

GUÍA DE COMPOSTAJE Y LOMBRICULTURA

2020

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales – Sede Vivero
Ingeniería Ambiental
Aura Ivonne Tovar & María Fernanda Ardila

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Facultad del
Medio Ambiente y
Recursos Naturales

Ingeniería
Ambiental

PRESENTACIÓN

La presente guía se realiza con el fin de establecer las pautas para el desarrollo adecuado de las actividades de compostaje y lombricultura a pequeña esacala dentro de la Facultad De Madio Ambiente Y Recursos Naturales – Sede Vivero de la Universidad Distrital Francisco José De Caldas en el marco de las estrategias propuestas en el trabajo de grado de las autoras, titulado "*Formulación De Estrategias Para La Reducción Y Mitigación De La Huella De Carbono De La Facultad De Medio Ambiente Y Recursos Naturales De La Universidad Distrital Francisco José De Caldas*" dirigida por el docende Álvaro Martin Gutiérrez Malaxechebarria del proyecto curricular de Ingenieria Ambiental.

CONTENIDO

PRESENTACIÓN 2
COMPOSTAJE 5
¿QUÉ ES EL COMPOSTAJE? 5
BENEFICIOS DEL COMPOSTAJE 5
ETAPAS DEL COMPOSTAJE 6
1. PREPARACIÓN 6
2. DESCOMPOSICIÓN MESÓFILA 6
3. DESCOMPOSICIÓN TERMÓFILA 6
4. DESCOMPOSICIÓN MESÓFILA DE ENFRIAMIENTO 7
5. MADURACIÓN 8
6. AFINACIÓN 8
PARÁMETROS A TENER EN CUENTA PARA EL PROCESO DE COMPSTAJE Y SU MONITOREO 9
- TEMPERATURA: 9
- HUMEDAD 11
- AIREACIÓN 13
- TAMAÑO DE RESIDUOS EN LA MASA DE COMPOST 15
- RELACIÓN CARBONO – NITRÓGENO 15
- pH 18
- OTRAS CONSIDERACIONES 19
LOMBRICULTURA O VERMICOMPOSTAJE 21
¿QUÉ ES LA LOMBRICULTURA? 21
ESPECIES DE LOMBRICES CULTIVABLES 21
BENEFICIOS DEL LOMBRICULTIVO 23
MANEJO DEL LOMBRICULTIVO 24
PROCESO 24
PARÁMETROS IMPORTANTES 27
BIBLIOGRAFÍA 29

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fases de la composta y su aspecto 8
Tabla 2. Problemas asociados a la temperatura en el compostaje 10
Tabla 3. Problemas asociados con la humedad en el compostaje 12
Tabla 4. Problemas asociados a la aireación de la pila de compostaje. 14
Tabla 5. Problemas asociados al tamaño de partícula en la composta. 15
Tabla 6. Relaciones Carbono - Nitrógeno de diversos materiales utilizados para la producción de abonos orgánicos. 16
Tabla 7. Mezcla de compost urbano (150 Kg). 17
Tabla 8. Problemas asociados a la relación C:N en el compostaje. 17
Tabla 9. Temperatura y tiempo de exposición necesarios para eliminar algunos patógenos 20
Tabla 10. Ficha de monitoreo de la composta 20
Tabla 11. Parámetros importantes en la lombricultura. 27
Tabla 12. Formato de monitoreo del sistema de lombricultura. 28

COMPOSTAJE

¿QUÉ ES EL COMPOSTAJE?

De acuerdo con **Yu, Clark & Leonard (2008)** citado por **Sepúlveda Villada & Alvarado Torres (2013, pág. 31)** el compostaje es la degradación aeróbica de materia orgánica por la acción de microorganismos en condiciones "controladas" de aireación, humedad y temperatura por medio de la cual se obtiene un producto estable e higienizado, aplicable al suelo como abono o sustrato.

Por su parte, **Román Martinez & Pantoja (2013, pág. 25)** mencionan que el compostaje es un proceso biológico, que ocurre en condiciones aeróbicas (presencia de oxigeno) que con la adecuada humedad y temperatura asegura la transformación higiénica de los restos orgánicos en un material homogéneo y asimilable por las plantas.

En ese orden de ideas, se puede afirmar que el compostaje es el proceso mediante el cual se transforma la materia orgánica en abono o sustrato para las plantas por medio de la degradación aeróbica de la misma por parte de microorganismos, manteniéndose bajo control la humedad, aireación y temperatura para asegurar un proceso higiénico y seguro.

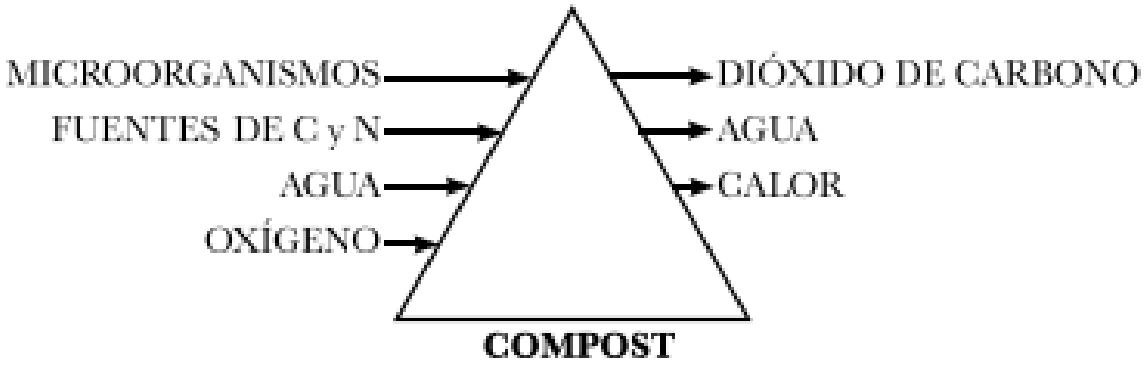


Ilustración 1. *Proceso de compostaje.* ***Fuente: (Cuervo Andrade, y otros, 2014, pág. 19)***

