



Cartilla técnica de compostaje
para residuos domiciliarios
separados en la fuente



CORANTIOQUIA



Un Proyecto de CORANTIOQUIA

Luis Alfonso Escobar Trujillo, Director General
Óscar Augusto Mejía Rivera, Subdirector Calidad Ambiental

Ejecuta

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

Juan Carlos Rodríguez Arboleda, Coordinador General
Sol Elena Giraldo Buitrago, Ingeniera Química

Asesores

Rubén Alberto Agudelo García, Asesor General
Carlos Alberto Peláez Jaramillo, Asesor Biología

Equipo Técnico

Diana Catalina Vergara Sepúlveda,
Catalina Castaño Castrillón,
Harly Julián Guzmán Velásquez,
Carolina Zapata Vanegas,
Sandra Eugenia Flórez Hoyos

Interventoría

CORANTIOQUIA, Subdirección de Calidad Ambiental
Jairo Arango Paniagua, Administrador Ambiental
Tomas Felipe Tintinago Vásquez, Ingeniero Sanitario
Jesús Alfonso Medina Zapata, Administrador en
Salud Gestión Sanitaria y Ambiental
Carolina Piza Torres, Ingeniera Sanitaria
Maria Camila Ramírez Puerta, Ingeniera Sanitaria

Diseño y diagramación

Alejandra María Garcés Jaramillo

Impresión

Medellín, 2012

Corantioquia

Carrera 65 No 44A 32

www.corantioquia.gov.co

Medellín-Colombia





Introducción

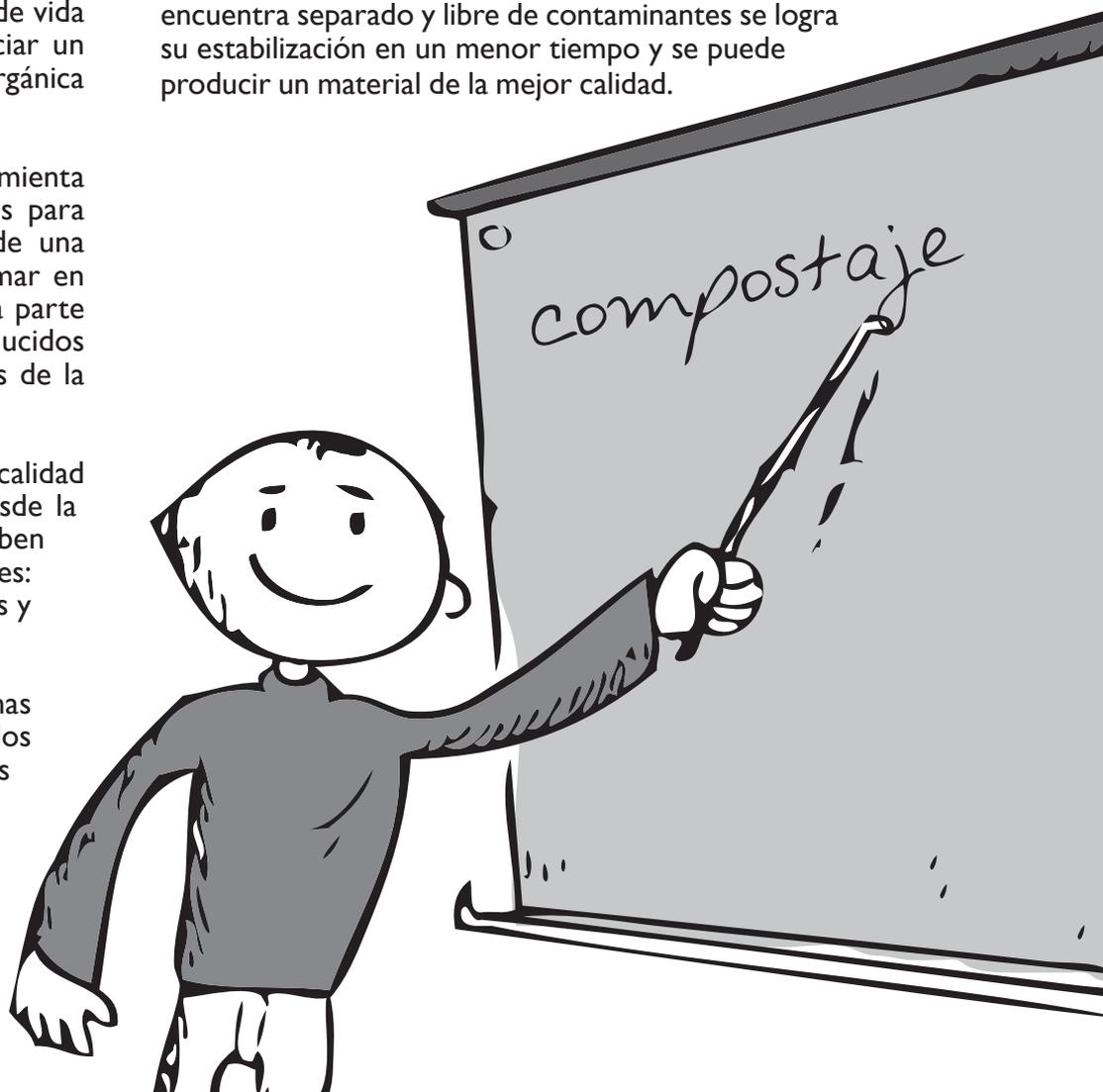
El presente documento está dirigido a técnicos, coordinadores, administradores, operarios y demás personas que hagan parte de la cadena de producción de una planta de compostaje; también es para personas comprometidas con la calidad de vida de todos los seres vivos, interesadas en iniciar un proyecto para la estabilización de la materia orgánica mediante compostaje.

El objetivo es dar al lector una herramienta práctica que integre los lineamientos básicos para el diseño, puesta en marcha y operación de una unidad de compostaje que permita transformar en forma razonable, equilibrada y ecológica, una parte importante de los residuos sólidos producidos en zonas urbanas y rurales de los municipios de la jurisdicción de Corantioquia.

Para la elaboración de compost de buena calidad se requiere que el material sea separado desde la fuente de generación, proceso en el cual deben participar todos los tipos de generadores: institucional, comercial, industrial, de servicios y residencial.

Este proceso debe ir de la mano de programas de educación continua, de tal manera que los programas de Gestión Integral de Residuos Sólidos en los Municipios, sean fortalecidos y crecientes en el transcurso del tiempo.

La separación de los residuos sólidos en la fuente o en los sitios de generación de materia orgánica es la mejor alternativa para obtener buenos resultados en el proceso de compostación, ya que cuando se encuentra separado y libre de contaminantes se logra su estabilización en un menor tiempo y se puede producir un material de la mejor calidad.



4

Se cierra el ciclo de la materia orgánica al mineralizarse e incorporarse nuevamente al suelo

Mejora la estructura del suelo

Aumenta de la vida útil del relleno sanitario

Aporta Nutrientes al suelo y evita su erosión

Amortigua el riesgo del uso abusivo de fertilizantes químicos y sintéticos absorbiendo sus sobrantes

Se evitan problemas de acumulación de residuos sólidos orgánicos

¿Qué es el compostaje?

Es el proceso biológico más frecuentemente utilizado para la transformación de la fracción orgánica aprovechable de los residuos sólidos domésticos a un material único estable conocido como compost a partir de residuos de jardín, residuos sólidos domésticos separados en su componente orgánico. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2000-2006)

En términos generales el Compostaje es una biotécnica donde es posible ejercer un control sobre los procesos de biodegradación de la materia orgánica, esta biodegradación es consecuencia de la actividad de los microorganismos que crecen y se reproducen en los materiales orgánicos en descomposición. La consecuencia final de estas actividades vitales es la transformación de los materiales orgánicos originales en otras formas químicas, físicas y biológicas. Es por estas razones, que los controles que se puedan ejercer, siempre estarán enfocados a favorecer el predominio de los microorganismos (Organización Panamericana de la Salud, 1999)

El proceso de compostaje es una interacción entre los residuos, los microorganismos y el oxígeno.

Proceso de compostaje

Los residuos orgánicos domiciliarios son degradados por poblaciones microbianas, generando un producto estable denominado COMPOST. El proceso de compostaje es una interacción entre los residuos, los microorganismos, el oxígeno, además de otros elementos, que influyen en el sistema microbiano; éstos deben ser controlados para mejorar la eficiencia del proceso.

Para facilitar la comprensión del proceso de compostaje, en el anexo 2 se muestra el protocolo del sistema propuesto, en el cual se indica la secuencia de actividades, al igual que sus interrelaciones y variables de control.

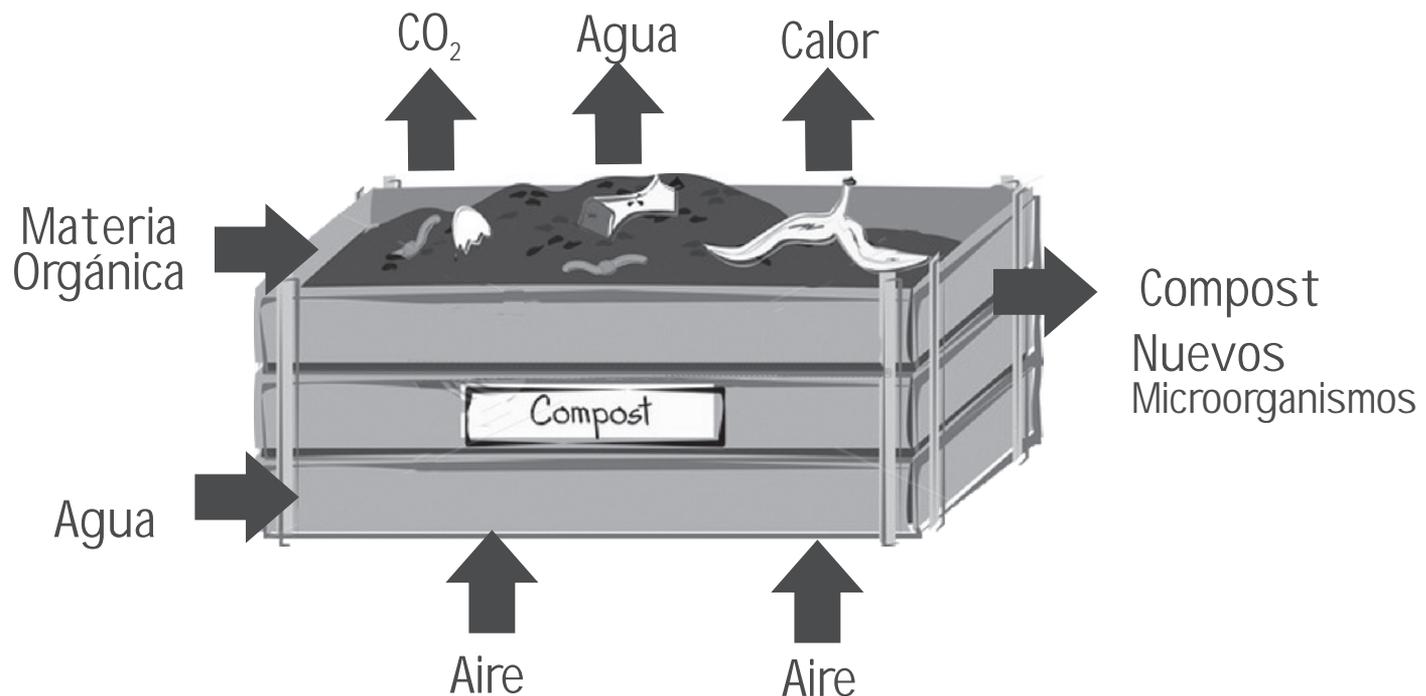
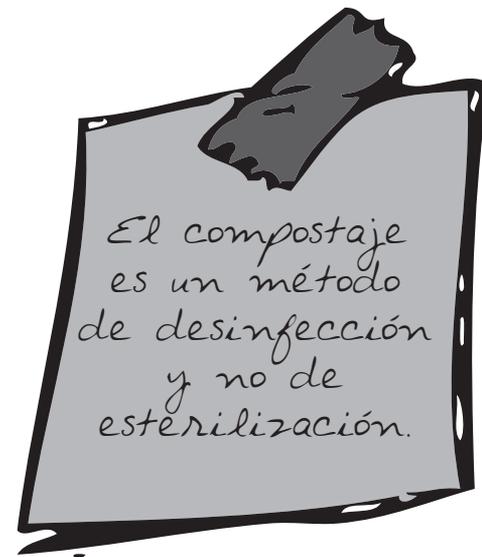


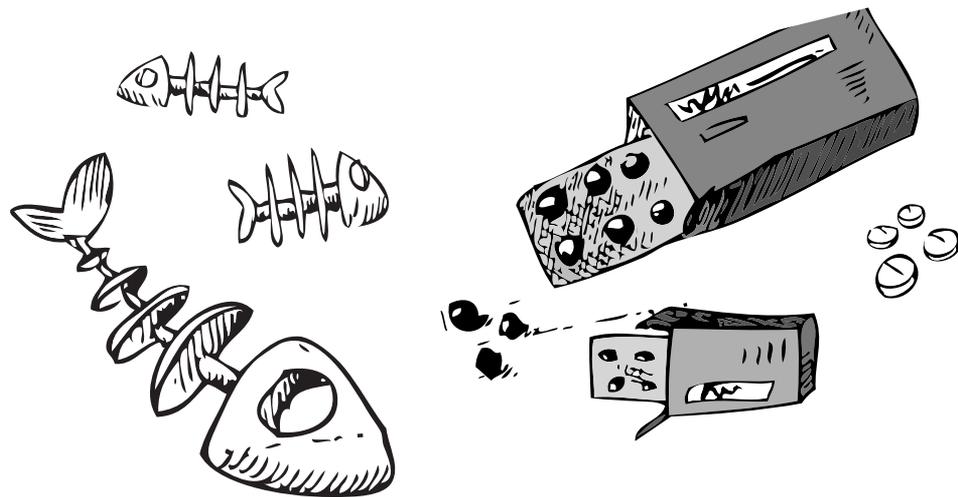
Ilustración. Esquema general del proceso de compostaje.

Selección de los residuos a compostar

Los materiales que podemos compostar son los residuos de origen orgánico; debemos tener la precaución de no incluir nunca materiales tóxicos o nocivos. Los productos que utilizemos influirán de una u otra forma a lo largo de todo el proceso de estabilización.

