. La medida de la temperatura se debe hacer con un termómetro adecuado, que permita la lectura a unos 40 cm por encima de la superficie de los residuos; la del pH, con un aparato específico o utilizando papel indicador.

Tomar la temperatura es más importante en la fase termófila, cuando debe hacerse diariamente. En la fase mesófila, se sugieren por lo menos dos mediciones semanales, en cada pila. Las mediciones se deberán hacer en varios puntos de una misma hilera, para obtener una media representativa.

Gestión de la planta de clasificación y compostaje

El buen funcionamiento de las actividades de una planta de clasificación y compostaje depende de una serie de elementos, desde el proyecto hasta la operación. Las actividades de todos los niveles influyen en la calidad de los productos generados y en la productividad de la planta.

La dirección desempeña un papel de fundamental importancia en la calidad de los resultados.

Al gerente de una planta le incumbe la responsabilidad de la operación y manteni-

miento de las unidades, al igual que el desarrollo y la coordinación de todas las actividades vinculadas, directa o indirectamente, a la instalación que puedan influir en su rendimiento técnico, operacional y financiero. Como ejemplos de estas actividades, se puede citar:

- **entrenamiento del personal** - debe implicar la capacidad para operar más de un equipo y realizar más de una función; explicación del proceso, para que todos comprendan la importancia de cada etapa y del resultado final, y su significación para la sociedad y el medio ambiente; nociones de salud e higiene; riesgos y equipos de protección individual.
- **motivación del personal** - además del entrenamiento anterior, se pueden promover otras prácticas, a fin de volver el trabajo más agradable e incentivar el buen desempeño del personal, como: establecer una participación en las entradas por venta de los productos; fijar metas de productividad y recompensas por su logro; reuniones periódicas para discutir los resultados, mecanismos incentivadores de sugerencias para mejoras en los procedimientos y resultados. Pequeños detalles muchas veces aportan grandes resultados;
- **seguimiento y promoción de mercados** - actividades que impliquen la observación del desarrollo regional y, sobre todo, de los precios de compost y reciclables; contactos con los compradores, para evaluar el grado de satisfacción con los productos, y sugerencias sobre posibles modificaciones que los vuelvan más atractivos; contactos con clientes potenciales para evaluar las perspectivas de expansión, las especificaciones y la competencia del mercado.
- **actividades promocionales** - para divulgar/mejorar la imagen de la planta ante la población, promoviendo campañas explicativas, videos, folletos, revistas promocionales con el eventual aprovechamiento de productos de la empresa, como hortalizas, flores y plantas provenientes de la huerta y los viveros abonados con compost; campañas incentivadoras de la recolección selectiva; programa de visitas guiadas de escuelas y otras instituciones, etc.

8 Alternativas de la planta, en función de la población atendida

A continuación se presentan las alternativas que se consideran más recomendables para la realización de la clasificación y el compostaje a nivel industrial, en función de la población atendida. Para plantas de pequeño porte (las que tratan los residuos sólidos domiciliarios de hasta 150 mil personas), se debe adoptar el método del compostaje natural, más lento y con menores exigencias de inversión. Para instalaciones que tratan los residuos sólidos de más de 300 mil habitantes, se recomienda la utilización del proceso acelerado, más rápido, y que requiere menor espacio. Plantas para atender poblaciones de entre 150 y 300 mil habitantes deberán ser objeto de evaluación técnico-económica, para escoger la alternativa más adecuada.

Pequeñas comunidades con menos de 60 mil habitantes, deberán crear un consorcio con los municipios vecinos para instalar una planta común en un punto estratégico, de modo que resulte más económica para todos los interesados.

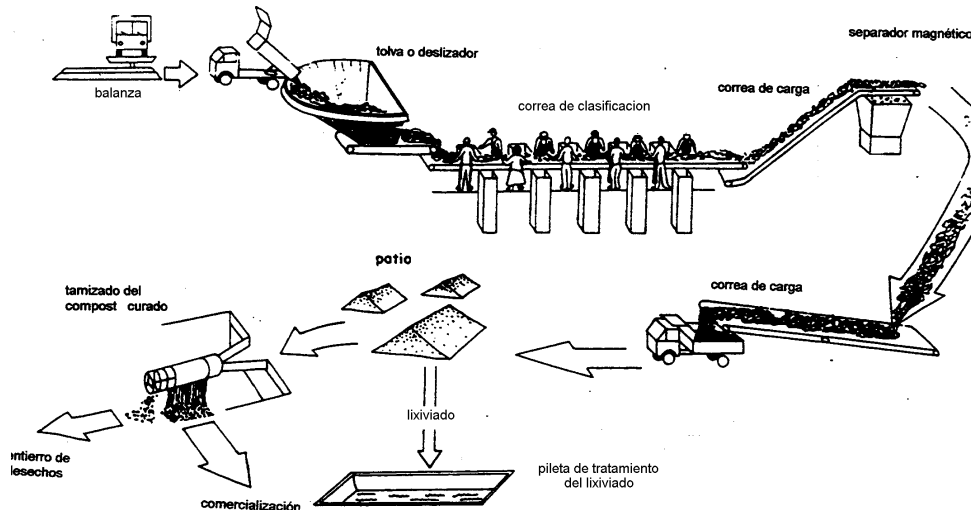
Plantas para regiones con hasta 60 mil habitantes

Una instalación muy simple y pequeña se halla esquematizada en la Figura 11. En este caso, se descargan los residuos sólidos directamente en un foso con piso móvil, que alimenta la correa de clasificación, de donde se retiran los elementos reciclables. La polea de descarga debe ser magnética, para que retire las pilas, baterías y otros materiales ferrosos.

El material no seleccionado, rico en materia orgánica, va al patio de compostaje, donde permanece de 60 a 90 días en hileras que se voltean periódicamente. Al final, se tamiza el compost, para reducir su granulometría y remover los materiales indeseables. Esos se suman a los voluminosos, y se despachan para el relleno de desechos.

Eventualmente, la misma instalación puede servir para tratar los residuos sólidos brutos o los residuos provenientes de la recolección selectiva, y que llega en dos tipos de recipientes: uno con residuos sólidos orgánicos (restos de cocina, de sanitarios y poda y limpieza de jardines), y otro con materiales reciclables.