BENEFICIOS DEL COMPOSTAJE

De acuerdo con **(Cuervo Andrade, y otros, 2014)** el compost o sustrato producto del compostaje ayuda a mejorar las propiedades tanto físicas (agregación, porosidad, retención de humedad), como químicas (pH, porcentaje de materia orgánica y nutrientes) y biológicas (microorganismos) del suelo, así como su estabilidad y

capacidad de sostener las plantas. Dentro de los efectos que el compost genera en el suelo se tienen los siguientes:

- Incrementa la capacidad de intercambio catiónico.
- Facilita la retención de nutrientes.
- Reduce la lixiviación o pérdida de nutrientes por acción de la lluvia.
- Incrementa la absorción de minerales.
- Mejora la estructura del suelo.
- Incrementa la aireación y capacidad de retención de humedad.
- Aporta microorganismos benéficos para las plantas, los cuales, entre otras cosas, promueven el crecimiento vegetal, fijan nitrógeno, solubilizan nutrientes y combaten patógenos.
- Aporta macro y micro nutrientes.

ETAPAS DEL COMPOSTAJE

El proceso de compostaje según Sepúlveda Villada & Alvarado Torres (2013, pág. 32) consta de 6 etapas descritas a continuación:

1. **PREPARACIÓN**

   El insumo para el compostaje son los residuos orgánicos tales como las cascaras o partes de frutas, hortalizas, hojas de poda, flores y tallos picados, entre otros, debe asegurarse que no existan otro tipo de residuos como plásticos, vidrios papeles y metales, además se debe tratar que los residuos tengan un tamaño entre 1 y 10 centímetros.

   Respecto a la humedad, se puede controlar mediante la adición de aserrín o viruta de madera, en proporciones de 2 a 3 partes en volumen de alimento por 1 de aserrín.

2. **DESCOMPOSICIÓN MESÓFILA**

   Al inicio del proceso, la composta se encuentra a temperatura ambiente (menor a 40ºC) bajo la cual los microorganismos llamados mesófilos se multiplican rápidamente y presentan una gran actividad metabólica, utilizando las fuentes de carbono y nitrógeno más sencillas como azucares y algunos aminoácidos. En esta fase la temperatura comienza a subir (hasta 40ºC) y se producen ácidos orgánicos que hacen bajar el pH (cerca de 4.0 a 4.5).

3. **DESCOMPOSICIÓN TERMÓFILA**

   En esta fase, la temperatura es superior a los 40º C y sube hasta 60ºC o 65ºC, por lo cual los microorganismos mesófilos son reemplazados por bacterias

filamentosas como actinomicetos (las cuales son capaces de descomponer sustancias orgánicas como las ceras, las proteínas y la hemicelulosa) y hongos, aparecen además las bacterias termófilas, las cuales transforman el nitrógeno en amoniaco (NH3), por lo que el pH se torna alcalino, además de facilitar la degradación de fuentes más complejas de carbono como la celulosa y la lignina.

De acuerdo con Cuervo Andrade y otros (2014, pág. 21), esta fase recibe tambien el nombre de fase de higienización, ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp*. Esta fase es de suma importancia ya que por encima de los 55ºC se eliminan los huevos de helminto, esporas de hongos fitopatogenos y semillas de malezas, dando lugar a un porducto higienizado.

4. DESCOMPOSICIÓN MESÓFILA DE ENFRIAMIENTO

En esta fase, la temperatura comienza a descender por debajo de los 60ªC (hasta 40ºC – 45ºC), por lo que reaparecen los hongos mesófilos (algunos visibles a simple vista) los cuales reinvaden la parte superior del residuo o mantillo y logran descomponer compuestos como la celulosa.

Al bajar la temperatura a 40ºC los organismos mesófilos reinician su actividad, haciendo que el pH descienda levemente, aunque se mantenga alcalino. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración.



Ilustración 2. *Hongos indicadores de la fase Mesófila II o fase de enfriamiento.* ***Fuente:*** *(Román, Martinez, & Pantoja, 2013, pág. 26)*

5. **MADURACIÓN**

Esta fase requiere de 1 a 2 meses en promedio y se realiza exponiendo el compost a temperatura ambiente, protegido de la lluvia; durante esta se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de los compuestos carbonados para formar ácidos húmicos y fúlvicos; se presenta un descenso en el consumo de oxígeno y la fitotoxicidad debe estar controlada.

6. **AFINACIÓN**

Durante esta fase se realiza la homogenización y mejoramiento del tamaño de partícula del compost (producto del compostaje), se regula además que la humedad se encuentre en valores menores a 40% y se seleccionan los residuos no compostados o impurezas.