Materiales orgánicos que SI se pueden compostar:

- Cáscaras y desechos de verduras, granos, legumbres y frutas.
- Cáscaras y desechos de huevos, nueces.
- Desechos de té o café.
- Desechos de jardín o huerto.
- Desechos de plantas decorativas (con o sin tierra), flores decorativas.
- Desechos de madera sin pintura, astillas, viruta, aserrín.
- Estiércoles de animales (conejo, vaca, cuy, oveja, chivo, aves).
- Desechos de agricultura.



Materiales orgánicos que se deben EVITAR:

- Carne, pescado y hueso.
- Productos derivados de la leche.
- Productos que contengan grasas.
- Heces de perros y gatos.
- Pañales desechables.
- Filtros de cigarrillos.
- Tejidos sintéticos.
- Desechos químicos, detergentes.
- Medicamentos.
- Materiales no degradables (vidrio, metal, plástico).
- Pilas, baterías.



Ajustes iniciales

Como se ha dicho anteriormente, en el proceso de compostaje los responsables de la transformación de los residuos son los microorganismos, por lo que todos aquellos factores que puedan limitar su desarrollo serán limitantes también del propio proceso; por esta razón se hace necesario el ajuste de algunos parámetros al inicio los cuales se especifican a continuación

Tamaño de partícula

El material utilizado para iniciar el proceso de compostaje debe ser triturado para conseguir un tamaño de partícula que pueda ser atacado por los microbios. Una de las principales características de los residuos sólidos urbanos es su heterogeneidad. A menor tamaño de partícula, mayor es la superficie en contacto con los microorganismos, facilitando la degradación de la materia orgánica; valores entre 1 a 4 cm de diámetro son los recomendados. Sin embargo, un tamaño de partícula muy pequeño puede provocar la compactación del material, impidiendo la circulación de aire y generando condiciones de anoxia. Una porosidad adecuada de la biomasa mejora la aireación y la estructura de ésta, aumentando la velocidad del proceso.

Relación carbono/nitrógeno

Una relación C/N óptima de entrada, es decir de material “crudo o fresco” a compostar es de 20 unidades de Carbono por una unidad de Nitrógeno, (C:20/N:1) = 20, valores muy altos (superiores a 30) hacen muy lento el proceso. La relación ideal de C/N decrece a 15:1 en el compost final (2/3 partes del C sale como CO₂). Ajustar al inicio del proceso la relación Carbono – Nitrógeno permite garantizarle a los microorganismos estos dos elementos que son limitantes de su crecimiento y reproducción.

Tabla I: relación Carbono/Nitrógeno

Material	Composición aproximada BASE SECA			Peso	N	C
	%N	%CO	C/N			
fracción orgánica de RSU	2.460	32.630	13.264	270	6.642	88.101
Aserrín fresco	0.100	50.000	500.000		0	0
Residuos de fruta	1.520	52.880	34.789		0	0
Gallinaza	3.700	81.400	22.000		0	0
Corte de césped	2.000	24.000	12.000		0	0
Estiercol de caballo	2.300	57.500	25.000		0	0
Hojas caídas recientemente	0.400	12.000	30.000		0	0
Sobrante del zarandeo	2.130	37.680	17.690	72	1.5335	27.1296
			suma	342	8.1756	115.2306
				%C	33.693158	
				%N	2.3905263	
				C/N	14.094	

En un cociente más bajo, el nitrógeno estará en exceso y se pierde como amoníaco (NH₃), causando olores indeseables. Cocientes más altos significan que no hay suficiente nitrógeno para el crecimiento óptimo de las poblaciones microbianas, así que el compost es relativamente frío y la degradación procederá a una tasa lenta. Los materiales que son verdes y húmedos tienden a ser altos en nitrógeno, y los que son marrones y secos son altos en carbono. Es necesario calcular la relación C/N de la mezcla a compostar. Se puede estimar las condiciones óptimas, simplemente usando una combinación de materiales altos en carbón con otros altos en nitrógeno.

En la Tabla I del anexo 3 se presentan los valores de Carbono y Nitrógeno para algunos residuos sólidos orgánicos específicos, los cuales pueden ser utilizados para ajustar la formulación inicial.

Una relación residuos domiciliarios/sobrante de zarandeo igual a 14 (tabla I), formulada de acuerdo a la hoja de cálculo que se presenta en el anexo 3 y controlando adecuadamente las variables que rigen el proceso, permite llevar a cabo la estabilización en un tiempo aproximado de 4 semanas.

Humedad

En un proceso de compostaje es indispensable contar con una buena cantidad de agua, pues ésta permite el transporte de sustancias y nutrientes, haciéndolos más accesibles para los microorganismos. Este contenido de agua se denomina porcentaje de humedad y normalmente lo aportan las mismas materias primas. Lo recomendable es que la humedad de la pila se mantenga en el intervalo de 40% a 60% al inicio del proceso, si ésta es inferior al 40% decrece la actividad microbiana, paralizando el proceso de degradación, a lo que se debe ajustar humedeciendo la pila con agua hasta ajustar lo requerido. Cuando la humedad es mayor al 70% se reduce la transferencia de oxígeno generando anaerobiosis, puesto que el agua desplaza al aire en los espacios libres existentes entre las partículas, además puede producir pérdidas de nutrientes por lixiviación; la humedad se ajusta adicionando materiales absorbentes tales como chipiado o aserrín, sobrante de zarandeo, hojas secas, entre otros.

Fórmulas para hallar la relación C/N y humedad

Nitrógeno en mezcla = \sum contenido de nitrógeno de cada residuo

Carbono en mezcla = \sum contenido de carbono de cada residuo

Relación C/N Resultante = $\frac{\text{Carbono en mezcla}}{\text{Nitrógeno en mezcla}}$

Agua en mezcla = \sum contenido de agua de cada residuo

Cantidad total a compostar = \sum cantidad a compostar de cada residuo

Humedad Resultante (%) = $\frac{\text{Agua en mezcla} \times 100}{\text{Cantidad total a compostar}}$

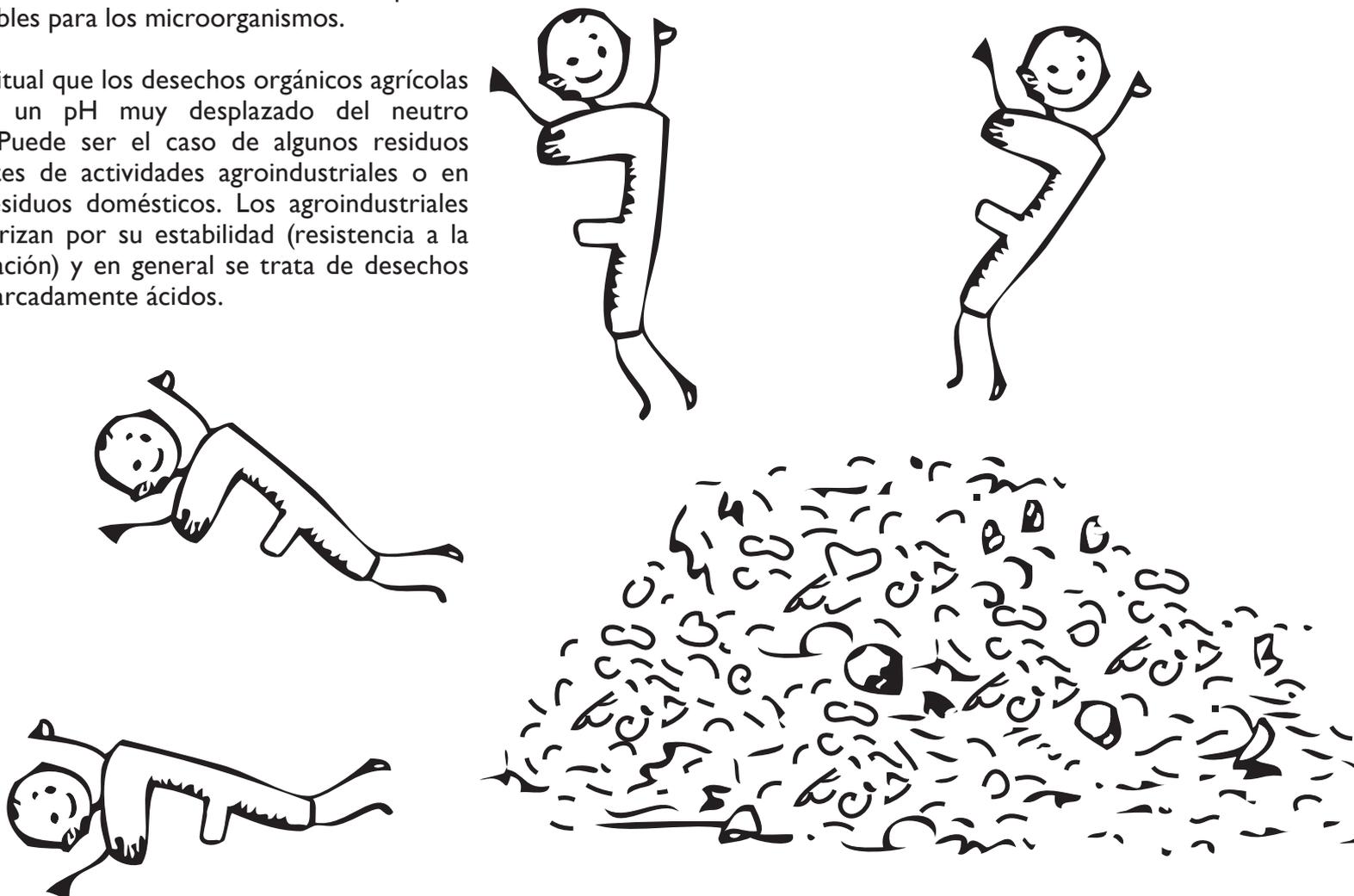


PH

//

El pH cercano al neutro (pH 6,5-7,5), ligeramente ácido o ligeramente alcalino asegura el desarrollo favorable de la gran mayoría de los orgánicos. Valores de pH inferiores a 5,5 (ácidos) inhiben el crecimiento. Valores superiores a 8 (alcalinos) también son agentes inhibidores del crecimiento, haciendo precipitar nutrientes esenciales del medio, de forma que no son asequibles para los microorganismos.

No es habitual que los desechos orgánicos agrícolas presenten un pH muy desplazado del neutro (pH =7). Puede ser el caso de algunos residuos provenientes de actividades agroindustriales o en algunos residuos domésticos. Los agroindustriales se caracterizan por su estabilidad (resistencia a la biodegradación) y en general se trata de desechos con pH marcadamente ácidos.





PILA
#2

Conformación de la pila

El procedimiento para la conformación de las pilas es el siguiente:



PILA
#3

En esta se efectuará un proceso básico de fermentación del material, este se organiza en pilas de 1.2 a 2 metros de altura, en forma de pirámide completa, con un ancho de la pila entre 2 a 4 metros, y la longitud es variable de acuerdo a la cantidad de residuos a tratar y el espacio para formar las pilas. La sección tiende a ser trapezoidal, aunque en zonas muy lluviosas es semicircular para favorecer el drenaje del agua. Conformación de un colchón de sobrante de zarandeo o chipiado en la base de cada pila para la absorción de los lixiviados.

Adición de una capa de sobrante en la superficie de las pilas para el control de moscas y olores, con lo que se concluye la conformación de las pilas.

Finalmente se recomienda la toma de una muestra, con el objetivo de verificar que las variables que fueron ajustadas al inicio del proceso se encuentran en los rangos recomendados. El protocolo de muestreo se encuentra en el anexo 4.

Diseño de la planta de compostaje

El éxito de un proceso de compostaje inicia con un óptimo diseño que incorpore consideraciones técnicas, económicas, ambientales y sociales; entre estos factores se pueden incluir: la ubicación, la infraestructura, la maquinaria, las herramientas y las necesidades de personal.

1. Ubicación

La selección del lugar para establecer una planta de compostaje requiere llevar a cabo un análisis previo que considere diversos factores; entre los que se incluyen, la topografía, el transporte, la ubicación geográfica, la comunidad, entre otros. A continuación se mencionan algunos aspectos relevantes para la selección de la ubicación de una planta de tratamiento de residuos sólidos domiciliarios.

- **Disponibilidad de área:** El análisis del área requerida para la estabilización de los residuos domiciliarios debe partir de la cantidad de residuos sólidos orgánicos aprovechables a tratar, proyectados a mediano y largo plazo, de forma tal que se consideren aumentos en la cantidad captada en un



periodo de tiempo. El área total debe considerar las diferentes zonas para cada una de las etapas del proceso; entre las cuales se deben incluir:



Zona de recepción
y eliminación de
macro-contaminantes
(máximo 2%)



Zona de ajuste
de tamaño de partícula
(1 a 4 cm) y pesaje.



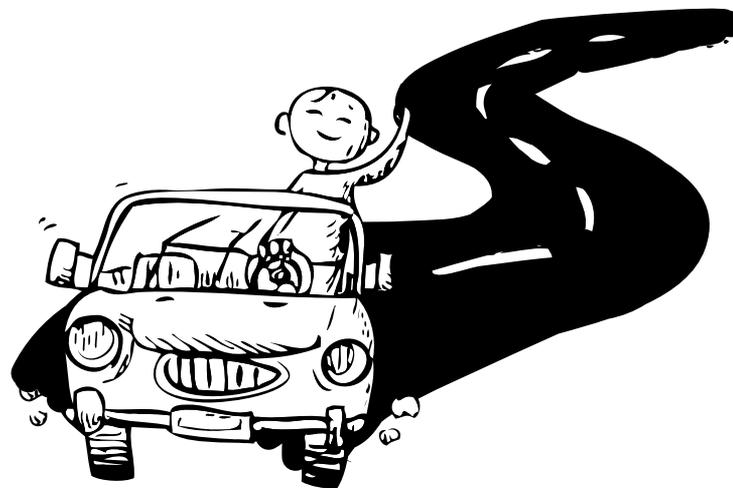
Zona de
transformación
y maduración.



Zona de zarandeo,
empaqué y
almacenamiento.