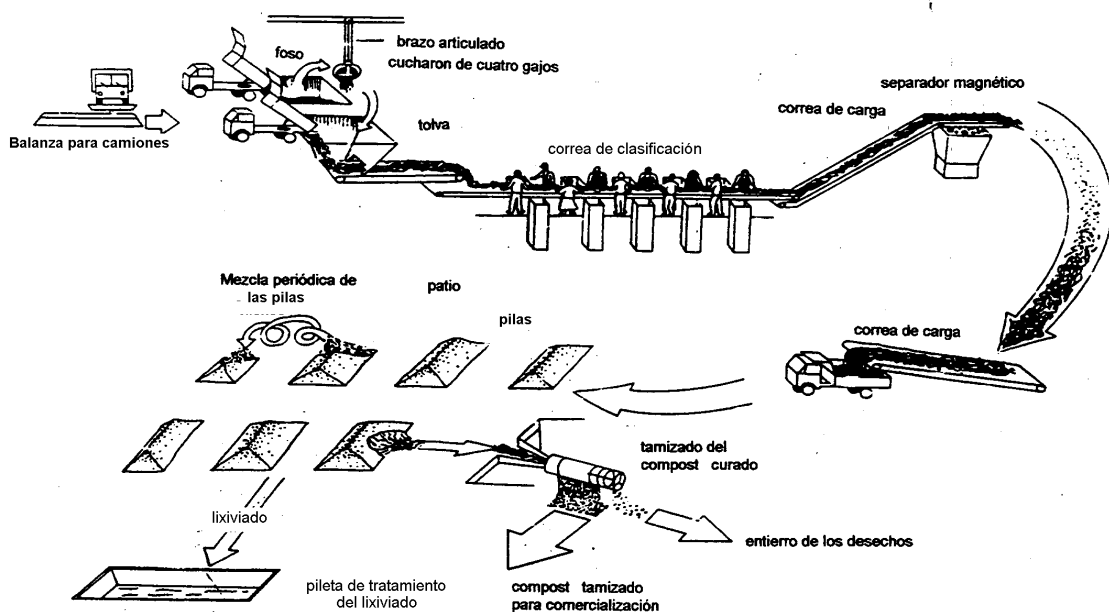
FIGURA 11
Plantas para poblaciones de hasta 60 mil habitantes



Plantas para regiones con población de 50 a 100 mil habitantes

En la Figura 12 se presentan las instalaciones para una planta un poco mayor, que atiende a una población de 50 a 100 mil habitantes. En este caso, la recepción consta de un foso, que sirve como un pulmón, para alimentar, mediante un pulpo con brazo articulado, una tolva con piso móvil, la cual a su vez alimenta la correa de clasificación.

FIGURA 12
Plantas para poblaciones de hasta 50 a 100 mil habitantes

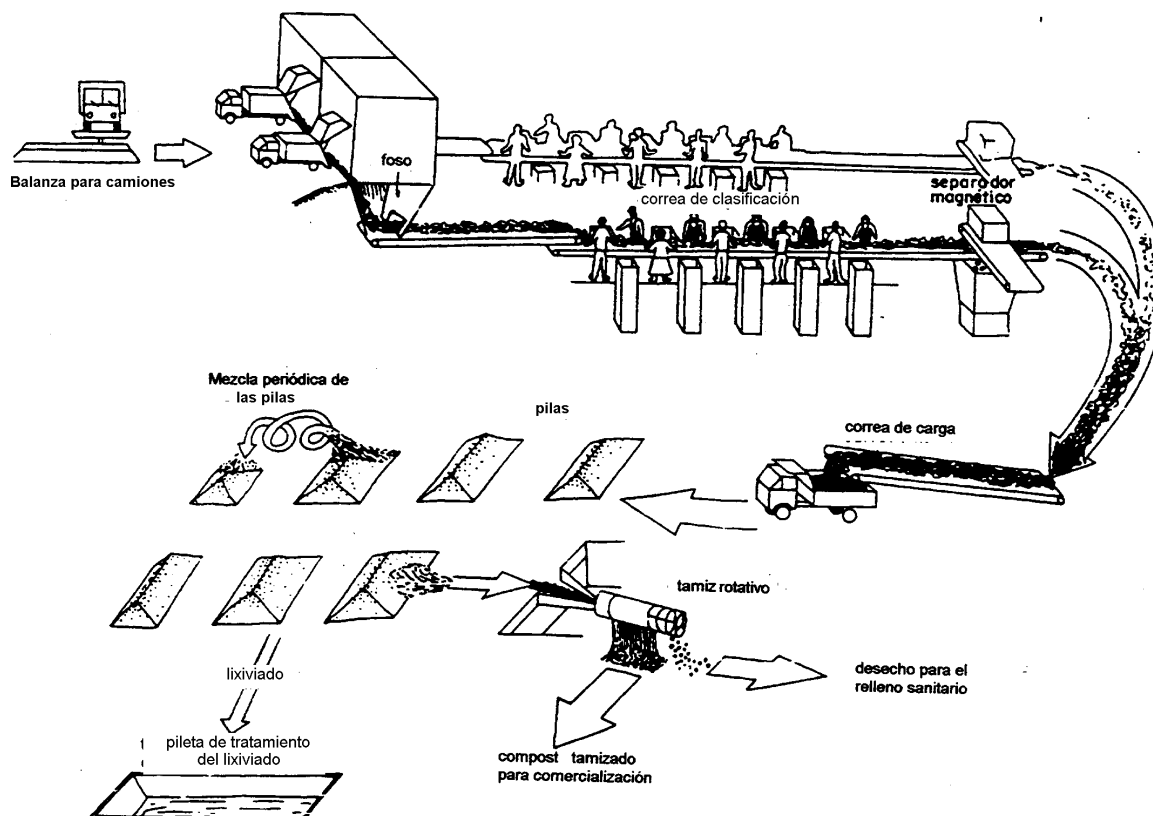


Los demás equipos son los mismos de la planta anterior, pero con mayores dimensiones. Opcionalmente, se puede colocar un tamiz antes de la correa de clasificación, para eliminar los materiales más gruesos y facilitar la captación de los reciclables.