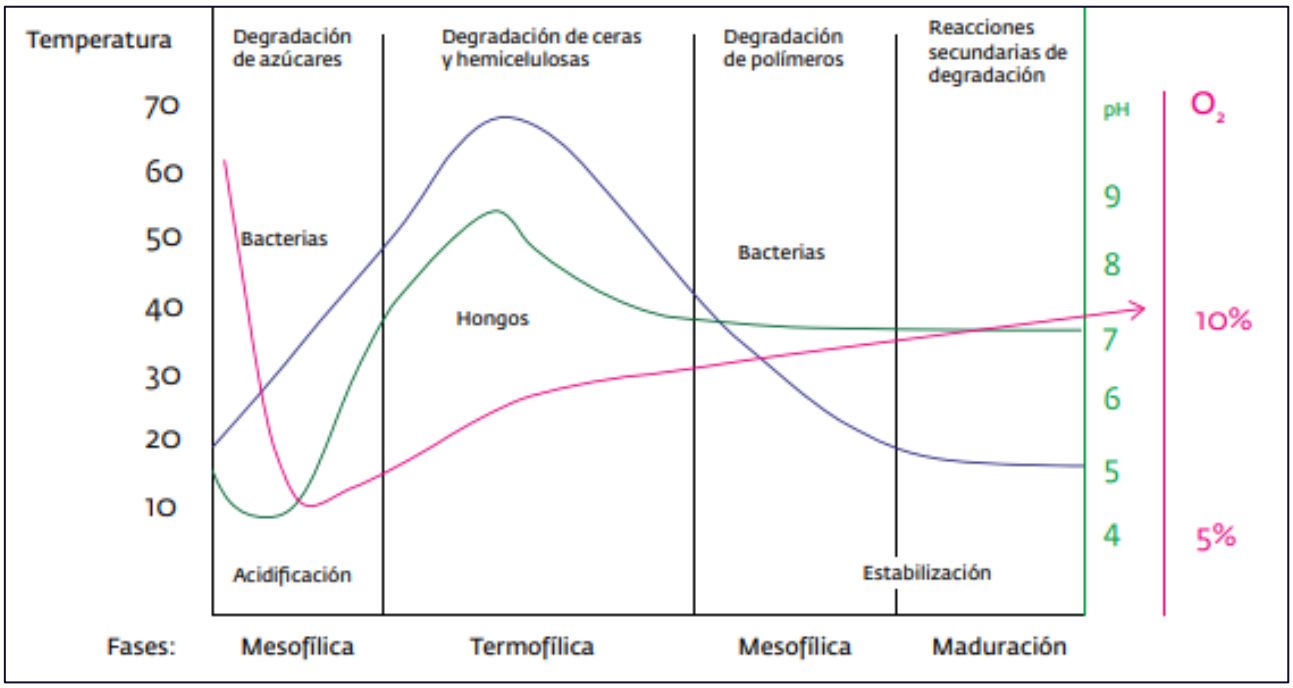
A continuación se presentan imágenes del aspecto que debería presentar la composta dependiendo de la etapa en la que se encuentra y el promedio de tiempo que tarda en llegar a cada etapa:

Tabla 1. *Fases de la composta y su aspecto*

FASES	Mesófila	Termófila	Enfriamiento	Maduración
ASPECTO				
DURACIÓN	2 a 5 días	1 a 3 semanas	2 a 5 semanas	3 a 6 meses

Nota: información tomada de (Román, Martinez, & Pantoja, 2013, pág. 27)

En la siguiente grafica se presenta la dinámica de degradación durante el proceso de compostaje en donde la línea rosada corresponde al porcentaje de oxígeno, la verde al nivel de pH y la azul al grado de temperatura.



***Gráfica 1**. Dinámica de degradación del proceso de compostaje. **Fuente:** (Cuervo Andrade, y otros, 2014, pág. 21)*

PARÁMETROS A TENER EN CUENTA PARA EL PROCESO DE COMPSTAJE Y SU MONITOREO

Las existencias de poblaciones de microorganismos presentes en el proceso de compostaje y la velocidad de transformación de los residuos orgánicos, así como el desarrollo óptimo de las etapas del mismo requieren que se mantenga un control y monitoreo diario de los siguientes parámetros (Cuervo Andrade, y otros, 2014, pág. 22):

- **TEMPERATURA:**

  Este parámetro es dinámico durante el proceso y su aumento garantiza la calidad microbiológica y sanidad del producto. Es una de las variables más importantes, ya que influye desde la mineralización de la materia orgánica y el crecimiento de las poblaciones microbianas y su comportamiento, hasta el desarrollo de las reacciones exotérmicas de descomposición de las cadenas de compuestos orgánicos.

  Se debe tener en cuenta que la temperatura indica el correcto avance del proceso, elimina microorganismos patógenos e inactiva las semillas presentes en los residuos; además de que a mayor temperatura, mayor velocidad de descomposición, sin embrago, esta no debe subir de los 70ºC ya que si se excede puede mineralizarse la materia orgánica y perderse los nutrientes.

Respecto a su medición, esta puede realizarse con sensores especializados para dicha labor o con un termómetro de sonda, lo ideal es que el sensor o termómetro penetre al menos 50 centímetros al interior de la pila, ya que allí es donde se presenta mayor acenso de temperatura.





Ilustraciones 3 y 4. *Termómetros para composta.* ***Fuente: (Cuervo Andrade, y otros, 2014, pág. 24)***

Tabla 2. *Problemas asociados a la temperatura en el compostaje*

PROBLEMA	CAUSAS ASOCIADAS	SOLUCIÓN
Temperaturas menores a 40ºC		
Material insuficiente	El tamaño o la forma de la pila son inadecuadas para alcanzar las temperaturas requeridas en el proceso.	Añadir más material a la pila de compostaje, se recomienda que la altura este entre 1 y 2 metros.
Déficit de nitrógeno o relación C:N >30	Los microorganismos no tienen el nitrógeno necesario para sintetizar las enzimas y proteínas lo que reduce la velocidad del proceso y hace que la pila tarde más de la semana en incrementar su temperatura.	Añadir material con alto contenido en nitrógeno como estiércol o residuos de cocina.
Déficit o exceso de agua	La actividad metabólica de los microorganismos disminuye por falta de agua o asfixia por inundación., generando un descenso en la temperatura.	Humedecer el material o añadir material fresco con mayor contenido de humedad (restos de fruta y verdura u otros) para la falta de agua o añadir más material para el exceso.

Temperaturas mayores a 70ºC		
Ventilación y humedad insuficiente	La temperatura es demasiado alta y se inhibe el proceso de descomposición ya que aunque se mantenga la actividad microbiana, esta no es la suficiente como para activar a los microorganismos mesofilicos y facilitar la culminación del proceso. Esto puede deberse a la falta de volteo.	Realizar volteo para garantizar el tamaño de partícula oprimo para generar oxigenación. Verificar la humedad, en caso de exceso adicionar material.
Exceso de nitrógeno, relación C:N < 30	El exceso de nitrógeno genera un aumento en la velocidad y temperatura del proceso.	Adicionar material rico en carbono, como la hojarasca, el pasto seco o el aserrín para que ralentice el proceso.