Generalmente se debe prestar especial atención al cálculo del área de transformación. Una aproximación útil para la determinación de esta área es disponer mínimamente de ocho metros cuadrados (8m^2) por cada tonelada (1000kg) de material crudo con una densidad aparente aproximada de 0.27 g/ml en base seca incluida el área adicional para el proceso de volteo (anexo I).

- **Vías:** El acceso al lugar debe ser fácil y debe contar con caminos transitables todo el año.



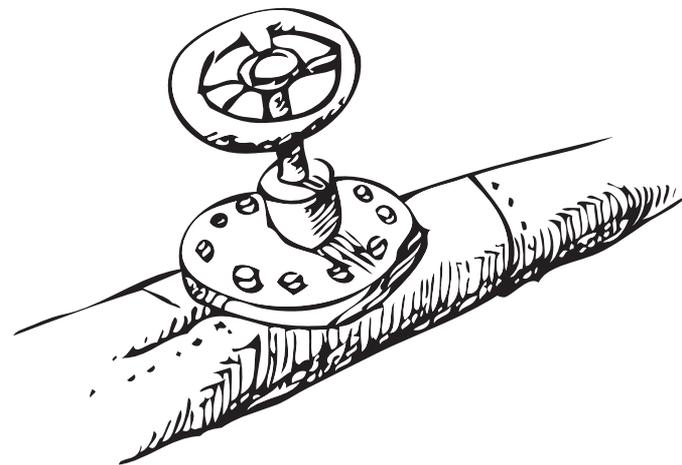
- **Dirección de los Vientos:** Para la ubicación de una compostera en lo posible la dirección de los vientos debe ir desde la comunidad hacia el sitio establecido; si es lo contrario, el sitio debe protegerse de vientos dominantes fuertes, evitando el desplazamiento del olor generado y posibles partículas de compost; esto es posible construyendo una barrera viva entre la compostera y la comunidad en la dirección del viento.

- **Cercanía a las viviendas:** Debe ser un lugar discreto y si el proceso va a ser municipal, se recomienda que la compostera se instale por lo menos a 250 metros a zonas habitadas por caseríos, corregimientos o zonas urbanas. Tener en cuenta esta distancia respecto a los límites establecidos en las Zonas de Expansión Urbana.



- **Topografía:** No es aconsejable realizar instalaciones de infraestructura en lugares inundables ó en depresiones. Deben ser lugares topográficamente elevados.

- **Sanidad:** El lugar seleccionado para la ubicación de la compostera debe garantizar el acceso de servicios públicos como: energía, acueducto y alcantarillado, y contar con la viabilidad ambiental para el trámite de permisos ambientales (concesión de agua, vertimientos y los demás que sean necesarios).



- **Normatividad:** Se debe cumplir con la normatividad en materia de desarrollo urbano y tener coherencia con los usos del suelo que establezca el municipio en su Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT), Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT), Plan de Desarrollo Municipal o distrito y tener el visto bueno de la Secretaria de Planeación Municipal.

Según el decreto 2820 del 2010, se requiere de la Licencia Ambiental para la construcción y operación de plantas cuyo objeto sea el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos biodegradables mayores o iguales a 20.000 toneladas/año. Dado lo anterior, aquellas plantas de aprovechamiento que procesen menos de 20.000 toneladas/año, no requieren de licencia ambiental.

2. Infraestructura

Una vez seleccionada la ubicación de la planta y determinada la dimensión de ésta, se procede a diseñar cada una de las zonas que componen un proyecto de compostaje. Como cualquier otra planta, una compostera puede ser considerada en su conjunto como un proceso transformador de una materia prima en un producto terminado con valor agregado; bajo esta óptica se deben tener en cuenta zonas destinadas a la recepción y acondicionamiento de los residuos a procesar, zonas de tratamiento o bioestabilización y finalmente, áreas de refinado y almacenamiento.



Área de recepción de materia prima: Debe contar con vías de fácil acceso, piso duro en concreto, además de canaletas o ductos para la recolección de lixiviados.

Área para el almacenamiento temporal del material descartado: Dichos materiales serán acopiados en lugar específico en la planta de transformación, hasta ser llevados al sitio de disposición final. Se recomienda llenar un registro de control de la calidad del material de entrada, para determinar el porcentaje de rechazo inicial, que servirá como indicador de la forma como se está realizando la separación.

Área de corte o fraccionamiento: Deberá ser un área ventilada, con piso firme, techo y contar con un suministro de energía eléctrica. Deberá garantizar piso duro, ojalá en concreto, con facilidades de drenaje para recoger los lixiviados y para manejar materiales extraños que llegan con los residuos. En este sitio se ubicará la máquina fraccionadora (molino de martillos o similar) que debe ser especificada y fabricada para fraccionar materiales con alto contenido de humedad con una potencia de 3 Hp de energía eléctrica, diesel o gasolina, y el tamaño de fraccionamiento entre 1 a 4 centímetros.

Si la máquina trae zarandas incorporadas, éstas deben retirarse para evitar daños a los motores por atascamiento, la máquina deberá anclarse al piso para evitar accidentes. Igualmente deberán usarse los



elementos de protección para los operarios (gafas, guantes, entre otros). El área debe ser acondicionada teniendo en cuenta criterios ergonómicos y de espacio de forma que permita realizar esta operación de forma continua.

La pila debe contener el material que llega al sitio en un período máximo de 1 día; éstas se deben organizar por hileras y en una forma piramidal.

La materia prima fraccionada tiene por lo general un peso específico de 350 kilogramos por cada metro cúbico. Bajo estas condiciones, cada tonelada de material fresco fraccionado ocupará un área de 4 m². Con esta información, es sencillo calcular el área ocupada por cada pila.

- **Área de Transformación:** Es el área donde se ubicará el material orgánico antes de transformar. Si hay un proceso adecuado no se debe presentar lixiviados, igualmente se requiere contar con un cerramiento que permita el control de proceso y a su vez facilite el manejo integral de plagas.
- **Canaletas:** Se debe contar con dos sistemas de recolección de líquidos, uno destinado al manejo de aguas lluvias que se debe conducir a un sitio diferente del sistema para el tratamiento de los lixiviados y otro para la recolección y conducción de lixiviados.
- **Área de maduración:** Es el sitio dentro de la planta donde se realizan los ajustes finales al compost para su posterior comercialización o utilización. Es importante tener presente que para saber si una pila esta lista para llegar a esta área de maduración, debe tener la siguiente temperatura: temperatura ambiente más 5°C, con ello ya se considera que este pasa a la zona de maduración.

En esta zona se deben realizar las siguientes actividades:

- **Ajustes de humedad (secado):** Para esta fase la humedad debes estar entre un 20% al 30%.
- **Clasificación por tamaño de partícula (zarandeo o tamizado):** Se puede realizar un fraccionamiento del material compostado. Para una adecuada presentación del producto se debe contar con una granulometría entre 3mm y 5mm.
- **Empaque y almacenamiento del producto terminado:** Se recomienda realizar el empaque en costales de fibra con una capacidad de 40 a 50 Kg por su porosidad. Para almacenar, se requiere una área de 1.2 m² para dos toneladas de material compostado. Este se debe almacenar en penumbra.
- **Área de alimentación:** Los residuos sólidos orgánicos son fuente de una gran variedad de microorganismos entre los cuales se pueden contar algunas especies de patógenos, razón por la cual es estrictamente necesario contar con una zona de alimentación externa a la zona de estabilización, para garantizar la salud de los trabajadores.
- **Servicios sanitarios:** En la compostera se debe contar con instalaciones sanitarias dotadas con sanitario, lavamanos y ducha; para el caso de los hombres se requiere además de un orinal.





Para los hombres se debe contar con estas instalaciones por cada 200 mts² de área construida o fracción, mientras que para el caso de las mujeres por cada 150 mts² de área construida o fracción. (Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá, 2007).

- **Vestier:** Por razones de salud ocupacional, la indumentaria utilizada en las labores de compostaje debe ser diferente a aquella utilizada en la vida cotidiana; por esta razón se hace necesario contar con instalaciones que faciliten el cambio de ropa y el almacenamiento de la misma. El área para los vestidores y lockers debe tener como mínimo de 0.25 mts² por cada 100 mts² de área construida (Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá, 2007).
- **Área de tratamiento de lixiviados:** Los lixiviados producidos en la planta deben ser conducidos a un tanque de almacenamiento, con techo en plástico a dos aguas, ventilación para que el agua se evapore y el sólido que quede decantado se utilice para el ajuste de la humedad de las mismas pilas. En caso de que la producción de lixiviados supere la cantidad demandada para la humectación, se requiere la construcción de una unidad de tratamiento de lixiviados que garantice unas condiciones de acuerdo a la norma de vertimiento vigente.

Rango de captación de material (Ton/mes)	Rango de captación de material (ton/sem)	Área Zona de recepción (m²)	Área triturado (m²)	Área Herramientas (m²)	Área Almacenamiento material para ajustes (m²)	Zona de basuras (m²)	[1] Área zona de tratamiento de 10 celdas (m²)
1-2	0,25-0,50	1,29	5,00	1,00	1,93	2,20	21,42
2-3	0,50-0,75	1,93	5,00	1,00	2,53	2,20	28,07
3-4	0,75-1,00	2,57	5,00	1,00	3,06	2,20	34,01
4-5	1,00-1,25	3,21	5,00	1,00	3,55	2,20	39,46
5-6	1,25-1,50	3,86	5,00	1,00	4,01	2,20	44,56
6-7	1,50-1,75	4,50	5,00	1,00	4,44	2,20	49,39
7-8	1,75-2,00	5,14	5,00	1,00	4,86	2,20	53,99
8-9	2,00-2,25	5,79	5,00	1,00	5,25	2,20	58,40
9-10	2,25-2,50	6,43	5,00	1,00	5,64	2,20	62,65
10-11	2,50-2,75	7,07	5,00	1,00	6,01	2,20	66,76
11-12	2,75-3,00	7,71	5,00	1,00	6,37	2,20	70,74
12-13	3,00-3,25	8,36	5,00	1,00	6,71	2,20	74,62
13-14	3,25-3,50	9,00	5,00	1,00	7,05	2,20	78,40
14-15	3,50-3,75	9,64	5,00	1,00	7,39	2,20	82,09
15-16	3,75-4,00	10,29	5,00	1,00	7,71	2,20	85,70

Área zona de refinado de 2 celdas (m ²)	Área zona de post-tratamiento de 4 celdas (m ²)	Área zona de zarandeo (m ²)	Área zona de almacenamiento de compost (m ²)	Total zonas (m ²)	[2] Área de circulación (m ²)	Total planta (m ²)	[3] Área Zona de ampliación futura (m ²)
2,31	1,34	2,00	4,40	42,90	21,61	64,51	64,51
3,47	1,76	2,00	6,61	54,56	24,38	78,94	78,94
4,63	2,13	2,00	8,81	65,40	26,69	92,09	92,09
5,79	2,47	2,00	11,01	75,69	28,71	104,41	104,41
6,94	2,79	2,00	13,21	85,58	30,53	116,10	116,10
8,10	3,09	2,00	15,42	95,14	32,19	127,32	127,32
9,26	3,38	2,00	17,62	104,44	33,72	138,16	138,16
10,42	3,65	2,00	19,82	113,52	35,16	148,69	148,69
11,57	3,92	2,00	22,02	122,42	36,51	158,94	158,94
12,73	4,17	2,00	24,22	131,16	37,79	168,96	168,96
13,89	4,42	2,00	26,43	139,76	39,01	178,77	178,77
15,05	4,67	2,00	28,63	148,23	40,18	188,41	188,41
16,20	4,90	2,00	30,83	156,59	41,30	197,89	197,89
17,36	5,13	2,00	33,03	164,85	42,37	207,22	207,22
18,52	5,36	2,00	35,24	173,01	43,41	216,42	216,42

Rango de captación de material (Ton/mes)	Rango de captación de material (ton/sem)	Área Zona de recepción (m ²)	Área triturado (m ²)	área Herramientas (m ²)	Área Almacenamiento material para ajustes (m ²)	Zona de basuras (m ²)	[1] Área zona de tratamiento de 10 celdas (m ²)
16-17	4,00-4,25	10,93	5,00	1,00	8,03	2,20	89,23
17-18	4,25-4,50	11,57	5,00	1,00	8,34	2,20	92,70
18-19	4,50-4,75	12,21	5,00	1,00	8,65	2,20	96,10
19-20	4,75-5,00	12,86	5,00	1,00	8,95	2,20	99,45
20-21	5,00-5,25	13,50	5,00	1,00	9,24	2,20	102,73
21-22	5,25-5,50	14,14	5,00	1,00	9,54	2,20	105,97
22-23	5,50-5,75	14,79	5,00	1,00	9,82	2,20	109,16
23-24	5,75-6,00	15,43	5,00	1,00	10,11	2,20	112,30
24-25	6,00-6,25	16,07	5,00	1,00	10,38	2,20	115,40
25-26	6,25-6,50	16,71	5,00	1,00	10,66	2,20	118,46
26-27	6,50-6,75	17,36	5,00	1,00	10,93	2,20	121,47
27-28	6,75-7,00	18,00	5,00	1,00	11,20	2,20	124,46
28-29	7,00-7,25	18,64	5,00	1,00	11,46	2,20	127,40
29-30	7,25-7,50	19,29	5,00	1,00	11,73	2,20	130,31
30-31	7,50-7,75	19,93	5,00	1,00	11,99	2,20	133,19
31-32	7,75-8,00	20,57	5,00	1,00	12,24	2,20	136,04

Área zona de refinado de 2 celdas (m ²)	Área zona de post-tratamiento de 4 celdas (m ²)	Área zona de zarandeo (m ²)	Área zona de almacenamiento de compost (m ²)	Total zonas (m ²)	[2] Área de circulación (m ²)	Total planta (m ²)	[3] Área Zona de ampliación futura (m ²)
19,68	5,58	2,00	37,44	181,09	44,41	225,49	225,49
20,83	5,80	2,00	39,64	189,08	45,38	234,46	234,46
21,99	6,01	2,00	41,84	197,01	46,32	243,33	243,33
23,15	6,22	2,00	44,04	204,86	47,23	252,10	252,10
24,31	6,42	2,00	46,25	212,65	48,12	260,78	260,78
25,46	6,63	2,00	48,45	220,39	48,99	269,38	269,38
26,62	6,82	2,00	50,65	228,06	49,84	277,90	277,90
27,78	7,02	2,00	52,85	235,69	50,66	286,35	286,35
28,94	7,22	2,00	55,06	243,26	51,47	294,73	294,73
30,09	7,41	2,00	57,26	250,79	52,26	303,05	303,05
31,25	7,59	2,00	59,46	258,27	53,03	311,30	311,30
32,41	7,78	2,00	61,66	265,71	53,79	319,50	319,50
33,56	7,97	2,00	63,86	273,10	54,54	327,64	327,64
34,72	8,15	2,00	66,07	280,46	55,27	335,73	335,73
35,88	8,33	2,00	68,27	287,78	55,98	343,77	343,77
37,04	8,51	2,00	70,47	295,07	56,69	351,76	351,76