Plantas para regiones con población de 75 a 150 mil habitantes

Para población de 75 a 150 mil habitantes se recomienda utilizar la configuración que se presenta en la Figura 13. Los equipos son los mismos del caso anterior, pero la línea de clasificación se duplica. Con ello se evita la necesidad de correas móviles demasiado largas, con la ventaja adicional de que, en caso de que se presenten problemas con una línea, no se paraliza totalmente el proceso. En este caso, además, se puede trabajar con capacidad total, aumentando la velocidad de la correa en funcionamiento. A pesar de disminuir la eficiencia de la clasificación, ese método puede evitar la acumulación de residuos sólidos en la planta y/o la necesidad de trabajar horas extra para evitarlo.

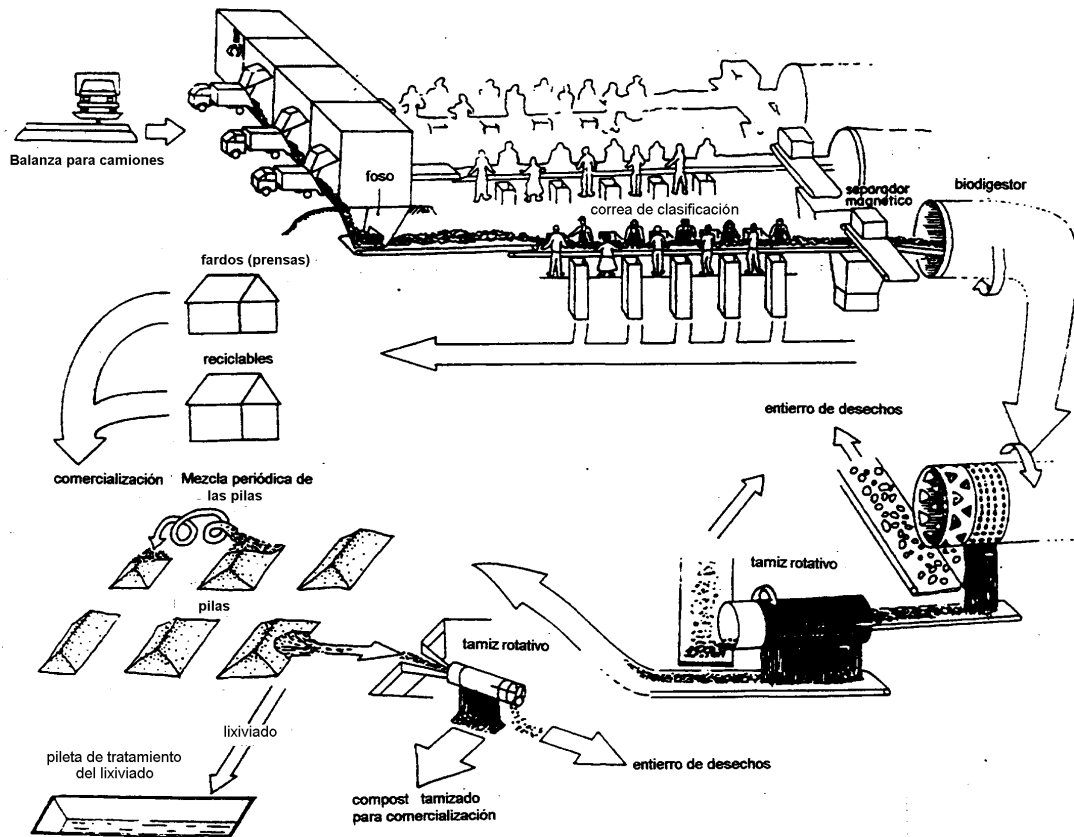
FIGURA 13
Plantas para poblaciones de 75 a 150 mil habitantes



Plantas para regiones con población de más de 300 mil habitantes

Son instalaciones de compostaje acelerado, donde el procedimiento difiere del compostaje natural por la presencia de un digestor o reactor, también denominado bioestabilizador. En esta clase de plantas se encuentran equipos con características y metodologías especiales, que no se encuentran en las de compostaje natural. Entre tales equipos se pueden mencionar: más de una línea de tratamiento de residuos sólidos; grandes fosos y tolvas, atendidas por un puente rodante; separadores magnéticos, neumáticos y balísticos, para la remoción mecánica de reciclables o de inertes; filtros biológicos para gases y partículas; tratamiento de aguas residuales y lixiviado; poderosas máquinas especiales para voltear el compost en el patio (Figura 14).

FIGURA 14
Plantas para poblaciones de más de 300 mil habitantes:
compostaje acelerado



El digestor es un equipo fundamental, con las siguientes funciones: a través de la rotación y el sacudimiento de los residuos sólidos en su interior, mezcla mecánica y continuamente los componentes más ligeros con los más pesados, los más secos con los más húmedos, tritura o deshace los componentes más frágiles, con lo cual suple el empleo de un triturador, que es común en instalaciones pequeñas. Los sacudimientos de los residuos sólidos provocan, además, una eficiente renovación del aire en el interior de la masa y el comienzo de la descomposición, provocando una temperatura termófila suficiente para eliminar los organismos patógenos.

9 El compost orgánico

Legislación

El fertilizante compost, producido a partir de residuos sólidos urbanos domiciliarios, puede presentar características variables en función de la composición de la fracción orgánica de los residuos y de la operación de la planta.

En vistas que en Uruguay no existe aún una reglamentación sobre fertilizantes orgánicos, a continuación se describe a modo informativo la normativa brasilera³⁵.

En Brasil, las características de los materiales comercializados como fertilizantes deben obedecer las especificaciones de la Legislación Brasileira, del Ministerio de Agricultura. El Decreto-Ley n° 86.955 del 18.02.82, la Resolución MA 84 del 29.03.82, y la Resolución n°01 de la Secretaría de Fiscalización Agropecuaria del Ministerio de Agricultura del 04.03.83, disponen sobre la inspección y la fiscalización de la producción y el

comercio de fertilizantes y correctivos agrícolas y aprueban normas sobre especificaciones, garantías y tolerancias.

El compost orgánico está contemplado en la ley como fertilizante orgánico o más específicamente como fertilizante compost.

Los Cuadros 3 y 4 presentan, respectivamente, las especificaciones de parámetros físicos, químicos y de granulometría estipulados por el Ministerio de Agricultura Brasileiro.