Nota: la información para construir esta tabla fue tomada de (Román, Martinez, & Pantoja, 2013, pág. 30) y (Cuervo Andrade, y otros, 2014, pág. 23)

- **HUMEDAD**

El recurso hídrico es requerido para el desarrollo de las funciones metabólicas de los microorganismos, los cuales son vitales en el proceso de compostaje pues realizan la degradación de los residuos orgánicos. Este es un factor limitante, ya que si desciende del 40% la actividad microbiana es más lenta, mientras que si excede el 65% se dificulta la circulación de aire a través de la masa, afectando la actividad metabólica de los microorganismos, por lo cual la humedad óptima para lograr la máxima eficiencia del proceso se ubica entre el 45% y el 60%.

El riego preferiblemente debe realizarse pro aspersión, para garantizar que el agua llegue a la totalidad de la pila, de no ser así habrá puntos muertos en la pila, en los cuales el material no se degradara. A su vez, se recomienda realizar el riego con agua lluvia, ya que el agua potable suele tener altos contenidos de cloro, lo cual puede afectar a los microorganismos y por ende, a la calidad de la composta.

Respecto a la medición, esta puede realizarse con sensores especializados para determinar la humedad del suelo, sin embrago, la prueba del puño se considera válida para verificar cualitativamente la humedad; esta consiste en tomar un poco de

material de la mezcla en la mano y oprimirla, lo ideal es que pueda generarse una especie de agregado, el cual no debe escurrir más de una o dos gotas, si por el contrario, el material está muy seco y se desmorona, indica que le falta humedad; a su vez, si el material escurre más de tres gotas, está muy húmedo:

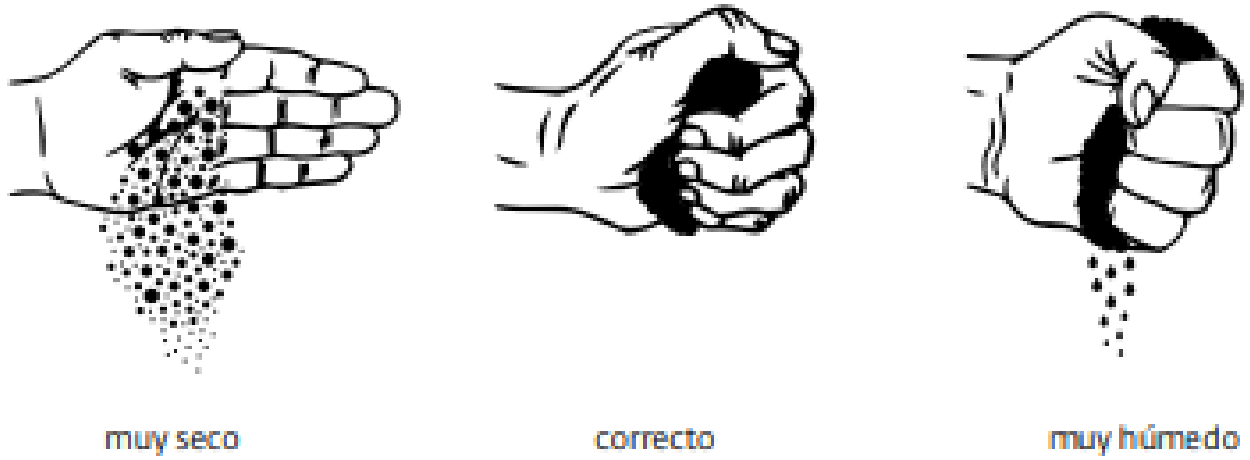


Ilustración 5. *Medición de la humedad de la composta mediante la prueba de puño.* ***Fuente:*** *(Cuervo Andrade, y otros, 2014, pág. 26)*

Tabla 3. *Problemas asociados con la humedad en el compostaje*

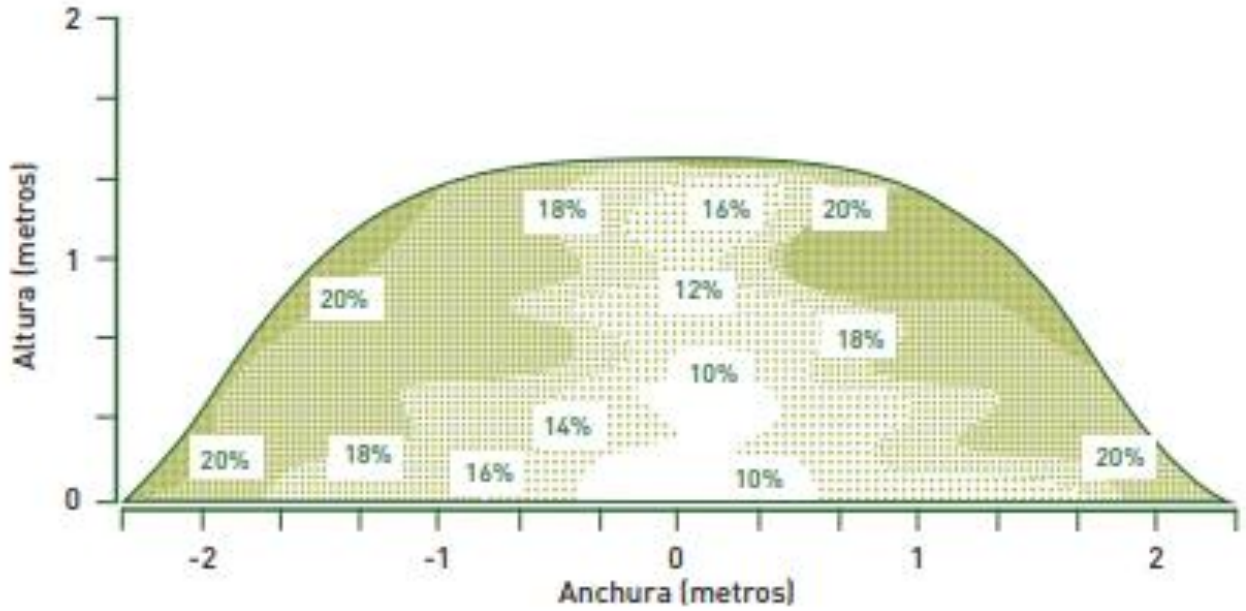
PROBLEMA	CAUSAS ASOCIADAS	SOLUCIÓN
Humedad insuficiente (menor a 45%)	El proceso se puede detener por falta de agua para el desarrollo del metabolismo de los microorganismos.	Se debe regular la humedad, ya se proporcionando agua la material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua como restos de frutas y verduras, césped fresco u otros.
Oxigeno insuficiente (humedad mayor al 60%)	El exceso de agua hace que el oxígeno quede desplazado. Lo que puede dar lugar a zonas de anaerobiosis, malos olores, putrefacción y presencia de moscas.	Balancear la mezcla con material seco tal como el aserrín u hojarasca. Aumentar la frecuencia de volteo.