Equipos, maquinaria y herramientas

Los equipos, maquinaria y herramientas utilizadas en la producción de compostaje permiten la realización de todas las operaciones y adecuaciones cotidianas al interior de la planta. Estas herramientas facilitan y aceleran el proceso de estabilización, lo que las convierte en verdaderas aliadas para la producción. A continuación se mencionan algunas de las herramientas más comunes para la producción de compostaje:

- **Trituradora:** Molino fraccionador de orgánicos de 3 caballos de fuerza y que sea para manejo de material húmedo, necesario para ajustar el tamaño de partícula de los materiales a compostar; también se utiliza para ajustar la granulometría del producto terminado. Este molino se debe empotrar al piso buscando con ello una mayor seguridad.
- **Termómetro:** Es de gran importancia para el seguimiento y control de la temperatura al interior de las pilas. Es recomendable usar un termómetro o termocupla que se pueda introducir en la pila.
- **Higrómetro para suelos:** Es un instrumento que se usa para medir el grado de humedad en el aire, del suelo, de las plantas.
- **Zaranda:** Es requerida para clasificar y mejorar el material por tamaño de partícula. Para esto se utiliza un tamiz o zaranda normalmente de 3mm y 5mm de separación.
- **Herramientas menores:** Hay herramientas muy simples que cumplen una gran labor, como las palas que se usan para el mezclado, armado y volteo de las pilas; las carretas para el transporte de material, el rastrillo que se usa para aflojar el material mejorando el intercambio gaseoso y la manguera que es utilizada para la humectación.



Recurso humano

Una planta de compostaje no solo debe obedecer a criterios económicos y ambientales, sino que debe ser generadora activa de soluciones de empleo que ayuden al desarrollo de la región.

La infraestructura y disponibilidad de materia prima no son elementos suficientes para el éxito de un proyecto de compostaje, podría decirse que depende mayoritariamente del recurso humano que lo compone. Por lo anterior, es indispensable contar con personal competente que desempeñe labores administrativas y operativas que respondan a las estrategias diseñadas para el éxito del proyecto. Como soporte para la selección de los perfiles del personal, a continuación se detallan las principales responsabilidades del equipo de trabajo perteneciente a un proyecto de compostaje.

Se debe tener en cuenta que el rendimiento para un operario es de 1 ton/ 8 horas, distribuido en las diferentes fases del proceso.



Personal Administrativo

Paralelamente a la operación de la planta se debe contar con funcionarios responsables de la gestión de los recursos. Dicho personal debe garantizar los recursos económicos y de infraestructura que permitan el normal desempeño de las operaciones, de la misma forma debe servir de puente entre la compostera y la comunidad creando canales de comunicación en ambas direcciones. También es importante la gerencia de las operaciones logísticas diseñando y ejecutando esquemas de compras, almacenamiento y transporte tanto de materia prima como de producto terminado. Finalmente y en ausencia de un responsable comercial debe responder por la negociación del producto.



Personal Operativo

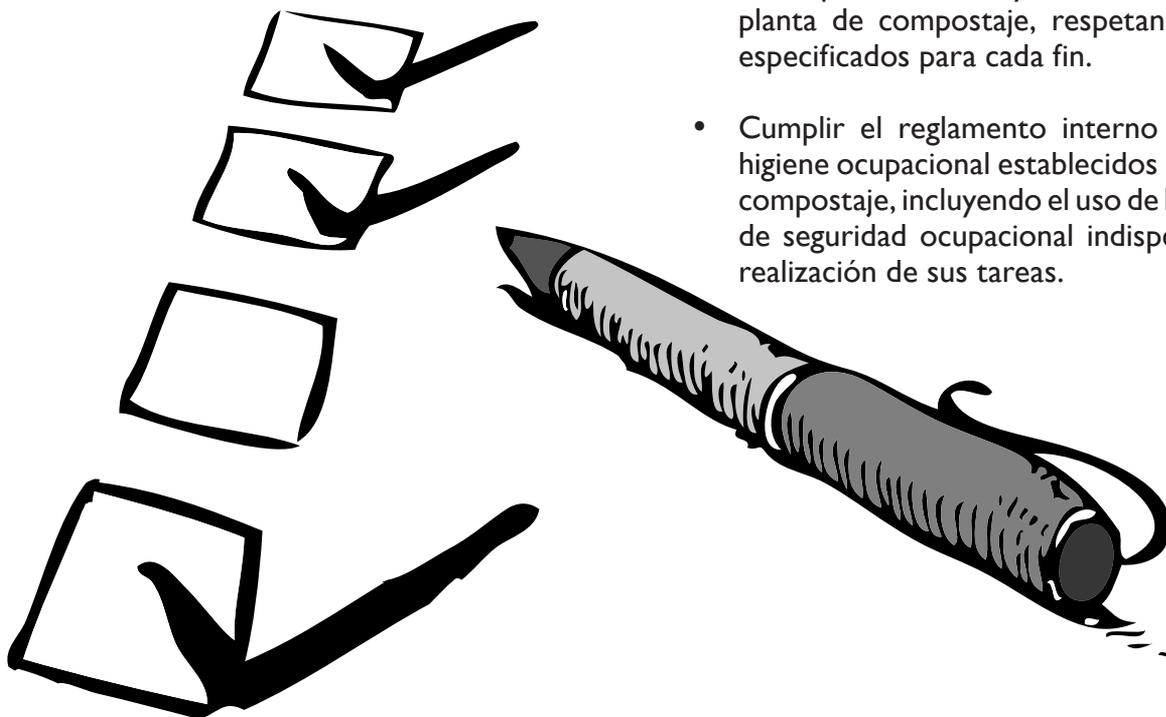
Es responsabilidad del
COORDINADOR

Programar las actividades operativas al interior de la planta así como sus responsables.

- Controlar y hacer seguimiento a las actividades del proceso de estabilización de los residuos sólidos orgánicos.
- Verificar el comportamiento de las variables de seguimiento y control, y hacer los ajustes pertinentes que garanticen el proceso biooxidativo.
- Controlar y hacer seguimiento a las actividades del plan de manejo integral de plagas.
- Diligenciar adecuada y oportunamente todos los formatos que tenga bajo su responsabilidad.
- Utilizar todos los implementos de seguridad ocupacional indispensables para la realización de sus tareas y velar por el uso de éstos por parte de los operarios.
- Programar los mantenimientos preventivos y las actividades de orden y limpieza al interior de la planta.
- Notificar cualquier anomalía al interior de la planta de compostaje y ser parte activa en la formulación de acciones de mejora.

Es responsabilidad de los OPERARIOS

- Verificar los residuos sólidos orgánicos que ingresan a la planta frente a los estándares internos.
- Eliminar macrocontaminantes, pesar y ajustar el tamaño de partícula del material crudo.
- Conformar las pilas de acuerdo a los procedimientos.
- Llevar a cabo el proceso de aireación de las pilas de materia orgánica, según las indicaciones y procedimientos establecidos.



- Evaluar las variables de seguimiento y control de acuerdo a la programación.
- Operar correctamente los equipos siguiendo los procedimientos estipulados y velando por el buen funcionamiento de los mismos mediante un correcto mantenimiento preventivo.
- Diligenciar adecuada y oportunamente todos los formatos que tenga bajo su responsabilidad, para de esta forma garantizar la conformidad y trazabilidad del sistema.
- Realizar las actividades correspondientes al refinado y empaque del producto terminado.
- Vigilar y controlar las medidas preventivas y correctivas del manejo integral de plagas.
- Velar por el orden y el aseo al interior de la planta de compostaje, respetando los espacios especificados para cada fin.
- Cumplir el reglamento interno de seguridad e higiene ocupacional establecidos para la planta de compostaje, incluyendo el uso de los implementos de seguridad ocupacional indispensables para la realización de sus tareas.

Pruebas de laboratorio (según ICA)

Algunas mediciones más estrictas y por consiguiente más confiables se relacionan a continuación

Se debe cumplir con lo establecido en la Resolución 00074 de 2002, expedida por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, la Resolución 375 de 2004 del Instituto Colombiano Agropecuario - ICA-, la Resolución 150 de 2003 del ICA y la Norma Técnica Colombiana NTC 5167 de 2004.

- Carbono Orgánico
- Nitrógeno total
- Cenizas
- Capacidad de intercambio catiónico
- pH
- Conductividad
- Potasio
- Fósforo
- Capacidad de retención de agua
- Metales pesados
- Pruebas microbiológicas
- Presencia de fitotóxicos
- Ensayos respirométricos



Seguimiento y control del proceso de compostaje

Con el objetivo de garantizar una biotransformación bajo condiciones controladas que permitan conservar y aprovechar los nutrientes presentes en los residuos, reducir los tiempos de estabilización y obtener un material orgánico que enriquezca las propiedades del suelo, se recomienda hacer un seguimiento y control a los siguientes parámetros:

Temperatura

La evolución de la temperatura es considerada un indicador de la actividad metabólica de las poblaciones de microorganismos involucradas en el proceso, por lo que es indispensable su medición. La temperatura varía en las tres direcciones de la pila, por lo que se recomienda seleccionar puntos representativos de la misma para evaluar la evolución de ésta. En la ilustración 2 se muestran tres puntos sugeridos para el control y seguimiento de la temperatura. Esta medición debe realizarse diariamente al igual que la temperatura ambiente, las cuales deben registrarse en el formato del anexo 5. Si la temperatura interna sube más allá de 65°C, en ese momento se debe realizar el proceso de volteo de la pila.

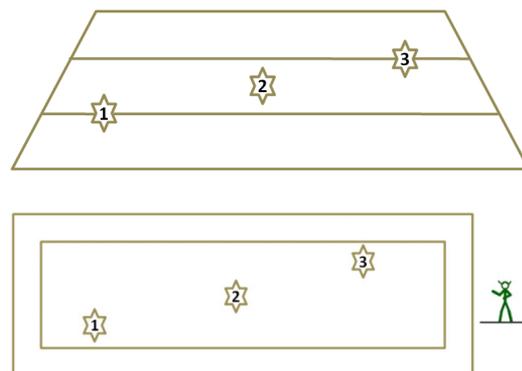
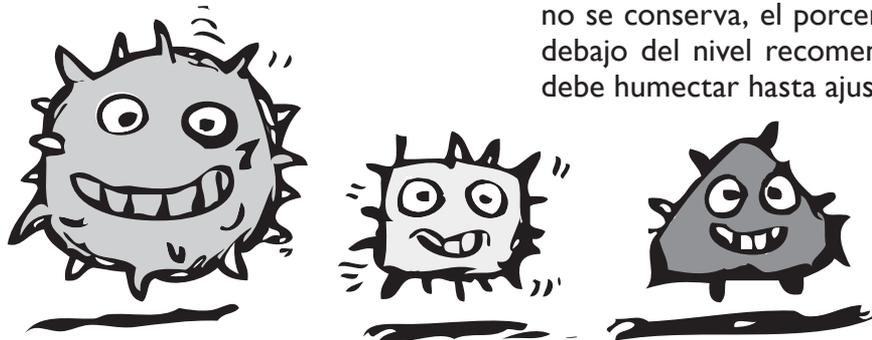


Ilustración 2. Vista lateral y superior de los puntos para la lectura de temperatura.

Aireación

La disponibilidad de oxígeno en los procesos biooxidativos constituye un factor crítico, si se tiene presente que la mayor parte de la transformación se da gracias a la acción de organismos aerobios, es decir, el tiempo del proceso dependerá entre otras variables de la disponibilidad de oxígeno, por lo que este factor influirá directamente en la velocidad de la degradación del material orgánico. El material deberá ser volteado en las dos (2) primeras semanas con una frecuencia tres (3) veces por semana, en las siguientes dos (2) semanas dos (2) veces por semana, complementando esta actividad en los días restantes con perforaciones o rastrilleo en el material y en las cuatro semanas siguientes una vez por semana. El proceso de fermentación toma generalmente 4 semanas.

Una mala aireación trae como consecuencia la pérdida en la concentración de Oxígeno alrededor de las partículas alcanzando valores inferiores al 20% (concentración normal en el aire), en este caso, se producen condiciones favorables para el inicio de las fermentaciones y las respiraciones anaeróbicas.