La granulometría del tipo granulado grueso no debe ser aplicada al compost de residuos, ya que materiales como tapas de botellas de refrescos, pequeños trozos de vidrios e hilos metálicos que no serían retenidos por esas mallas, deben ser separados en la fase de acondicionamiento para poder ser usados en aplicaciones agrícolas. En la práctica se usa una malla de 20 mm, lo que produce un resultado intermedio entre granulado y granulado grueso, con buen aspecto y buena calidad para el manejo.

CUADRO 3 Valores establecidos como parámetros de control para compost orgánico y tolerancias, conforme a Legislación de Brasil.		
Parámetro	Valor	Tolerancia
pH	mínimo 6.0	hasta 5,4
Humedad	máximo 40%	hasta 44%
Materia orgánica	mínimo 40%	hasta 36%
Nitrógeno total	mínimo 1,0%	hasta 0,9%
Relación C/N	máximo 18/1	hasta 21/1

CUADRO 4 Especificaciones para granulometría de fertilizantes		
Granulometría	Exigencia (el producto debe pasar)	Tolerancia (debe pasar)
Granulado	100% en malla de 4,8 mm 90 % en malla de 2,8 mm	hasta 85 % en malla de 4,8 mm
Granulado grueso	100% en malla de 38 mm 90 % en malla de 25 mm	no admite

Aplicación

El factor más importante del fertilizante compost es la materia orgánica, responsable por la fertilidad de los suelos y fuente de energía para los microorganismos que los habitan. Contribuye para mejorar las propiedades físicas del suelo como agregación, porosidad, capacidad de retención de agua (que reduce la erosión) y de retención de cationes. Además de eso, presenta nutrientes minerales (N, P, K, Ca, Mg, S y micronutrientes) que pueden ser usados por las plantas.

La aplicación de 20 ton/há de compost al suelo agrega, con base en un material con 40% de humedad, cerca de 146 kg de nitrógeno como N, 74 kg de fósforo como P O₂, y 64 kg de potasio como K O, cantidades suficientes para suplir las exigencias nutricionales de nitrógeno para cereales y otros cultivos, siendo necesaria la suplementación mineral para adecuar los niveles de fósforo y potasio.

Si el compost fuera efectivamente de buena calidad, esto es, si estuviera bien curado y exento de materiales inertes indeseables, su aplicación en la agricultura es análoga a la

del estiércol de corral. Por lo que, las mismas cantidades usadas de estiércol de corral para los cultivos perennes o anuales, pueden ser aplicadas para el compost orgánico proveniente de residuos.

Como ejemplos, cultivos de hortalizas pueden recibir de 20 a 40 ton/há o 30 a 60 L/10 m² en cobertura e incorporados inmediatamente al suelo; viveros, de 20 a 30 L de compost por cantero; algodón, maíz y otros cereales, de 20 a 30 L/10 m lineales de surco; pasturas, de 15 a 20 ton/há; etc.

Las técnicas de aplicación del compost orgánico son las mismas adoptadas para los fertilizantes minerales.

Valor y precio del compost

Una manera de establecer el valor del compost orgánico se basa en el contenido en materia orgánica, utilizando como referencia los precios de sus competidores, los estiércoles de corral o de granja. Otra manera que ha sido propuesta con esta finalidad, se basa en el contenido de macronutrientes primarios (NPK) contenidos en el fertilizante mineral y en el compost, además del contenido de materia orgánica del compost.

Niveles de NPK encontrados en el compost curado producido en diversas plantas de compostaje, operando según los métodos natural y acelerado, fueron obtenidos por análisis efectuados en la División Química del IPT. Para efecto de este estudio, se seleccionaron los resultados más representativos, buscando elegir los valores más próximos a los que posiblemente se obtuvieran de una planta hipotética, conceptualmente equilibrada, construida y operada dentro de estándares técnicos aceptables.

A los efectos de la comparación, fue adoptada la formulación NPK 12-6-6, que representa una fórmula comercial que mantiene proporcionalidad con los valores medios observados para los niveles correspondientes en las muestras de compost orgánico. Considerando las relaciones entre los contenidos de estos nutrientes, presentes en el compost orgánico y en el fertilizante mineral comercial, la equivalencia de masas media es de 17:1. Una ilustración de esta equivalencia está mostrada en la Figura 15.

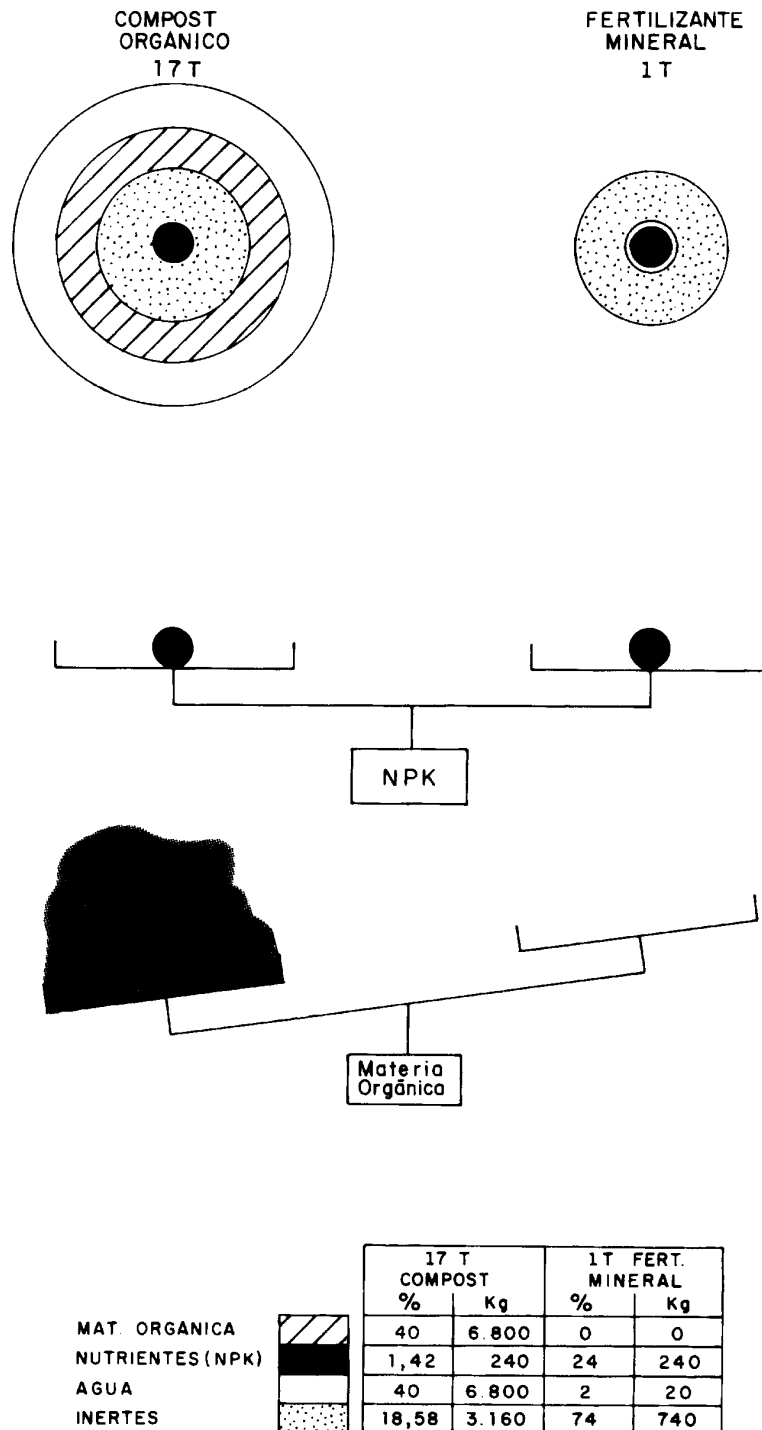
Para obtener los valores de nutrientes primarios, fueron considerados los costos de sulfato de amonio, urea, superfosfato simples y cloruro de potasio. Los valores de los macronutrientes secundarios y de los micronutrientes contenidos en el compost orgánico fueron despreciados. En cuanto a la materia orgánica, fue aumentado el equivalente a un tercio del valor del nitrógeno contenido. Además de esos costos, se incluyó el transporte. Cabe también agregar los siguientes puntos:

- de modo general, el compost orgánico es usado intensivamente en cultivos de alto valor unitario, cuyas áreas de plantío son relativamente pequeñas;
- los pequeños agricultores tienen, en general, dificultad en adquirir los fertilizantes minerales debido a su costo;
- para esos agricultores, el precio unitario de los fertilizantes minerales tiende a ser más alto, en la medida en que son adquiridos en pequeñas cantidades, generalmente, a revendedores;
- en las plantas de compostaje, se observa una fuerte tendencia a subsidiarles la compra de compost orgánico, en algunos casos entregando, hasta ciertas distancias, sin cobrar el flete;
- las cantidades menores de fertilizante que adquieren los agricultores pequeños, tienden a aumentar el costo unitario del transporte, lo que no sucede con el compost orgánico, necesariamente requerido en mayor cantidad.

Considerando estos elementos, fue llevado a cabo un estudio de costo final de ambos insumos, colocados en el establecimiento, permitiendo variación en la distancia de transporte y en la cantidad adquirida/transportada, manteniendo la equivalencia en términos del contenido de NPK. Se consideró un consumo medio de fertilizante mineral de 500 kg/há.

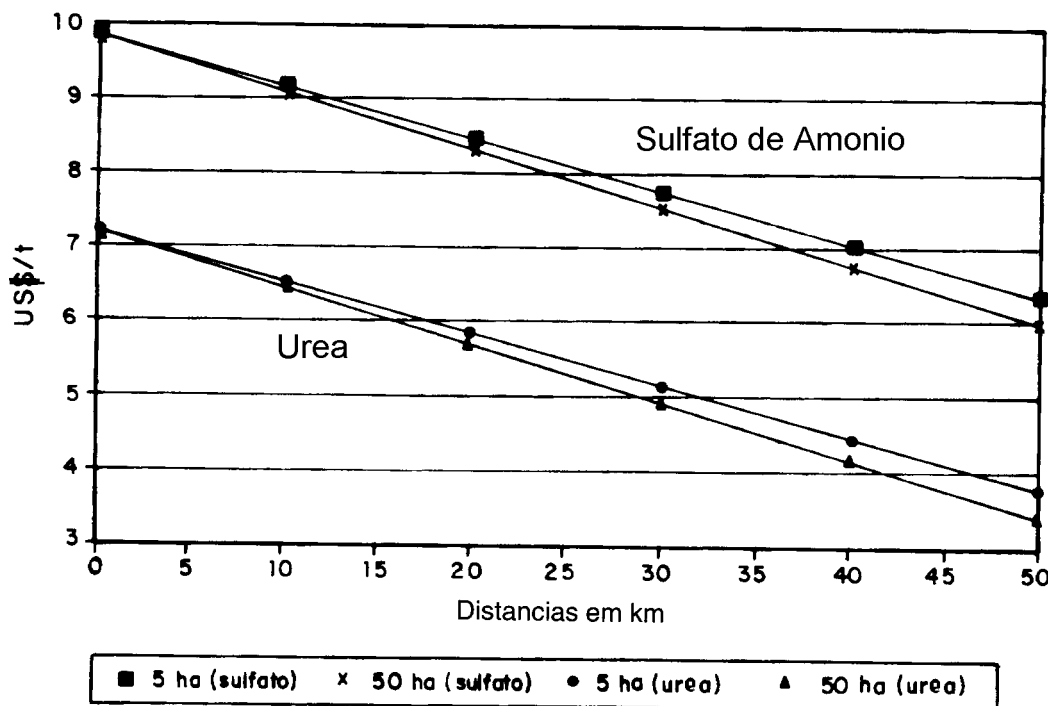
Para áreas de plantío variando entre 5 há y 50 há, fueron calculados el consumo de fertilizante mineral, el consumo equivalente de compost orgánico y los respectivos costos de transporte por km, seleccionando el vehículo más adecuado a cada caso. Las curvas de la Figura 16 representan una variación del valor de la tonelada de compost, comparado al precio de fertilizante mineral, en función de la distancia del transporte. Para una distancia de 20 km, una media local en muchas plantas paulistas, el compost podría ser vendido hasta US\$ 5,80/ton, si comparamos con el fertilizante producido a base de urea, y hasta US\$ 8,40/ton, si comparamos con el fertilizante producido a base de sulfato de amonio.