Nota: la información para construir esta tabla fue tomada de (Román, Martinez, & Pantoja, 2013, pág. 29) y (Cuervo Andrade, y otros, 2014, pág. 26)

- **AIREACIÓN**

Este es uno de los parámetros más importantes. Ya que el compostaje, al ser un proceso aeróbico debe mantener una aireación adecuada para permitir la respiración de los microorganismos. Un déficit de oxigeno puede acarrear problemas de putrefacción, se detiene el proceso de degradación y por ende el producto disminuye su calidad. Para conseguir una buena distribución del oxígeno en toda la pila se hace necesaria la adición de un material de soporte, ya sea triturado de poda o aserrín, el cual proporcione estructura y porosidad a la composta.

En las pilas de composta siempre debe existir como mínimo entre 5% y 10% (las concentraciones de oxigeno mayores a 10% se consideran óptimas para mantener la pila de compost en un medio aeróbico) de concentración de oxígeno y se recomienda realizar el volteo cada 2 o 3 días, para asegurar que la transformación se de en condiciones aérobicas, facilitando la llegada de aire al centro de la pila.



Gráfica 2. *Concentración de oxígeno en una pila de compost.* ***Fuente:*** *(Sepúlveda Villada & Alvarado Torres, 2013, pág. 36)*

Respecto a la medición, esta se realiza por medio de sensores especializados, los cuales proporcionan el porcentaje de oxigeno dentro de las pilas y algunos caso, también proporcionan la temperatura de las mismas.





Ilustraciones 6 y 7. *Medidores de la concentración de oxígeno en la composta.* ***Fuente:*** *(Cuervo Andrade, y otros, 2014, pág. 28)*

Tabla 4. *Problemas asociados a la aireación de la pila de compostaje.*

PROBLEMA	CAUSAS ASOCIADAS	SOLUCIÓN
Baja aireación (concentración de oxígeno menor a 5%)	Se presenta insuficiente evaporación de agua, generando un exceso de humedad y un ambiente anaeróbico. Se producen malos olores y acidez por la presencia de compuestos como el ácido acético, ácido sulfhídrico (H2S) o metano (CH4) en exceso.	Realizar volteo de la pila y/o adición de material estructurante que permita la aireación, como la hojarasca y el aserrín. También se puede hacer un canal interno de aireación a la pila o insertar tubos de PVC perforados en la masa de compostaje para facilitar su aireación.
Exceso de aireación (concentración de oxígeno mayor a 15%)	Se presenta un descenso de la temperatura y evaporación del agua, haciendo que los microorganismos se deshidraten y por ende el proceso de descomposición se detenga por falta de agua,	Disminuir los volteos de la pila. Balancear la humedad.

Nota: la información para construir esta tabla fue tomada de (Román, Martinez, & Pantoja, 2013, pág. 28) y (Cuervo Andrade, y otros, 2014, pág. 28)

- **TAMAÑO DE RESIDUOS EN LA MASA DE COMPOST**

La actividad microbiana está relacionada con el tamaño de partícula con respecto a la facilidad de acceso al sustrato. Si las partículas son más pequeñas hay una mayor superficie específica, facilitando el acceso al sustrato, siendo el tamaño ideal entre 5 y 25 centímetros.

Este parámetro está relacionado también con la porosidad de la pila, lo que a su vez se encuentra directamente relacionada con la aireación dentro de la misma; a menor porosidad (apelmazamiento), mayor degradación de los residuos, el tiempo de descomposición se hace más lento y se pueden generar malos olores.

Tabla 5. *Problemas asociados al tamaño de partícula en la composta.*

PROBLEMA	CAUSAS ASOCIADAS	SOLUCIÓN
Exceso de aireación (tamaño de partícula mayor a 30 cm)	Los materiales de gran tamaño crean canales de aireación los cuales generan un descenso en la temperatura y ralentizan el proceso.	Picar el material hasta conseguir un tamaño promedio entre 10 y 20 cm.
Compactación (tamaño de partícula menor a 5 cm)	Las partículas demasiado finas reducen la porosidad de la pila, impidiendo el flujo de aire y facilitando la compactación del material, produciéndose anaerobiosis.	Voltear la pila y añadir material de mayor tamaño.

Nota: la información para construir esta tabla fue tomada de (Román, Martinez, & Pantoja, 2013, pág. 32)

- **RELACIÓN CARBONO – NITRÓGENO**

Una de las primeras tareas para desarrollar con éxito el compostaje es lograr la correcta combinación de ingredientes iniciales, en los cuales el contenido de humedad y la relación Carbono – Nitrógeno (C:N) son fundamentales.

La importancia del carbono y del nitrógeno radica en que este primero es la fuente de energía de los microorganismos y puede ser encontrado en residuos con altos contenidos de carbohidratos como el aserrín, la paja, la cascarilla de arroz, la hojarasca, etc.; por su parte, el segundo mencionado es el componente de las proteínas y se relaciona con la reproducción de los microorganismos, por lo cual

influye en la velocidad de degradación, ya que a mayor cantidad de microorganismos, más rápido se realiza el proceso de degradación.