Humedad

La presencia de agua en el proceso de compostaje es indispensable para garantizar las necesidades fisiológicas de los microorganismos; es por esto que el seguimiento de esta variable se hace todos los días de forma manual, para lo cual se toma una muestra y se hace la prueba del puño, apretando con la mano la muestra y dependiendo de su respuesta se clasifica como:

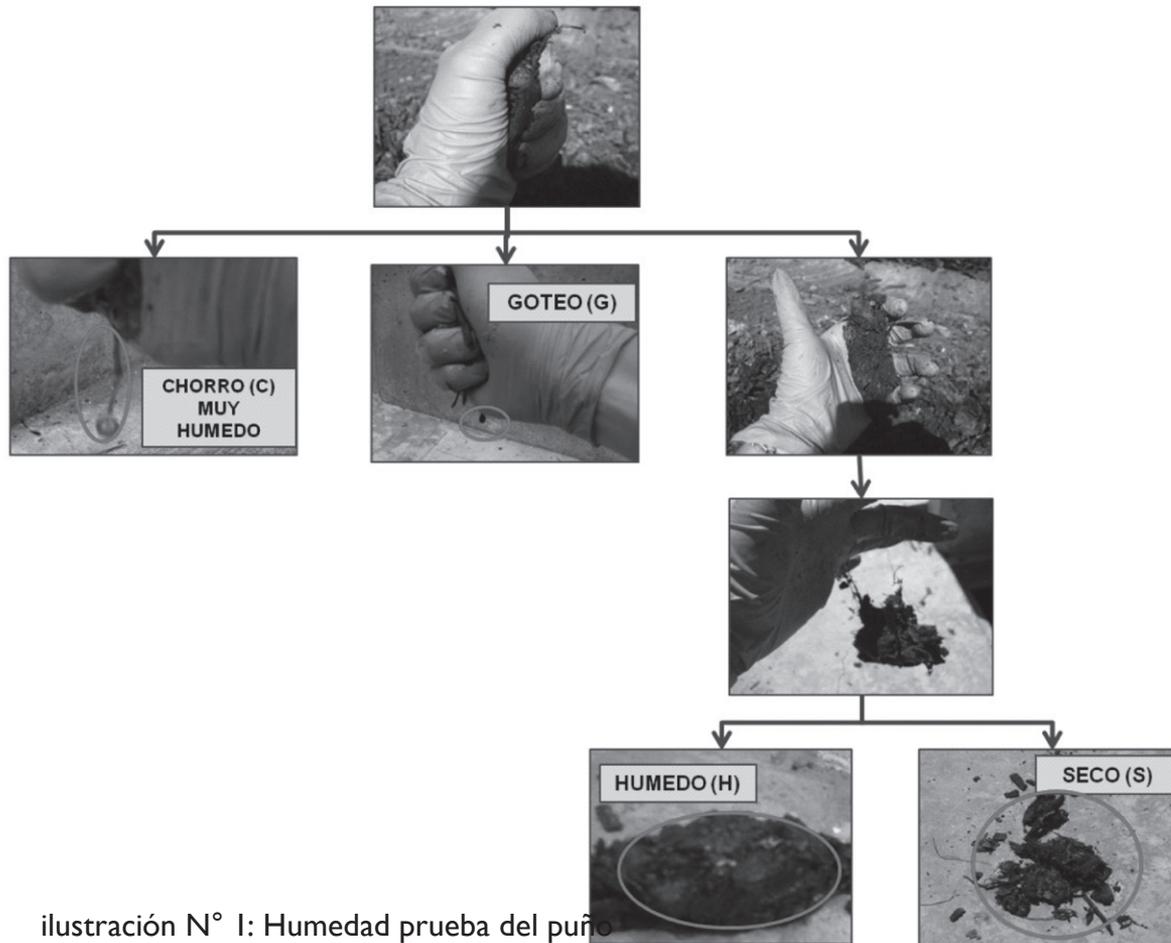
Muy húmedo: Si al apretar sale un pequeño chorro de agua (humedad mayor al 60%), en este caso se ajusta la humedad por medio de volteos o por adición de material seco.

Goteo: Si al apretar salen entre 3 y 5 gotas, en este caso la humedad está en el rango recomendado (40%-60%)

Húmedo: Si al apretar no salen gotas, pero al abrir la mano y dejarlo caer se conserva la forma, en este caso igual que en el anterior, la humedad está dentro del rango recomendado (40%-60%)

Seco: Si por el contrario la forma al dejarla caer no se conserva, el porcentaje de humedad está por debajo del nivel recomendado (menor a 40%) y se debe humectar hasta ajustar.

Si bien es cierto este procedimiento es una opción, hay que tener en cuenta que esta medición es algo subjetivo, ya que el operario encargado lo puede alterar o interferir en la medición de dicha variable, para lo cual se recomienda la adquisición de un Higrómetro para uso del suelo.



En la etapa final del proceso -fase de maduración-, se debe tener una humedad entre el 20% a 30%, para contar con un buen compostaje. En caso de que el material esté seco, se procede a humectar las pilas hasta obtener una humedad que favorezca la actividad microbiana.

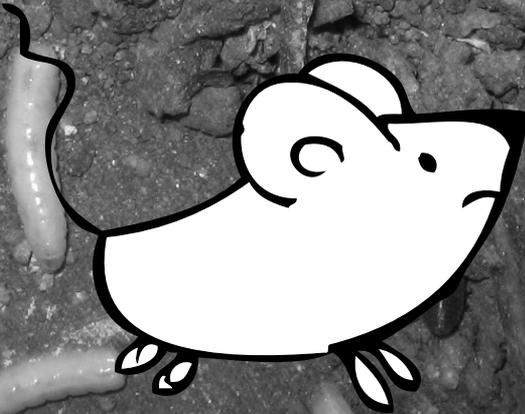
Prevención y control de plagas

El proceso de estabilización de la materia orgánica tiene asociado un riesgo inherente de atraer ciertas plagas, principalmente moscas. Con el objetivo de garantizar el manejo integral de plagas, se recomienda implementar las siguientes medidas:

Preventivas:

Es importante que los residuos a fraccionar no permanezcan más de 24 horas sin procesar, ya que generan problemas de índole ambiental, tales como vectores y olores.

- Manejo adecuado del proceso, evitando la aparición de zonas anaerobias.
- La zona de transformación alrededor de las pilas debe permanecer libre de residuos, se debe barrer permanentemente.
- Eliminación de aguas estancadas en los alrededores de la zona de tratamiento.
- Estrategia de búsqueda, recolección y eliminación de larvas y pupas para evitar que continúen su ciclo de vida.
- Evitar el ingreso de insectos voladores a la planta.
- Las canecas destinadas para el almacenamiento de residuos sólidos inorgánicos y orgánicos que



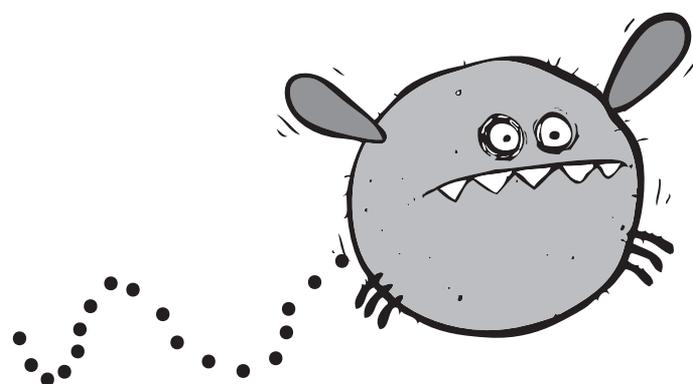
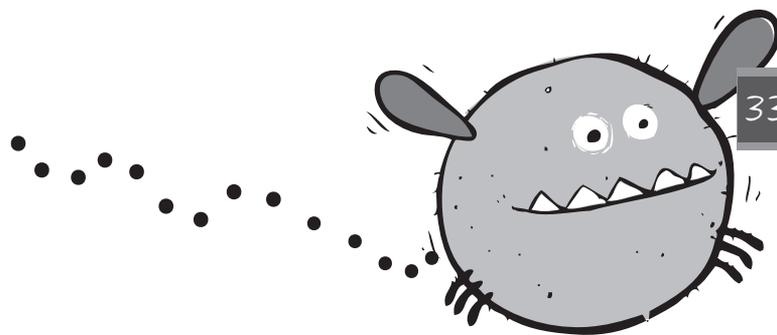
no cumplan con los criterios para el tratamiento, se mantendrán todo el tiempo debidamente tapadas y se ubicarán en el lugar destinado para tal fin.

- En todas las áreas de la planta de compostaje de residuos se buscará eliminar lugares aptos para albergar plagas (Esquinas oscuras, grietas en pisos y paredes).
- Los equipos se ubicarán alejados de las paredes y se procurará que exista distancia entre éste y el piso para facilitar la inspección y limpieza.
- Se mantendrá el orden dentro y fuera de la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos todo el tiempo.
- Alrededor de la planta de tratamiento se instalarán cercos vivos, los cuales servirán de barrera para algunas especies de insectos voladores y también como medio de aislamiento paisajístico con la comunidad vecina.

Correctivas

Instalación de Trampas Cilindrocónicas - con sebo biológico (control físico), a través de feromonas las cuales serán utilizadas para reducir la población de moscas adultas mediante su captura.

- Cintas engomadas atrapamoscas para la captura de moscas adultas.
- Liberación de microavisas (control biológico). Estas avisas parasitoides interrumpen el ciclo de vida de la moscas evitando su nacimiento.
- Control biológico y físico para el control de roedores tanto en la planta de tratamiento como en los alrededores.



Crterios de madurez

La madurez de un compost está definida fundamentalmente por la aparición de determinadas características que tienen que ver con la estabilización de los procesos biológicos, químicos y físicos de la materia orgánica. A continuación se citan algunos de los más utilizados:

Indicadores sensoriales

La valoración del color, el olor y la apariencia son criterios razonables para el rechazo de un producto que presenta problemas evidentes. Las características de un compost maduro son:

Color:

Marrón oscuro o negro.

Olor:

Tierra húmeda.

Apariencia:

- No se generan gases
- No se identifican los residuos inicialmente incorporados
- Al presionar el material no se compacta, es ligero al tacto
- No se identifican organismos
- No atrae moscas

Temperatura

La evolución de la temperatura es considerada un indicador de la actividad metabólica de las poblaciones de microorganismos involucradas en el proceso. En el transcurso de la descomposición de los residuos se manifiestan tres fases identificadas por la temperatura promedio de la pila:

Fase mesófila: Está comprendida entre los 20°C-45°C y se da al inicio del proceso, la cual puede durar un par de días.

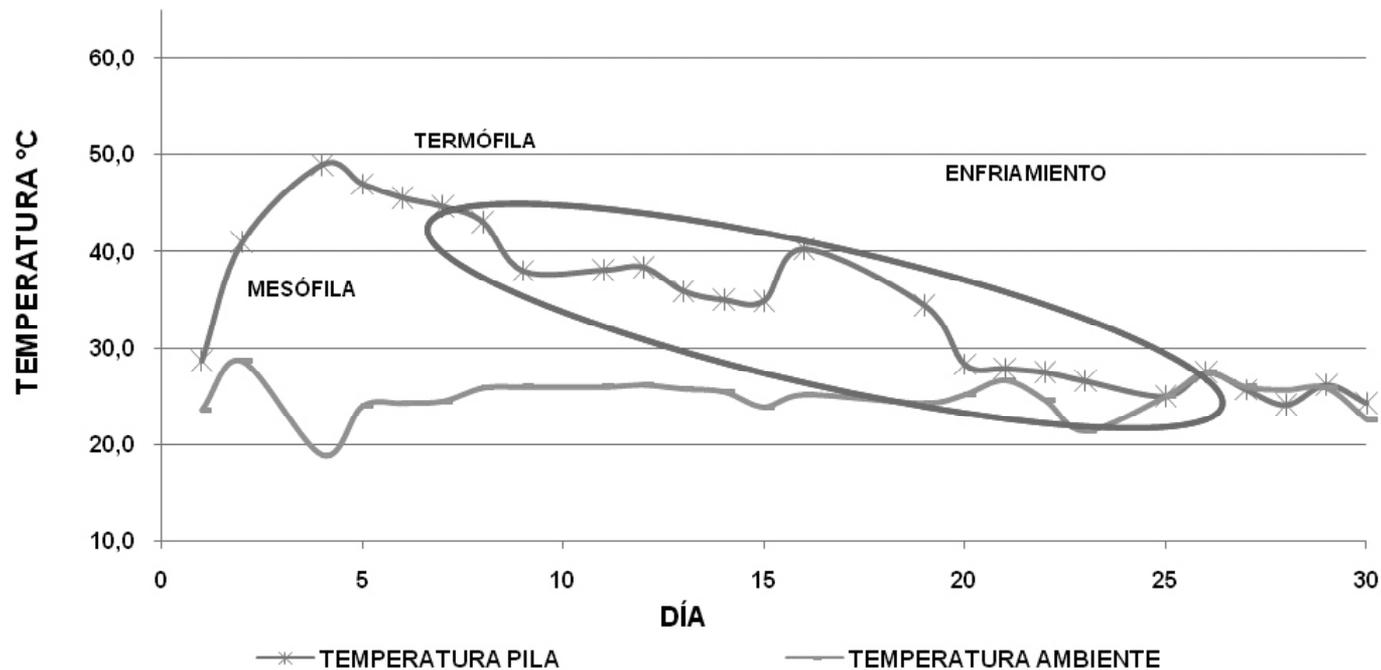
Fase termófila: Entre los 45 a 70°C es la fase siguiente a la mesófila, la cual puede durar varios días a varias semanas.

Fase de enfriamiento (mesófila): Inferior a 45°C, ésta disminución es la primera evidencia del agotamiento del sustrato como alimento de los organismos descomponedores, por lo tanto

determina el momento de la finalización del proceso, ya que no cambia (en un producto debidamente estabilizado) aunque se ajuste el contenido de humedad, es decir aunque se promueva la actividad microbial. Puede tomar varios meses.

La Gráfica 1 muestra la curva de temperatura de una pila de residuos sólidos domiciliarios separados en la fuente. En ésta se observa el comportamiento típico de estos procesos, en los cuales se presenta un incremento durante los primeros días hasta alcanzar una temperatura máxima en la fase termofílica e iniciar una disminución gradual hasta igualar la temperatura ambiente (fase de enfriamiento); finalmente ocurre una fase de estabilización que se desarrolla a temperatura ambiente y se caracteriza por una baja actividad microbiana.

Gráfica 1. Curva de temperatura proceso de compostaje residuos domiciliarios



Una herramienta adicional para la determinación de la evolución del proceso es la capacidad de autocalentamiento (Brinton, Evans, & Droffner) de las pilas de material orgánico, la cual se puede determinar mediante la diferencia de la temperatura promedio de la pila versus la temperatura de la zona de tratamiento.

En la Tabla 2, se puede observar la clasificación del compost según su capacidad de autocalentamiento.

Tabla 2. Clasificación de los compost según su capacidad de autocalentamiento (Brinton, Evans, & Droffner).

Incremento de temperatura respecto a la ambiental (°C)	Clasificación	Descripción del grupo	Grupo
0 – 10	V	Muy estable	Compost finalizado
10 – 20	IV	Moderadamente estable	Compost finalizado
20 – 30	III	Poco estable	Compost activo
30 – 40	II	Inmaduro	Compost activo
>40	I	Fresco	Compost fresco

Prueba de la bolsa

Existe una forma sencilla para determinar de forma cualitativa la madurez de un compost. Esta prueba consiste en tomar aproximadamente 1 kilo de compost en una bolsa transparente, cerrarla y ubicarla en un lugar fuera del sol directo a temperatura ambiente. Si después de 24 horas la bolsa ha transpirado mucho, por aumento de la temperatura dentro de ella, es porque aún no se encuentra maduro y debe seguir procesándose.