FIGURA 15
Valor nutricional del compost en relación al fertilizante mineral



La adopción del compost orgánico por el agricultor, en sustitución del fertilizante mineral, precisa superar aún las cuestiones de aplicación en el suelo, pues implica manejo de una cantidad de material 17 veces mayor, y superar también la desconfianza en las potencialidades de un producto proveniente de residuos. La solución de la primer cuestión puede ser intentada a través de una política de precios bien formulada, y la segunda a través de garantía de calidad del producto y de marketing adecuado, enfatizándose las ventajas de la reposición de materia orgánica en el suelo, que diferencia al compost del fertilizante mineral.

FIGURA 16
Efecto del costo de los fertilizantes y de la distancia de transporte en el precio del compost orgánico proveniente de residuos¹⁷



10 Beneficios de una planta de clasificación y compostaje

La planta de clasificación y compostaje es una solución alternativa para la disposición final de los residuos sólidos municipales. Combinada con el relleno sanitario, elimina la posibilidad de que ese se transforme en un «basurero», por la mala operación.

En términos medios, entre 30% y 40% del peso del material que entra en las plantas, sale bajo forma de compost orgánico. Cerca de 20% a 30% representa pérdida en gases y humedad por la evaporación y/o infiltración, y cerca de 5% a 15% se comercializa en el mercado de reciclables. La porción de descarte se sitúa entre 30 y 35% del total recolectado, lo cual evidencia una reducción sustancial del espacio físico requerido para la disposición final, además de la correspondiente economía de operación en los rellenos sanitarios. Las variaciones observadas en estos porcentajes, entre otros factores, se deben a la variabilidad del material recolectado, al nivel de cuidado en la clasificación, a la intensidad de demanda de reciclables, y al tiempo de permanencia en el patio de curado. En términos generales, en una instalación que opere en condiciones satisfactorias, se puede pensar en el siguiente balance de masa:

compost orgánico	35%
materiales reciclables	10%
pérdidas (agua y CO ₂)	25%
desechos para el relleno sanitario	30%

El potencial de contaminación del suelo y de las aguas subterráneas por causa de los materiales descartados por las plantas es considerablemente menor que el de los residuos brutos, debido al hecho de que están constituidos principalmente por residuos inertes de la correa de clasificación y desechos inertes o bioestabilizados del tamizado al final del proceso de compostaje. De esa forma, enterrar esos materiales no exige las mismas precauciones que los receptores de residuos brutos, debido a que se elimina casi por completo la producción de lixiviado. De eso resulta, por tanto, cierta reducción del costo por tonelada enterrada, tanto en la instalación como en la operación, o por lo menos, una solución ambientalmente más segura.

En cuanto a los efluentes líquidos producidos en los patios de compostaje, se debe observar que su potencial contaminante se reduce a través de medidas de control, como, por ejemplo, impermeabilizando la base, con drenajes de superficie y subterráneos, y mediante la toma periódica de muestras de agua de la napa freática. En el método acelerado, los efluentes líquidos y gaseosos producidos en los biodigestores, son fácilmente captables, gracias a lo cual se reduce la carga contaminante del patio de compostaje.

11 La situación brasilera y uruguaya

En **Brasil** se encuentran plantas de clasificación y compostaje de residuos sólidos urbanos domiciliarios, que utilizan tanto el método natural, como el método acelerado. Un relevamiento hecho en 1990, reveló que existen cerca de 37 municipios brasileros con instalaciones que utilizaban el primero; de ellas, 17 estaban paradas o desactivadas, 5 en construcción y 15 operando. De las 20 plantas operando por el método acelerado, 7 estaban paradas o desactivadas, 10 en obras y 3 funcionando.

Actualmente, se encuentran instalaciones operando por el método acelerado, en Boa Vista (RO), Belém (PA), Belo Horizonte (MG), Uberaba (MG), Rio de Janeiro (RJ), São José dos Campos (SP), Santo André (SP) y São Paulo (SP).

Muchas plantas interrumpieron su operación o fueron desactivadas. Otras, no entraron en operación, por los siguientes motivos^{6,27}:

- instalación mal planificada de plantas por la vía del crédito oficial del Banco Nacional de Desarrollo -BNDES-, lo cual provocó la disputa de los recursos por parte de los constructores, cuyas convicciones técnicas y mercadológicas no siempre tomaron en cuenta las especificaciones y necesidades de los municipios;
- ausencia de capacitación institucional y/o gerencial y/u operacional para llevar a cabo las actividades;
- creencia equivocada de que las plantas podían «hacer desaparecer los residuos sólidos», con la consiguiente falta de previsión de espacio -y de capacitación operacional- para instalar los necesarios rellenos sanitarios receptores de los desechos;
- explotación exagerada del argumento de generación de empleos (por ejemplo, para absorber a los hurgadores del vertedero), como motivación social de la adopción de plantas, adoptando tecnologías muy exigentes en cuanto a mano de obra;
- ausencia de integración presupuestaria, institucional y operacional de las plantas con el servicio de limpieza pública local;
- ubicación inadecuada de las plantas, que provocaron problemas ambientales y el consiguiente rechazo a su funcionamiento por parte de la población afectada;
- cuestiones ligadas a disputas político-partidarias locales o a preconcepciones, lo cual provocó, inclusive, la paralización de una planta recién inaugurada por el simple hecho de que hubo cambio de gobierno;
- frustración de los gestores municipales, engañados por la previsión equivocada de la posibilidad de «ganancia» operacional de las plantas;
- frustración debida a la incapacidad de obtener productos con las características impuestas por el mercado o exigidas por la legislación;

- ignorancia o desconocimiento de las necesidades reales y las posibilidades locales, en la formulación de proyectos, lo cual provocó instalaciones incompletas o mal dimensionadas, equipos inadecuados, alto costo de mantenimiento, falta de recursos y dificultades para colocar en el mercado, inclusive productos de buena calidad.

La legislación brasilera aplicable fue hecha buscando regular el comercio de compost preparado a partir de residuos agrícolas, no siendo adecuada para el producido a partir de la fracción orgánica de residuos sólidos domiciliarios. Estos residuos pueden presentar niveles de materia orgánica y nitrógeno, tal que el resultado del compostaje tenga valores inferiores a los establecidos en dicha legislación, aunque se cumplan las buenas prácticas del proyecto y de operación de las instalaciones.