Para lograr una buena combinación de insumos iniciales, es necesario mezclar en correctas proporciones residuos orgánicos ricos en carbono y ricos en nitrógeno, teniendo en cuenta la relación C:N de cada uno. A continuación se presentan las relaciones C:N de diversos materiales utilizados para la producción de abonos orgánicos:

Tabla 6. *Relaciones Carbono - Nitrógeno de diversos materiales utilizados para la producción de abonos orgánicos.*

Materiales con alta relación C/N > 40		Materiales con baja C/N relación C/N < 25		Materiales con relación C/N óptima entre 25-40	
Hojarasca	80-250:1	Restos vegetales	15-20:1	Hojas de frijol	27:1
Hierba recién cortada	43:1	Cereza de café	20:1	Estiércol ovino y caprino	32:1
Paja	40-100:1	Hierba	15-25:1	Hojas de plátano	5-25:1
Aserrín	100-500:1	Estiércoles	5-25:1	Hojas de café	15:1
Corteza	100-130:1	Residuos cocina crudos	15:1	Restos de poda	19:1
Papel mezclado	150-200:1	Estiércol de vaca	19:1	Restos de hortalizas	37:1
Cartón	560:1	Gallinaza	7:1	Acículas de pino	32:1
Cascarilla de arroz	66:1	Camas de gallinaza	18:1	Cuncho de Café	30/1
Bagazo de caña	104:1	Porquinaza	10:1		
Mazorca de maíz	117:1	Equinaza	11/1		
Hierbas secas	80:1	Lavaza	16/1		

Fuente: (Cuervo Andrade, y otros, 2014, pág. 30)

De acuerdo con Sepúlveda Villada & Alvarado Torres (2013, pág. 36), la relacion ideal de Carbono – Nitrógeno (C:N) oscila entre 25:1 y 30:1 aproximadamente y decrece a 15:1 al final del proceso de compostaje. A continuación se presenta un ejemplo de mezcla con relación C:N de 30:1:

Tabla 7. Mezcla de compost urbano (150 Kg).

Ingredientes	% Humedad	Peso (kg)	%C	%N	Resultado Mezcla relación C/N
Residuos Crudos	59,70	20	14,36	0,93	30/1
Pasto	19,43	2	30,94	1,69	
Hojarasca	16,00	20	61,12	0,24	

Fuente: *(Cuervo Andrade, y otros, 2014, pág. 30)*

Si se desea calcular la proporción de C:N en la mezcla como conjunto, se puede obtener a partir de la siguiente formula (Sepúlveda Villada & Alvarado Torres, 2013, pág. 38):

$$R = \frac{\sum(Q1\left(C1 * (100 - M1)\right) + .. + Qn(Cn * (100 - Mn))}{\sum(Q1\left(N1 * (100 - M1)\right) + .. + Qn(Nn * (100 - Mn))}$$

En donde:

R = Relación C:N de la mezcla de abono.
Qn = Masa del material (tal cual o peso húmedo).
Cn = Carbono (%) del material n.
Nn = Nitrógeno (%) del material n.
Mn = contenido de humedad (%) del material n.

Tabla 8. *Problemas asociados a la relación C:N en el compostaje.*

PROBLEMA	CAUSAS ASOCIADAS	SOLUCIÓN
Exceso de carbono, relación C:N > 30:1	Se reduce la actividad metabólica de los microorganismos debido a la falta de nitrógeno para la reproducción. El proceso tiende a enfriarse y ralentizarse.	Adicionar material rico en nitrógeno como estiércol, residuos crudos de cocina o restos de leguminosas.
Exceso de nitrógeno, relación c:n < 15:1	El proceso tiende a calentarse en exceso y a generar malos olores a causa de la producción de amoniaco, el cual es obtenido a partir del nitrógeno.	Adicionar material rico en carbono como ramas secas, hojarasca, aserrín, entre otros.

Nota: la información para construir esta tabla fue tomada de (Cuervo Andrade, y otros, 2014, pág. 30) y (Román, Martinez, & Pantoja, 2013, pág. 31)

- **pH**

El pH o potencial de hidrogeno tiene una influencia directa en el compostaje debido a su acción dinámica en los procesos microbianos. En los primeros estados del proceso, el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos, luego este sube en la fase termófila gracias a la conversión del amonio a amoniaco, y alcaliniza el medio para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro.

Este factor afecta la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento de las plantas, por lo cual es importante que el compost maduro presente un pH cercano a la neutralidad, es decir, cercano a 7. Dicho factor además de influir en el crecimiento de las planta, define la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tienen un pH óptimo de crecimiento y reproducción, presentándose la mayor actividad bacteriana bajo el rango de pH de 6 a 7,5, mientras que la mayor actividad fúngica se produce a pH entre 5,5 y 8, por lo cual, el rango ideal está entre 5,8 y 7,2.

Para medir este parámetro, se pueden utilizar herramientas específicas para este trabajo, como lo es el pH metro o medidor de pH, sin embargo, también se puede medir mediante el uso de cintas tornasol la cual se pone humedecida sobre los residuos o muestra y se evalúa el color obtenido con respecto a la gama de colores pH:

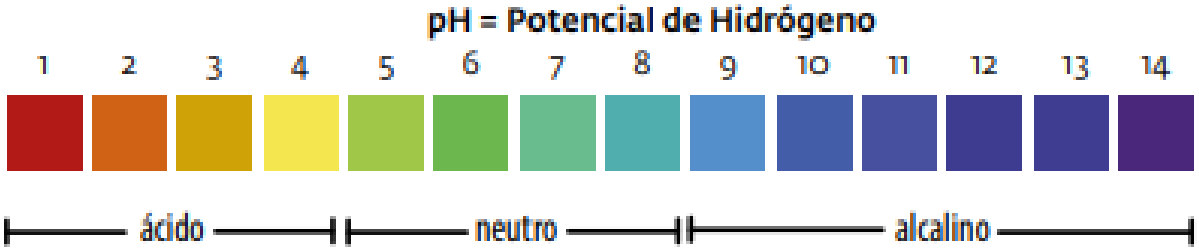


Ilustración 8. *Gama de colores de pH.* ***Fuente:*** *(Cuervo Andrade, y otros, 2014, pág. 31)*