Otra forma alternativa y similar a la anterior, es poner un puñado de compost en una bolsa con cierre (tipo sándwich) sin aire. Dejarlo por unos días, si tiene olor a tierra fresca al abrir la bolsa, está maduro, pero si tiene mal olor le falta tiempo.

Es importante aclarar que las dos pruebas anteriores son simplemente aproximaciones al estado de madurez de un compost y no representan evidencia suficiente de la terminación del proceso, por lo cual deben ser acompañadas por pruebas de laboratorio.

Refinado y empaque

Una vez determinado el fin del proceso biooxidativo mediante la combinación de las pruebas antes citadas, se procede a iniciar el refinado, el cual puede ser considerado como la última etapa de la producción de compost.

El refinado se realiza mediante la secuencia de las siguientes actividades:

1. **Secado:** Con el objetivo de disminuir el porcentaje de humedad, se procede a extender el material en una superficie con una altura del material extendido no superior a 10 cm, para facilitar la transferencia de agua hacia el ambiente y disminuir el contenido de agua en el producto.
2. **Ajuste de tamaño de partícula:** La disminución del tamaño de partícula aumenta las propiedades de transporte mediante el incremento del área superficial, facilitando la terminación del proceso biooxidativo, además de mejorar la apariencia para su comercialización.
3. **Post tratamiento:** Con el fin de garantizar la terminación del proceso, inclusive después de la disminución del tamaño de partícula, se recomienda conformar nuevamente las pilas con el material triturado, ajustando el porcentaje de humedad y la disponibilidad de oxígeno, para promover de esta forma la actividad microbiana. Esta tarea se debe realizar hasta que se evidencie la finalización de la actividad microbiana, determinada a partir de incrementos de la temperatura.
4. **Clasificación por tamaño de partícula:** Con la seguridad de la finalización del proceso, se procede a zarandear el producto, para separar el material grueso (sobrante) y algunos macrocontaminantes. Finalmente se empaca el COMPOST de acuerdo a las exigencias del mercado. El producto se basa en su granulometría, se debe pasar por una zaranda con diámetros de 3mm y 5mm; el primero se puede aplicar en vivero, hortalizas, ornato pastos y el segundo en frutales y sin tamaño en frutales o en reforestación.
5. **Empaque:** Con el objetivo de proteger y facilitar el transporte del material, éste debe ser empacado de acuerdo a las necesidades del mercado, cuidando en todo momento la ergonomía de las personas que lo transporten.

Distribución en planta

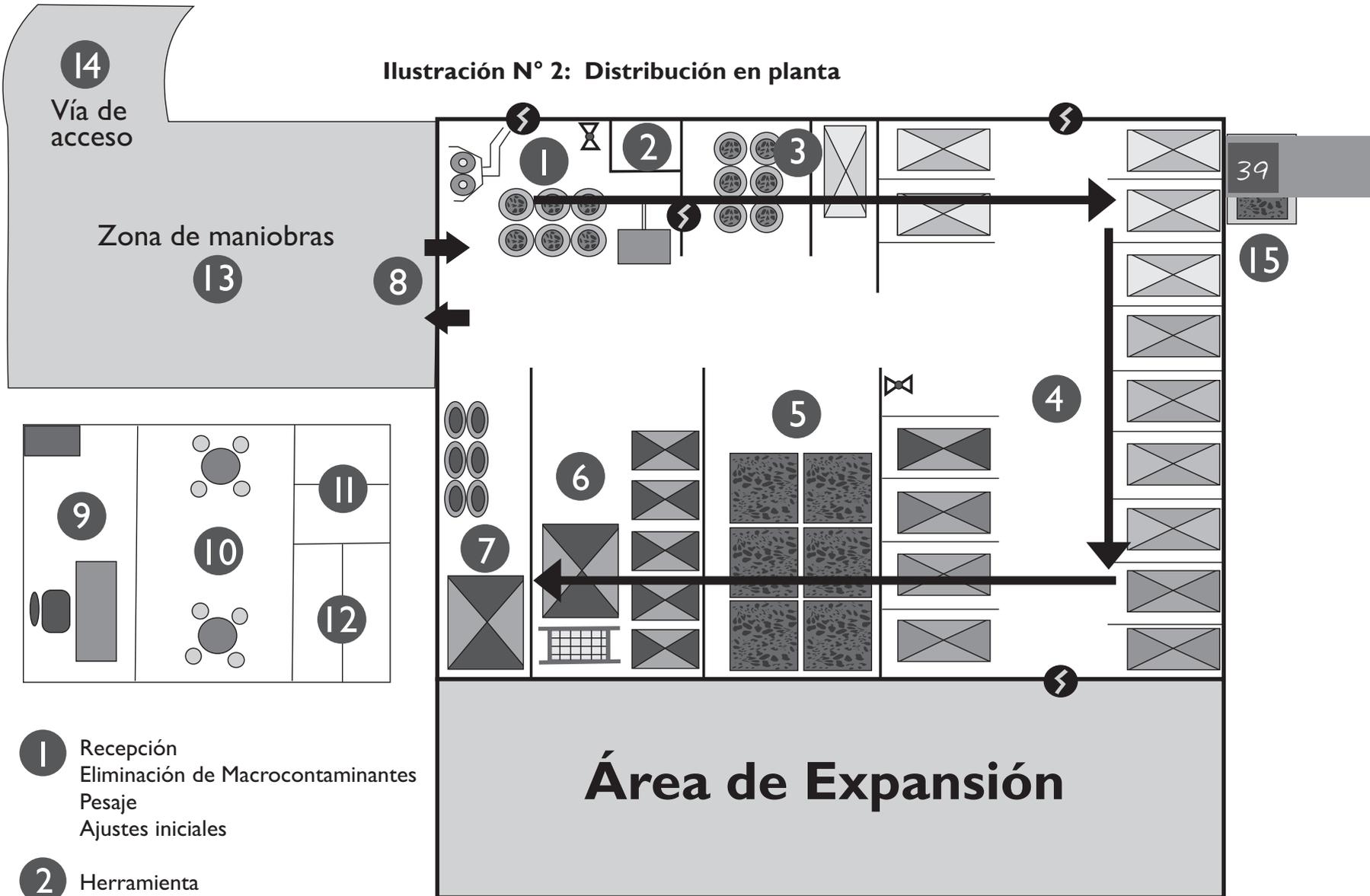
A manera de resumen en la Ilustración 4 se muestra una propuesta para la distribución de una planta de compostaje que recoge todo los criterios técnicos y de diseño expuestos en los apartados anteriores.

En el diseño se deben tener en cuenta todos los criterios que permitan la mejor ordenación de los factores, de modo que se constituya un sistema capaz de alcanzar los objetivos fijados. Algunos factores que se recomienda analizar en el momento de realizar la distribución de los espacios en una compostera son los siguientes:

- Optimización de espacios, equipos y personas.
- Mejora del flujo de información, materiales y personas.
- Garantía en la seguridad de las condiciones de trabajo.
- Ergonomía de los trabajadores.
- Flexibilidad y posibilidad de futuras ampliaciones.
- Minimización de problemas de desechos.
- Requerimientos legales de construcción.
- Diseños que eviten zonas muertas donde puedan proliferar las plagas.

La mejor distribución y configuración espacial será aquella que permita mover el material a la distancia más corta posible, para garantizar la aireación del material entre operaciones consecutivas. Como resultado del presente trabajo se encontró que un diseño de planta en “U” presenta los mejores resultados, como se muestra en la Ilustración 4.

Ilustración N° 2: Distribución en planta



1 Recepción
Eliminación de Macrocontaminantes
Pesaje
Ajustes iniciales

2 Herramienta

3 Almacenamiento de Residuos

4 Zona de tratamiento

5 Refinado

6 Post tratamiento

7 Almacenamiento y empacado

8 Ingreso - Salida

9 Administración

10 Alimentación

11 Baños

12 Vestier

13 Zona de maniobras

14 Vía de acceso

15 Tratamiento de lixiviados

 Toma eléctrico

 Válvula de agua

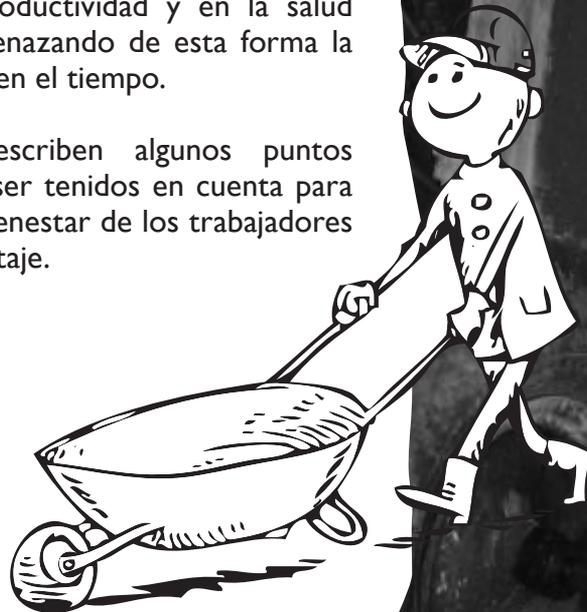
Problemas frecuentes y soluciones

Evidencia	Posible causa	Soluciones
Mal olor	Falta de Oxígeno Exceso de humedad	Ajustar humedad con adición de material seco y voltear
Olor a amoníaco	Aporte excesivo de material rico en Nitrógeno (césped, excretas) Falta de aire	Voltear y mezclar con trozos de material café para mejorar el espacio libre entre partículas
Temperatura Baja	Problemas de formulación material crudo Humedad insuficiente Falta de Oxígeno	Ajustar la formulación Ajustar humedad durante el volteo Voltear
Aumento en la población de moscas	Inadecuado control de plagas Exceso de humedad Restos de carne y desechos grasos	Evaluar Manejo Integral de Plagas Voltear y cubrir la pila con material seco (rechazo) Retirar desechos de origen animal
Presencia de larvas blancas	Exceso de humedad Lugares propicios para su propagación Inadecuado control de material de ingreso	Ajustar humedad Eliminar zonas propicias para la propagación Ajustar control de calidad del material que ingresa

Riesgos profesionales y seguridad industrial

Una de las principales preocupaciones de cualquier organización dedicada a la estabilización de los residuos sólidos orgánicos debe ser el control de los riesgos que puedan atentar contra la salud y el bienestar de sus trabajadores. Los accidentes de trabajo y enfermedades profesionales son factores que interfieren en el normal desarrollo de las actividades en una planta de compostaje, incidiendo negativamente en su productividad y en la salud de sus trabajadores, amenazando de esta forma la solidez y la permanencia en el tiempo.

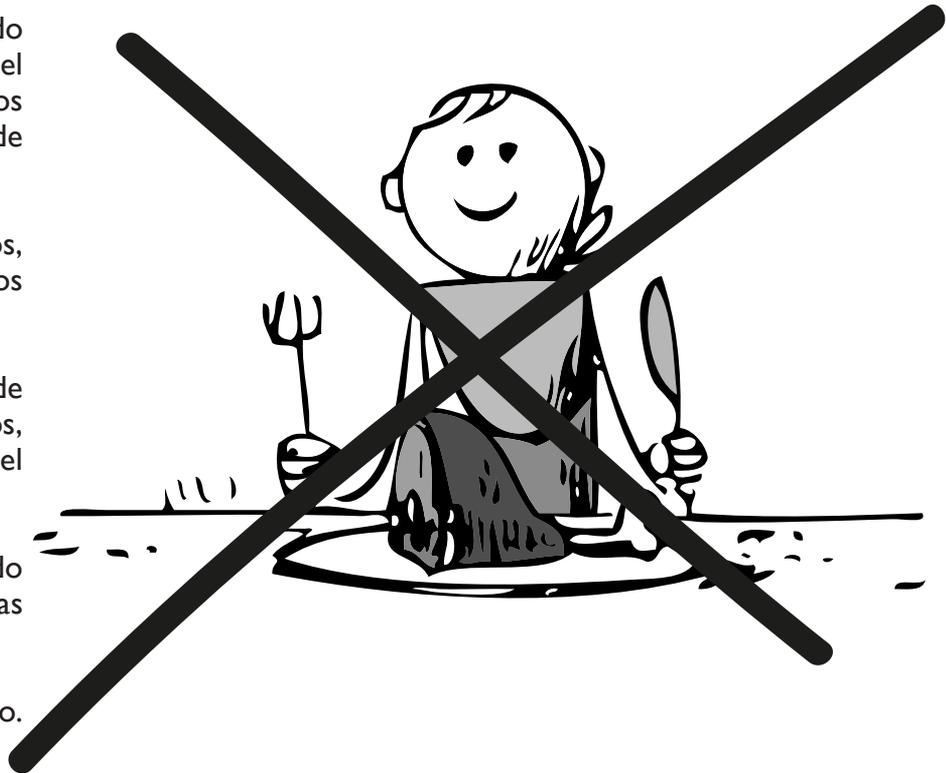
A continuación se describen algunos puntos importantes que deben ser tenidos en cuenta para garantizar la salud y el bienestar de los trabajadores de una planta de compostaje.



Prevención de la exposición a enfermedades ocupacionales

Resulta muy complicado evitar la dispersión de bioaerosoles (partículas transportadas por el aire constituidas por seres vivos) y polvo orgánico al ambiente de trabajo debido a las características del proceso, lo que fomenta la necesidad de adoptar medidas destinadas a la protección de los trabajadores. Estas medidas preventivas pueden realizarse de forma colectiva o individual en el espacio de trabajo (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España), algunas de éstas pueden ser:

- Minimizar el polvo en el lugar de trabajo, por medio de una adecuada ventilación.
- Realizar un mantenimiento constante y apropiado de la herramienta y maquinaria utilizada, con el fin de evitar la acumulación de microorganismos que puedan afectar de alguna manera la salud de los trabajadores.
- Establecer procedimientos de trabajo adecuados, de acuerdo al espacio y el tipo de residuos tratados.
- Reducir al mínimo posible el número de trabajadores que estén o puedan estar expuestos, si no es necesaria su presencia constante en el sitio.
- Vigilancia de la salud de los trabajadores, teniendo en cuenta que es necesario que estos tengan las vacunas necesarias.
- No comer, beber o fumar en las zonas de trabajo.