Análisis efectuados por el IPT en muestras de compost orgánico, provenientes de 15 plantas ubicadas en el Estado de São Paulo, presentaron los siguientes resultados en los parámetros considerados por la Legislación:

pH	entre 7,2 y 8,0
materia orgánica	entre 8,2 y 30,4%
humedad	entre 27 y 55%
nitrógeno total	entre 0,39 y 1,15%
relación C/N	entre 11 y 23

Estos datos ilustran la inadecuación ya comentada. Con relación a los niveles de macronutrientes (NPK), el compost de residuos contiene solamente el nitrógeno en cantidades significativas. Valores medios obtenidos muestran una fórmula de esos nutrientes (N, P O y K O) del tipo 1,1-0,33-0,25.

Es²de⁵hacér²notar que la Legislación no especifica, para el compost orgánico, límites relativos a la presencia de metales pesados, cuestión preocupante cuando se trata de residuos urbanos domiciliarios. Estos, comúnmente, contienen objetos que poseen metales pesados, como baterías, lámpara opacas, cerámicas, vidrios coloridos, tinta de impresión, cuero, etc. La Resolución MA 84, del 29 de marzo de 1982, solamente dice que “en el requerimiento de registro, el producto (fertilizante) deberá presentar declaración expresa de ausencia de agentes fitotóxicos, agentes patogénicos al hombre, animales y plantas, así como metales pesados, agentes contaminantes, plagas y hierbas dañinas”, sin establecer límites tolerables para su aplicación en el suelo, donde puede haber efecto acumulativo.

Los niveles medios de metales pesados encontrados en las muestras del compost de residuos del Estado de São Paulo, son los siguientes: cobre (Cu) = 182 mg/kg, zinc (Zn) = 433 mg/kg, plomo (Pb) = 188 mg/kg, cromo (Cr) = 54 mg/kg, níquel (Ni) = 22 mg/kg y cadmio (Cd) = 6 mg/kg. Según la literatura internacional, las muestras de compost referidas pueden ser aplicadas en suelos de Francia, Austria e Italia, siendo prohibidas en Suiza por la concentración de Cd y Pb, lo que indica que en la gran mayoría de los casos, los metales pesados no presentan un problema serio, siempre que se adopten prácticas adecuadas de recolección, clasificación y operación de la planta.

En **Uruguay**, la única experiencia de una planta de clasificación y compostaje, sobre la que existen datos, es la de la Intendencia Municipal de Maldonado, la que tercerizó el servicio. El emprendimiento fue iniciativa de la empresa privada hace 5 años. Durante 4 años - la experiencia finalizó el 30 de junio de 1997 - recuperaban de los residuos sólidos urbanos de Maldonado, entre el 20 y 30% de metal, vidrio, cartón y fracción orgánica, la que se compostaba. Las dificultades fueron las típicas de colocación de los materiales clasificados. Aprendieron que hay que “pagar para recuperar”. Dado los costos de rellenos sanitarios 4 veces más baratos que la clasificación, las actividades de clasificación se suspendieron, pasando al entierro de los residuos en relleno sanitario³⁶.

En la Usina N° 5 de la Intendencia Municipal de Montevideo - en el mismo predio donde funciona el actual vertedero (Usina N° 7) - se encuentran las edificaciones de lo

que fue una planta de clasificación y compostaje, que aparentemente funcionó alrededor de los años 50 por un período corto. No hay registros documentados de la historia de esa planta³⁷.

Como ya se dijo no existe en Uruguay normativa relativa a compost, estando el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca trabajando en el tema.

12 Otras alternativas

Compostaje conjunto de residuos sólidos y lodo de saneamiento

Esta técnica es utilizada en algunos países, con el propósito de resolver el problema de dos residuos simultáneamente. La mezcla debe hacerse de modo, que se garanticen los niveles de humedad, relación C:N y aeración adecuados. De todas formas, además de los problemas técnicos, existe también la dificultad de conciliar ese tratamiento simultáneo, debido a que generalmente el tratamiento de saneamiento urbano existe sólo en grandes comunidades y es procesado por el Gobierno Estatal, mientras los residuos sólidos es de responsabilidad municipal. (En el caso de Uruguay, en Montevideo el saneamiento es responsabilidad de la Intendencia, mientras que en el resto del país lo es de la empresa estatal de servicios de agua potable, OSE.)

Compostaje o digestión anaeróbica

El compostaje o digestión anaeróbica es un proceso en el cual la degradación de la materia orgánica se produce por la acción conjunta de microorganismos anaeróbicos hasta su completa mineralización, es decir, con formación de una mezcla gaseosa con predominancia de gas carbónico y metano (llamada biogás), y la generación de un residuo sólido de posible uso para fines agrícolas. Varios procesos industriales con efluentes orgánicos, utilizan con éxito este proceso para sanear el ambiente.

Los primeros trabajos en los cuales se utiliza la porción orgánica de los residuos municipales, se remontan a la década de los 70. En ellos se utilizan reactores homogéneos, en los cuales la parte orgánica, muy bien separada de los otros componentes de los residuos sólidos y con granulometría reducida, era mezclada con agua y lodo de saneamiento, con la consiguiente buena homogeneización y la garantía de una degradación adecuada.

Posteriormente, en la década de los ochenta se desarrollaron estudios para trabajar con el residuo sin añadirle agua - con el fin de reducir el alto costo de la remoción del agua - quienes generaron los procesos de fermentación «en seco», donde la alimentación del reactor o biodigestor se hace con niveles de sólidos próximos a los de la fracción orgánica de los residuos sólidos.

Los procesos anaeróbicos se diferencian de los aeróbicos o de compostaje común, principalmente por los factores siguientes: se practican en recipientes cerrados, o biodigestores; son menos eficientes en la reducción de elementos patógenos, en particular cuando se operan en el rango de temperaturas más bajas (hasta cerca de 40° C); presentan un mayor costo de inversión. De todas formas, como generan biogás, un combustible, son considerados una posible alternativa para obtener energía a partir de los residuos sólidos.

Tales procesos fueron muy estudiados en instalaciones piloto, principalmente en los Estados Unidos, Francia y Bélgica, y suele recomendarse su utilización para el tratamiento de cantidades superiores a 100 ton/día de residuos sólidos.