PROBLEMA	CAUSAS ASOCIADAS	SOLUCIÓN
Exceso de ácidos orgánicos (pH < 4,5)	Los materiales vegetales como restos de cocina, frutas y verduras liberan muchos ácidos orgánicos y tienden a acidificar el medio. Estos valores de pH indican ausencia de madurez debido a un	Adicionar material rico en nitrógeno como restos de comida y leguminosas.

	tiempo de compostaje demasiado coto o a la ocurrencia de procesos anaeróbicos.	
Exceso de nitrógeno (>8,5)	Al presentarse exceso de nitrógeno en el insumo o material de origen, asociado a humedad y altas temperaturas, se produce amoniaco y alcaliniza el medio.	Adicionar material más seco, con alto contenido de carbono como aserrín u hojarasca.

Nota: la información para construir esta tabla fue tomada de (Román, Martinez, & Pantoja, 2013, pág. 31)

- **OTRAS CONSIDERACIONES**

Adicionalmente, aparte de los parámetros anteriormente mencionados se recomienda realizar pilas de entre 1,5 y 2 metros de alto para facilitar el volteo y el desarrollo óptimo del proceso, y un ancho de entre 1,5 y 3 metros. Respecto a la longitud de la misma, esta dependerá de la cantidad de material, al área de desarrollo y el manejo que se le dé a la misma. Se debe tener en cuenta además, que durante el proceso de compostaje la pila reduce su tamaño hasta en un 50% en volumen, debido a la compactación y a la perdida de carbono en forma de CO_2.

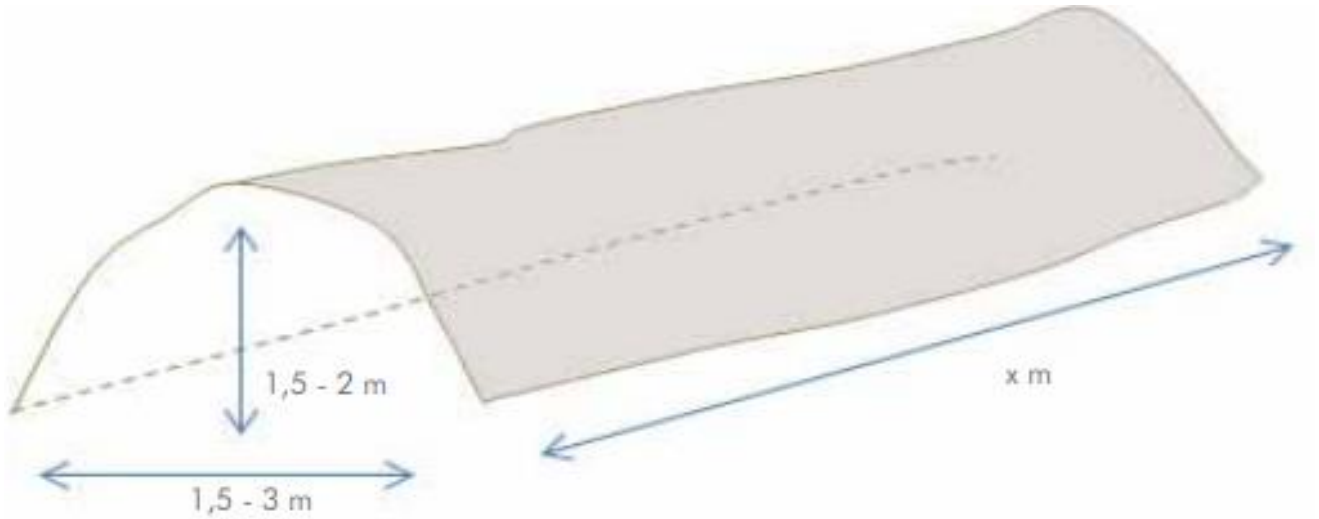


Ilustración 9. *Dimensiones de la pila de composta recomendadas.* ***Fuente:*** *(Román, Martinez, & Pantoja, 2013, pág. 33)*

Por otro lado, según Román Martinez & Pantoja (2013, pág. 34) otro aspecto importante a tener en cuenta es la higienización del proceso de compostaje, ya que al tratarse de residuos orgánicos pueden presentarse patógenos en la pila de composta, sobre todo si se adiciona estiércol o se hace uso de aguas contaminadas. La inocuidad biológica de la composta depende de la temperatura principalmente, sin embargo

también influye la humedad, la aireación y el tamaño de partícula (ya que estos últimos tres factores mencionados pueden influir en la variación de la temperatura). Los microorganismos patógenos pueden ser eliminados gracias al aumento de temperatura, a continuación se presenta la temperatura y tiempo de exposición necesarios para eliminar algunos patógenos:

Tabla 9. Temperatura y tiempo de exposición necesarios para eliminar algunos patógenos

Microorganismo	Temperatura	Tiempo de exposición
Salmonella spp	55°C	1 hora
	65°C	15-20 minutos
Escherichia coli	55°C	1 hora
	65°C	15-20 minutos
Brucella abortus	55°C	1 hora
	62°C	3 minutos
Parvovirus bovino	55°C	1 hora
Huevos de *Ascaris lumbricoides*	55°C	3 días

Tomado de: *(Jones & Martin, 2003) citado por (Román, Martinez, & Pantoja, 2013, pág. 35)*

Se propone la siguiente ficha de registro para llevar el monitoreo diario de las variables más relevantes:

Tabla 10. *Ficha de monitoreo de la composta*

COMPOSTAJE DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS EN LA FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES DE LA UDFJC (SEDE VIVERO)		UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS	
Responsable		**Fecha y hora (dd/mm)**	
PARÁMETRO		**OBSERVACIÓN**	
Temperatura			
Humedad			
pH			
Concentración de oxígeno			

LOMBRICULTURA O VERMICOMPOSTAJE

¿QUÉ ES LA LOMBRICULTURA?