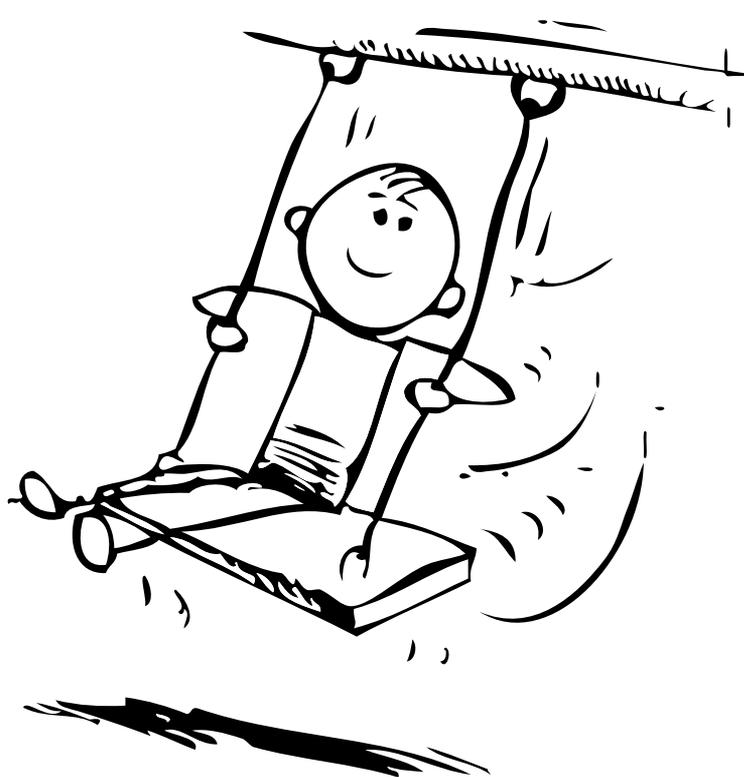




- Evitar tocarse los ojos, nariz o boca hasta no asearse adecuadamente al finalizar las labores.
- Proveer a los trabajadores de ropa y calzado de trabajo adecuado y determinar según las condiciones de trabajo, la periodicidad de cambio de estas prendas.
- Disponer de lugares para guardar la ropa de trabajo separados de la ropa u otras prendas personales.
- Disponer de lugares adecuados para guardar los equipos de protección y verificar que éstos se limpian y se mantienen correctamente.

- Prohibición expresa que los trabajadores se lleven la ropa y el calzado de trabajo a su domicilio, excepto para el aseo de los mismos.
- Al salir de la zona de trabajo, el trabajador deberá quitarse la ropa de trabajo y los equipos de protección personal que puedan estar contaminados por agentes biológicos y deberá guardarlos en lugares que no contengan otras prendas.
- Utilizar guantes impermeables en operaciones que impliquen la manipulación de residuos y operaciones de limpieza.
- Mascarillas autofiltrantes apropiadas contra bioaerosoles.
- Gafas ajustadas.
- Usar corrector de postura.
- Implementar pausas.





Bibliografía

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2006). Formulación del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Regional del Valle de Aburrá-PGIRS Regional. Medellín.

Barrena Gómez, R. (2006). Compostaje de Residuos Sólidos Orgánicos. Aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso. Barcelona.

Brinton, W. F., Evans, E., & Droffner, M. L. (s.f.). A Standardized Dewar Test For Evaluation Of Compost Self-Heating. Recuperado el 6 de Diciembre de 2009, de www.woodsand.org/pdf-files/dewar_re.pdf

Compostando S.A. (2004). Manual de compostaje doméstico. Sevilla.

CONAMA. (2007). Manual de compostaje casero. Recuperado el Marzo de 2009, de sitio web CONAMA: <http://www.conama.cl>

Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia - CORANTIOQUIA, Universidad de Antioquia. (2003). Manejo y Evaluación de la Porquinaza Mediante Procesos de Compostación. Medellín.

Emission. (s.f.). Condicionantes del compostaje. Recuperado el Marzo de 2009, de sitio web Emission: <http://www.emison.com>

Haug, R. T. (1986). Composting Process Design Criteria. Part I: Feed Conditioning. Biocycle , 27-36.

ICONTEC. (31 de Mayo de 2004). NTC 5167. Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. Bogotá, Colombia: ICONTEC.

J. Stoffella, P., & A. Kahn, B. Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola. MundiPrensa.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2000-2006). Reglamento técnico del sector de agua potable, saneamiento básico (RAS). Bogotá D.C., Colombia.

Ministerio de salud. (26 de Junio de 1984). Ministerio de Protección Social. Obtenido de Decreto 1594: <http://www.minproteccionsocial.gov.co/VBeContent/library/documents/DocNewsNo16115DocumentNo4054.PDF>

Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España. (s.f.). NTP 597: Plantas de compostaje para el tratamiento de residuos: Riesgos higiénicos. Recuperado el 14 de Diciembre de 2009, de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_597.pdf

Moreno Casco, J., & Moral Herrero, R. (2008). Mundiprensa.

Organización Panamericana de la Salud. (1999). Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos. Uruguay

Röben, E. (2002). Manual de compostaje para municipios. Loja.

Rodriguez Salinas, M. A., & Cordoba Vásquez, A. (2006). Manual de compostaje municipal. México.

Sánchez, A. (28 de Diciembre de 2007). Respirometría aplicada al proceso de compostaje. Barcelona, España.

Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (28 de Diciembre de 2007). Alcaldía de Bogotá. Obtenido de Decreto 620 de 2007 Alcalde Mayor:

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=28150>

Zona Verde Producción de Compost. (15 de Marzo de 2008). Editboard.com. Recuperado el 10 de Diciembre de 2009, de Zona Verde: <http://zonaverde.foro.espana.com/tu-primer-foro-fl/compostaje-t2.htm>.

Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería Centro de Investigaciones Ambientales y de Ingeniería CIA, 2005. Manejo Diversificado de los Residuos Sólidos en zona piloto de la Ciudad de Medellín. Empresas Varias de Medellín E.S.P.

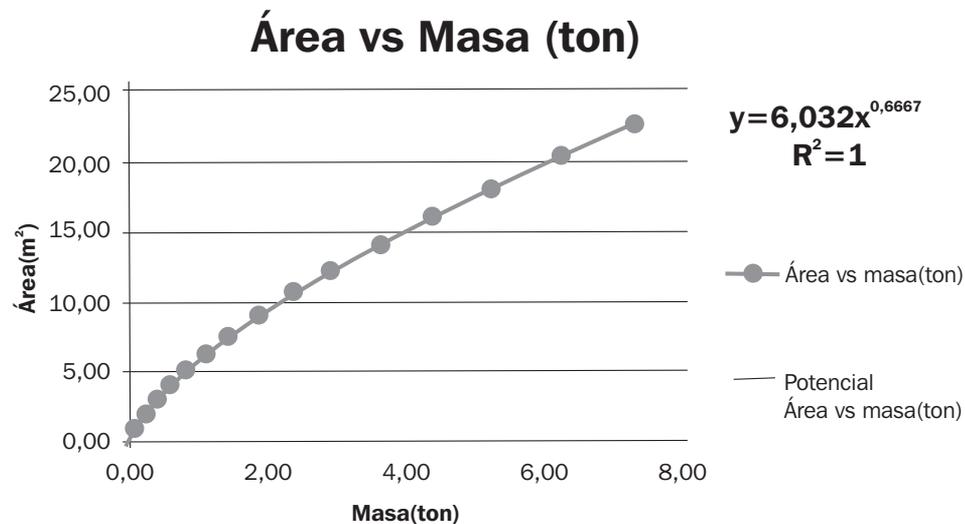
Marcos Arturo Rodríguez, A. C. (2006). Manual de Compostaje Municipal, Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos. México.

Anexos

Anexo 1: Gráfica área requerida zona de tratamiento

Cálculo del área requerida para la zona de tratamiento de una planta de compostaje

La relación área-masa en una pila de compostaje al graficarse responde a una curva con una línea de tendencia potencial como lo muestra la Gráfica I, de esto se extrae la ecuación de la línea de tendencia con el objetivo de realizar los cálculos empíricos de el área requerida por una pila en función de la masa que se pretenda tratar en dicha pila.



Gráfica I. Comportamiento del área en función de la masa de una pila.

De lo anterior tenemos la Ecuación I.

$$AR = 6 \times (MT)^{0,667} \quad \text{Ecuación I}$$

Donde:

AR: Área requerida para el tratamiento.

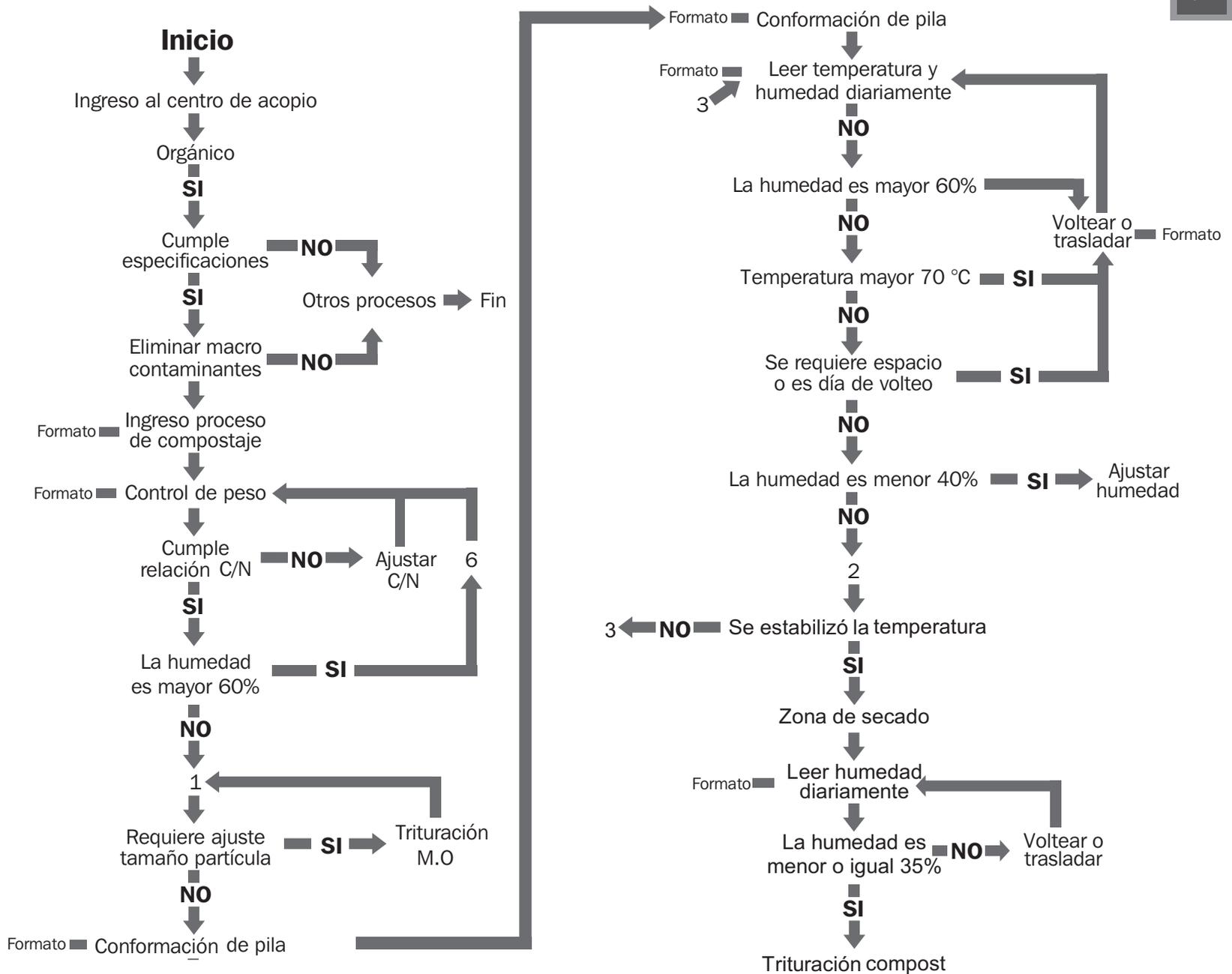
MT: Masa que se quiere tratar en la pila.

Modelo de cálculo:

Si en una zona de tratamiento se quiere montar pilas de 3 toneladas, el área requerida para cada pila se calcula de la siguiente manera:

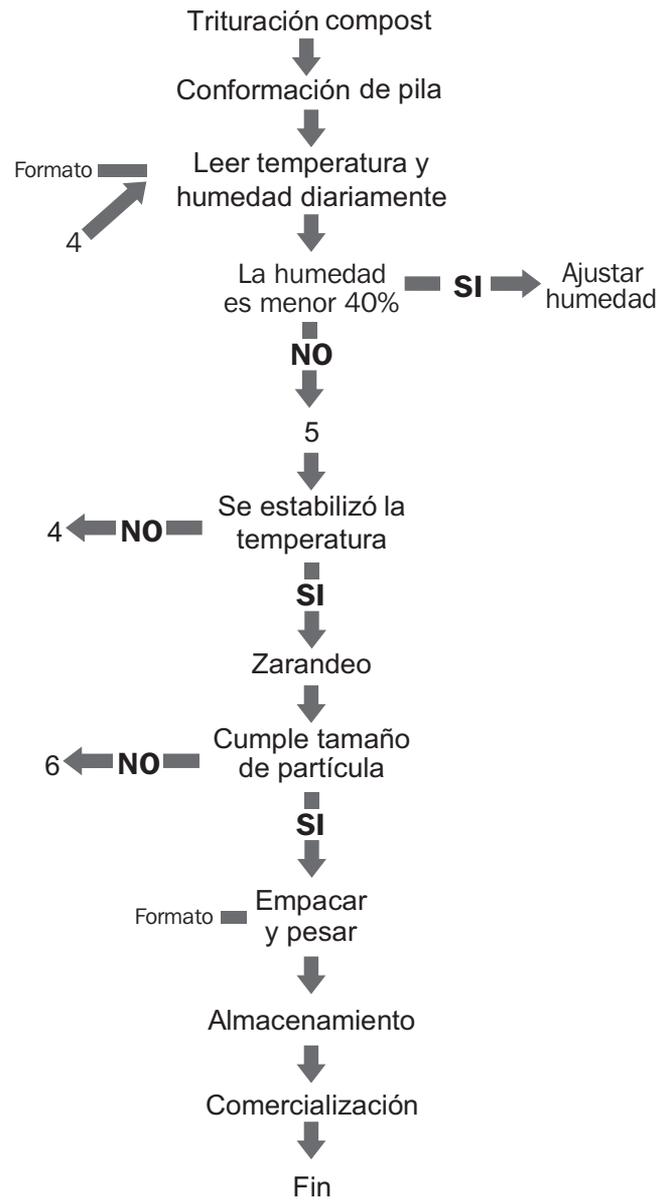
$$AR = 6 \times (3)^{0,667} = 12,48 \text{ m}^2$$

Anexo 2: Protocolo proceso de compostaje



Continuación protocolo proceso de compostaje

48



Anexo 3: Formulación de la mezcla para procesos de compostaje

Una vez recibidos los residuos a compostar y verificada su calidad, el paso siguiente es la evaluación de la relación Carbono – Nitrógeno, la cual debe estar en un rango entre 20-30, cuando está por debajo se deben agregar materiales con alto contenido de Carbono y si está por encima materiales con alto contenido de Nitrógeno.