En los años 80 la ciudad de Montevideo realizó actividades en el vertedero - en ese momento Usina N° 6 - siguiendo un proyecto de utilización del biogás producido por sus residuos sólidos. La experiencia no prosperó debido a que la operativa no pudo seguir funcionando según estaba diseñada, luego de una intensa época de lluvias que inutilizó el sistema de circulación de las vías internas³⁷.

Referencias

- 1 AMAZONAS, M. Compostagem de lixo urbano. Projeto Reciclagem, São Paulo, v.1, n.2, p.20-23, 1990.
- 2 ANUÁRIO estatístico do Estado de São Paulo. São Paulo: Fundação SEADE, 1979.
- 3 BERTOLDI, M., ZUCCONI FILHO, CIVILINI, M. Temperature, pathogen control and product quality. En: THE BIOCYCLE to the art and science of composting. Emmanus, PA.: JG Press, 1991. p.195-199.
- 4 BERTON, R.S. Informaciones personales. 1993.
- 5 BERTON, R.S., VALADARES, J.M.A.S. Potencial agrícola do compost de lixo urbano no Estado de São Paulo. O Agrônomo, v.43, n.2/3, p.87-93, 1991.
- 6 BLEY JR., C. Usina de lixo no Brasil: gestão atual e perspectivas. Presentado en el REMAI'91, 1991, São Paulo.
- 7 BOLETIM DO INSTITUTO AGRONÔMICO. Campinas, n.200, 1990.
- 8 BOLETIM TÉCNICO DO INSTITUTO AGRONÔMICO. Campinas, n.100, 1992.
- 9 CAMARGO FILHO, W.P. (coord.). Estatística de produção agrícola no Estado de São Paulo. São Paulo: Secretaria de Agricultura y Abastecimento, Instituto de Economia Agrícola, 1990. 1 v.
- 10 CERVONI, B. Informaciones personales. São Paulo: LIMPURB, 1994.
- 11 CRAWFORD, J.H. Composting of agricultural wastes: a review. Process Biochemistry, v.18, n.1, p.14-18, 1993.
- 12 FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. Perfil municipal. São Paulo: 1993.
- 13 GOLUEKE, C.G. Composting: a study of the process and its principles. Emmanus, PA: Rodale Press, 1978. 110 p.
- 14 GOLUEKE, C.G. Principles of composting. En: THE BIOCYCLE guide to the art and science of composting. Emmanus, Pa: JG Press, 1991. p.14-39.
- 15 GROSSI, M.G.L. Avaliação da qualidade dos produtos obtidos de usinas de compostagem brasileiras de lixo doméstico através de determinação de metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas. São Paulo: 1993. 226 p. (Tesis de doctorado ante la USP).
- 16 INFORMAÇÕES ECONÔMICAS, São Paulo, v.22, n.8, ago. 1992.
- 17 INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Avaliação técnico-econômica da produção de compost orgânico. São Paulo: 1993. 4 v. (IPT. Relatório 31 659).
- 18 JONES, L.H.P., JARVIS, S.C. The chemistry of soil process. En: GREENLAND, D.J., HAYES, M.H.B. (eds.). Chichester: John Wiley, 1981. p.593-620.
- 19 KIEHL, E.J. 50 perguntas e respostas sobre compost orgânico. Piracicaba: Prefeitura Municipal de São Paulo, Secretaria de Obras, Departamento de Limpeza Urbana, 1979. 17 p.
- 20 KIEHL, E.J. Fertilizantes orgânicos. São Paulo: Ed. Ceres, 1985. 492 p.
- 21 KUBOTA, H., MATSUDA, S., SASAKI, M. Composting has promising future in Japan. Biocycle, Apr. 1984.
- 22 LIMA, L.M.Q. Tratamento de lixo. São Paulo: Hemus, 1985. 240 p.
- 23 LINDENBERG, R.C. 60 questões sobre compostagem. São Paulo, 1992. 15 p.
- 24 LINDENBERG, R.C. Compostagem. São Paulo: CETESB, 1982 (CETESB. Publicación, 19).
- 25 LINDENBERG, R.C. Informaciones personales. 1993.
- 26 LINDENBERG, R.C. O principal equipamento de usina de compostagem pátio de cura. Limpeza Pública, ABLP, p.17-25, 1986.
- 27 LINDENBERG, R.C. Situações encontradas em usinas de compostagem. Limpeza Pública, ABLP, n.4, p.20-22, 1992.

- 28 LINDENBERG, R.C. Usina de tratamento de lixo: observações práticas na operação da primeira usina de tratamento, processo Dano, com lixo recolhido em São Paulo. Presentado en el CONGRESSO BRASILEIRO DE LIMPEZA PÚBLICA, 1., 1974.
- 29 LINDENBERG, R.C. Valor do compost curado a partir de nutrientes minerais. Limpeza Pública, ABLP, n.40, p.8, 1993.
- 30 MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Secretaria Nacional de Referência Vegetal. Laboratório Nacional de Referência Vegetal. Análise de corretivos fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais. S.I., 1983. 140 p.
- 31 SECRETARIA DE SERVIÇOS E OBRAS. Diretrizes para a destinação final dos resíduos no município de São Paulo. São Paulo, 1992, 64 p.
- 32 VAN RAUJ, B. et al. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo, 1992. 107 p.
- 33 VEGASOPAVE. Informaciones personales. 1994.
- 34 VIOLANTE NETTO, VA., et al. Recomendações de adubação e calagem para citros no Estado de São Paulo. Laranja, Cordeirópolis, v.11, n.3, p. 14, 1990.
- 35 MINISTERIO DE GANADERIA, AGRICULTURA Y PESCA, Dirección de Suelos. Informaciones personales.
- 36 INTENDENCIA MUNICIPAL DE MALDONADO. Informaciones personales.
- 37 INTENDENCIA MUNICIPAL DE MONTEVIDEO. Informaciones en el marco del curso sobre Residuos Sólidos Urbanos. Ing. J.A.Fuzaro (CETESB, Brasil). Cursos de Actualización Profesional. Facultad de Ingeniería. Montevideo, 14 al 18 de octubre de 1996.
- 38 LEVIS, R. Y FRANCO, H. Gerencia Ambiental, N° 37, páginas 492 a 496.