En la Tabla I se presentan los valores de Carbono y Nitrógeno para algunos residuos sólidos orgánicos específicos, los cuales pueden ser utilizados para ajustar la formulación inicial (balance de nutrientes). Para ilustrar lo anterior, se puede asumir el caso de una planta de compostaje, a la cual ingresan 45kg de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, 12kg de gallinaza y 5kg de hojas caídas recientemente. El procedimiento para ajustar la formulación inicial para éstos materiales se explica con los siguientes pasos:

I. Pesar los residuos que ingresan a la compostera por separado y anotar estos valores en la columna “PESO”. Este peso debe ser el que posean los residuos húmedos, sin escurrir.

Material	Composición aproximada BASE SECA			Peso	N	C
	% N	% CO	% CN			
Fracción Orgánica de RSU*	2,460	32,630	13,264	45	1,107	
Aserrín Fresco**	0,100	50,000	500,000			
Residuos de Fruta***	1,520	52,880	34,789			

2. Para obtener la cantidad de nitrógeno, se multiplica para cada residuo el valor de la columna “PESO” por los valores preestablecidos en la columna “% N”, el resultado se divide entre 100 y se anota el valor en la columna “N”.

Material	Composición aproximada BASE SECA			Peso	N	C
	% N	% CO	% CN			
Fracción Orgánica de RSU*	2,460	32,630	13,264	45	1,107	
Aserrín Fresco**	0,100	50,000	500,000			
Residuos de Fruta***	1,520	52,880	34,789			

3. Para obtener la cantidad de Carbono, se multiplica para cada residuos el “PESO” por el “% C”, se divide entre 100 y se anota el valor en la columna “C”.

Material	Composición aproximada BASE SECA			Peso	N	C
	% N	% CO	% CN			
Fracción Orgánica de RSU*	2,460	32,630	13,264	45	1,107	14,684
Aserrín Fresco**	0,100	50,000	500,000			
Residuos de Fruta***	1,520	52,880	34,789			

4. Sumar los valores de la columna de “PESO” para obtener el peso total de los materiales y anotar el total en la fila “SUMA”

5. Sumar los valores de la columna de “N”, para obtener la cantidad de Nitrógeno en el total de materiales y anotar el total en la fila “SUMA”

6. Sumar los valores de la columna de "C", para obtener la cantidad de Carbono en el total de materiales y anotar el total en la fila "SUMA"

Proximada CA	Peso	N	C
% CN			
13,264	45	1,107	14,684
500,000			
34,789			
22,000	12	0,444	9,768
12,000			
25,000			
30,000	5	0,02	0,600
Suma	62	1,571	25,052

7. Para obtener el porcentaje de Carbono del total de los residuos, dividir el valor de la "SUMA DE CARBONO" entre el valor de la "SUMA DE PESO", multiplique por 100 y anotar en la fila "%C"

30,000	5	0,02	0,600
17,900			
Suma	62	1,571	25,052
%C	40,405645		
%N	2,533871		
C/N	15,946		

8. Para obtener el porcentaje de Nitrógeno del total de los residuos, dividir el valor de la "SUMA DE NITRÓGENO" entre el valor de la "SUMA DE PESO", multiplique por 100 y anotar en la fila "%N"

30,000	5	0,02	0,600
17,900			
Suma	62	1,571	25,052
%C	40,405645		
%N	2,533871		
C/N	15,946		

9. Para obtener la relación C/N del total de los residuos dividir el valor de la casilla "%C" entre el valor de la casilla "%N" y anotar el resultado en la casilla "C/N"

%C	40,405645
%N	2,533871
C/N	15,946

10. Si la relación C/N no se encuentra en el intervalo recomendado se procederá a ajustar, para lo cual se siguen los siguientes pasos (para estos pasos se pueden reducir las cifras decimales a solo dos):

(C/N) _{op}	W ₁ Kg	%C ₁	%N ₁	%C ₂	%N ₂	W ₂
20	62	40,41	2,53	50	0,1	13
Peso total por pila						75

a. Seleccione el material con el que va a ajustar de acuerdo a la deficiencia que se tenga (Carbono o Nitrógeno)

b. En la casilla "(C/N)_{op}" escriba el valor óptimo al cual quiere ajustar

c. En la casilla “W₁Kg” escribir al valor de la casilla “SUMA DE PESO”

d. En la casilla “%C₁” escribir el valor de la casilla “%C”

e. En la casilla “%N₁” escribir el valor de la casilla “%N”

f. En la casilla “%C₂” escribir el valor del “%C” del material con el que se va ajustar (en este caso aserrín fresco)

g. En la casilla “%N₂” escribir el valor del “%N” del material con el que se va ajustar (en este caso aserrín fresco)

Material	Composición aproximada BASE SECA			Peso	N	C
	% N	% CO	% CN			
Fracción Orgánica de RSU*	2,460	32,630	13,264	45	1,107	14,684
Aserrín Fresco**	0,100	50,000	500,000			
Residuos de Fruta***	1,520	52,880	34,789			
Gallinaza**	3,700	81,400	22,000	12	0,444	9,768
Corte de Césped**	2,000	24,000	12,000			
Estiercol de caballo**	2,300	57,500	25,000			
Hojas caídas recientemente**	0,400	12,000	30,000	5	0,02	0,600
Sobrante SAP****	2,130	37,680	17,900			
Suma				62	1,571	25,052

%C	40,41
%N	2,53
C/N	15,95

Para Chipiado Aserrín

(C/N) _{op}	W ₁ Kg	%C ₁	%N ₁	%C ₂	%N ₂	W ₂
20	62	40,41	2,53	50	0,1	13

Peso total por pila 75

Ajuste para optimizar la relación Carbono - Nitrógeno

$$W_2 = \frac{((\%C_1 * W_1) - ((C/N)_{op} * W_1 * \%N_1))}{(((C/N)_{op} \%N_2) - \%C_2)}$$

W₁ = Peso del material Kg que ingresa

%C₁ = Porcentaje de Carbono en el material que ingresa

%N₁ = Porcentaje de Nitrógeno en el material que ingresa

W₂ = Peso del material Kg con el que ajusto

%C₂ = Porcentaje de Carbono en el material que ajusto

%N₂ = Porcentaje de nitrógeno en el material que ajusto

(C/N)_{op} = C/N óptimo = 25

h. Para calcular la cantidad de material que se debe adicionar del material de ajuste para obtener la relación C/N requerida, utilizar la siguiente ecuación y escribir el resultado en la casilla “W₂Kg”

$$W_2 = \frac{(\%C_1 * W_1) - ((C/N)_{op} * W_1 * \%N_1)}{((C/N)_{op} * \%N_2) - \%C_2}$$

W₂ será la cantidad que se debe adicionar al material de partida para ajustar la relación C/N en los intervalos recomendados. No olvide compensar los resultados obtenidos frente los costos de operación y de infraestructura.

Para Aserrín Fresco

(C/N) _{op}	W ₁ Kg	%C ₁	%N ₁	%C ₂	%N ₂	W ₂
20	62	40,41	2,53	50	0,1	13
Peso total por pila						75

Tabla 1. Balance de Nutrientes

Relación Carbono Nitrógeno de la mezcla que ingresa

Material	Composición aproximada BASE SECA			Peso	N	C
	% N	% CO	% CN			
Fracción Orgánica de RSU	2,460	32,630	13,264			
Aserrín Fresco	0,100	50,000	500,000			
Residuos de Fruta	1,520	52,880	34,789			
Gallinaza	3,700	81,400	22,000			
Corte de Césped	2,000	24,000	12,000			
Estiercol de caballo	2,300	57,500	25,000			
Hojas caídas recientemente	0,400	12,000	30,000			
				%C		
				%N		
				C/N		
	(C/N) _{op}	W ¹ Kg	%C ¹	%N ¹	%C ²	%N ²
						W ² Kg

$$W_2 = \frac{((\%C_1 * W_1) - ((C/N)_{op} * W_1 * \%N_1))}{(((C/N)_{op} * \%N_2) - \%C_2)}$$

W₁ = Peso del material Kg que ingresa

%C₁ = Porcentaje de Carbono en el material que ingresa

%N₁ = Porcentaje de Nitrógeno en el material que ingresa

W₂ = Peso del material Kg con el que ajusto

%C₂ = Porcentaje de Carbono en el material que ajusto

%N₂ = Porcentaje de nitrógeno en el material que ajusto

(C/N)_{op} = C/N óptimo entre 20 y 30

Adaptado de: Marcos Arturo Rodríguez, 2006 y Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2006.

Anexo 4: Protocolo de muestreo

1. Definición de las actividades

Muestreo de materia orgánica: es la toma de muestras para el análisis de las diferentes variables fisicoquímicas y microbiológicas.

2. Descripción de las actividades

Las actividades del proceso que realiza el operario de compostaje para la toma de muestras y de las cuales es responsable son:

1. Lavarse bien las manos antes de hacer el muestreo y durante éste, no fumar, comer o manipular materiales contaminantes que puedan caer a la muestra.

2. Ponerse los implementos de seguridad necesarios para la actividad (overol manga larga, guantes, gafas, botas).

3. Verificar que cuenta con todos los implementos necesarios para la toma de muestras (Pala de jardinería, balde, bolsa plástica, rótulos, lapicero, lona o plástico limpio).

4. Voltear la pila exhaustivamente antes de proceder a la toma de muestras, con el fin de homogenizar el material.

5. Proceder a tomar las nueve submuestras que luego al mezclarse formaran la muestra compuesta, para ello se sigue el patrón de recorrido en rombo (Figura 1) tomando submuestras en cada punto.

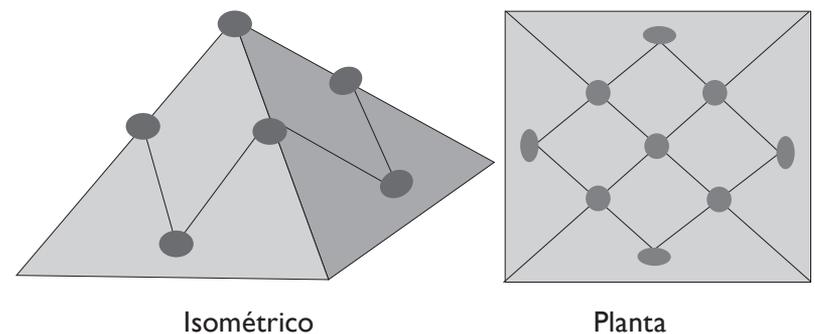


Figura 1. Patrón de muestreo en rombo

6. Excavar en cada uno de los puntos de muestreo un hoyo de aproximadamente 20cm de profundidad, introducir la pala y sacar aproximadamente 200g de muestra y adicionarlos al balde de plástico limpio. Las herramientas deben limpiarse después de la toma de cada submuestra.

7. Repetir el procedimiento en cada uno de los puntos del patrón. Una vez obtenido la última submuestra mezclar muy bien hasta homogenizar. Finalmente coloque la muestra sobre una lona o plástico limpio y divida en cuatro partes iguales y tome dos (2) cuartos opuestos para formar otra muestra representativa pero más pequeña. La muestra menor se vuelve a mezclar muy bien y se divide en cuatro partes, luego se escogen dos cuartos opuestos y se forma otra más pequeña, esta operación se repite hasta obtener el tamaño de muestra de 1000g (Figura 2).

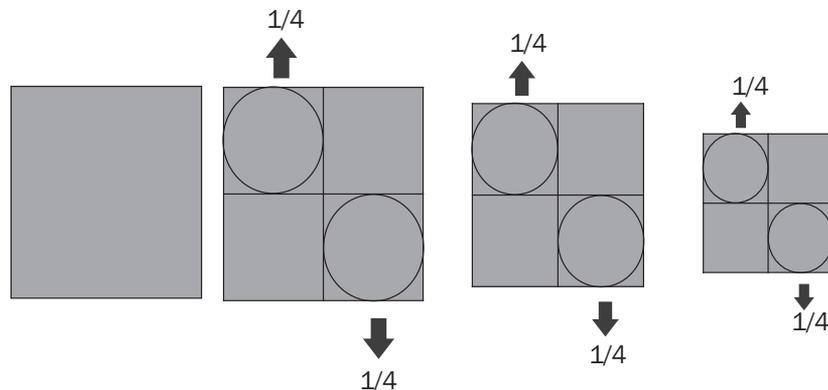


Figura 2. Obtención de muestra compuesta por cuarteo a partir de la sumatoria de submuestras

8. La muestra compuesta se guarda en una bolsa plástica limpia y se identifica claramente con una etiqueta. En la etiqueta se anota la fecha de muestreo y número de la pila (código) y cualquier otra observación que sea útil para la interpretación de los análisis.

9. Lavar y recoger todos los implementos utilizados durante el muestreo.

10. Lavarse las manos con jabón de tocador y jabón desinfectante.

11. Finalmente entregar la muestra a la persona encargada para que ésta sea llevada al laboratorio para que le realicen los análisis pertinentes.





CORANTIOQUIA

Carrera 65 N° 44 - 32

Teléfono: 493 88 88

www.corantioquia.gov.co