De acuerdo con Cuervo Andrade y otros (2014, pág. 41) la lombricultura es un proceso aerobio similar al compostaje en el cual en adicion a las bacterias y otros microorganismos, las lombrices juegan un papel importante, ya que por medio de su metabolismo transforman los residuos organicos en un abono de excelente calidad.

Durante este proceso, los minerales insolubles son solubilisados, quedando disponible para las plantas por medio del producto final del proceso; igualmnet,e otros compuestos organicos mas complejos, como la celulosa, con parcialmente degradados a compuestos mas simples por las bacterias presentes en el tracto digestibo de las lombrices, aumentando la disponibilidad de nitrogeno en el resultado final (Román, Martinez, & Pantoja, 2013, pág. 70).

Este proceso se presenta como una alternativa viable para el manejo ecológico de los residuos orgánicos, permitiendo su reciclaje y evitando que estos sean dispuestos de manera inadecuada y generen problemas ambientales.

ESPECIES DE LOMBRICES CULTIVABLES

Dentro de las especies más usadas para la lombricultura se encuentran la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), la lombriz roja (*Lumbricus rubellus*) y la lombriz nocturna europea (*Dendrabaena veneta* o *Eisenia hortensis*), estas últimas son ampliamente usadas debido a su tolerancia a diferentes rangos de temperatura y humedad (FAO, 2013) citado por (Cuervo Andrade, y otros, 2014, pág. 41).

De acuerdo con la FAO (2013), la especie más empleada comercialmente es *Eisenia foetida* o lombriz roja californiana, esta especie es uy hábil en su alimentación, consume el alimento correspondiente a su propio peso cada 24 horas y obtiene su alimento a partir de materiales orgánicos vegetales, animales o mixtos; frescos o en diferente estado de descomposición. Esta especie requiere de altas concentraciones de materia orgánica para su alimentación, entre 19ºC y 25ºC de temperatura ambiente, una humedad del 80%, un pH de entre 6,5 y 7,5 y baja luminosidad; su supervivencia depende de la cantidad de materia orgánica en el medio.

Entre otras generalidades de esta especie se puede mencionar que mide entre 8 y 10 centímetros en su edad adulta, son muy resistentes a condiciones adversas del medio, excretan el 60% de lo que consumen en forma de lombricompost y tienen una capacidad reproductiva muy elevada (su población puede duplicarse cada 45 – 60 días) y viven en promedio entre 4 y 5 años.

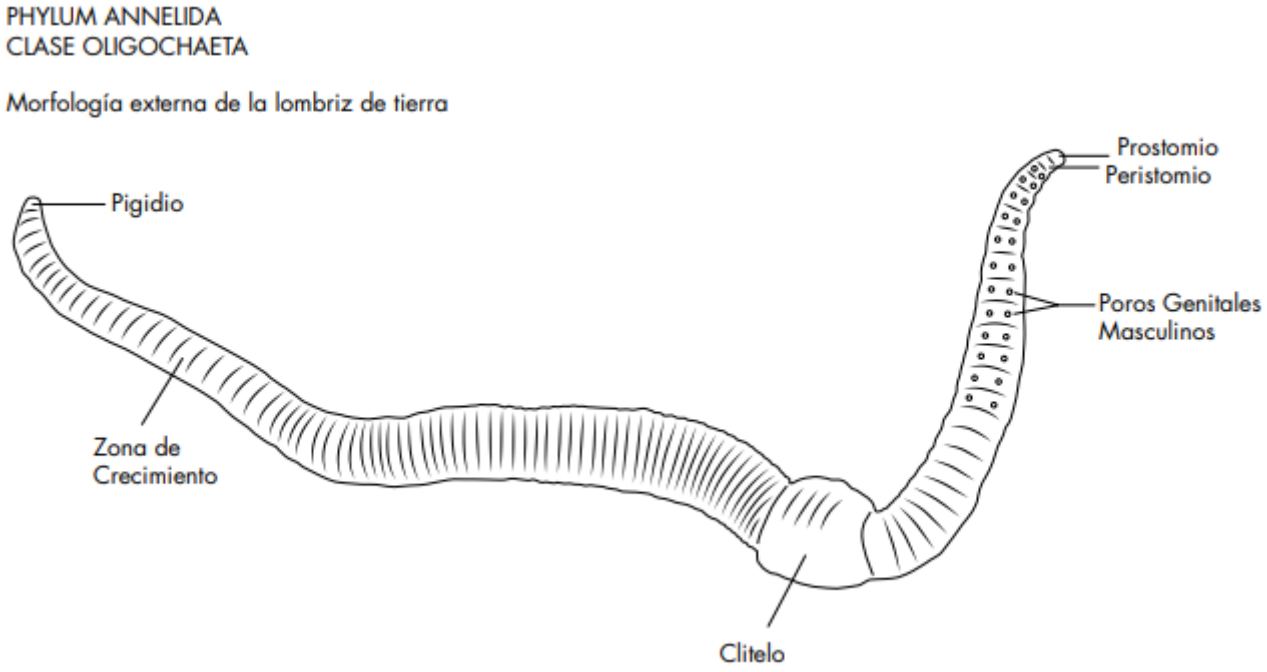


***Ilustración 10**. Morfología de la lombriz roja californiana. **Fuente:** (Cuervo Andrade, y otros, 2014, pág. 42)*

Respecto a su reproducción, Cuervo Andrade y otros (2014) resalta que esta lombriz es hermafrodita, es decir que en un mismo individuo tiene los dos sexos, sin embargo para la reproducción necesita dos individuos. La fertilización es cruzada y se realiza por la unión de los clitelos de dos lombrices, donde se realiza la cópula, cada 7 a 10 días, en donde los dos individuos quedan fecundados y producen huevos, llamados cocones o capullos; Estos huevos tienen forma de limón y contienen entre 2 y 12 lombrices, las cuales tardan 21 días en emerger.

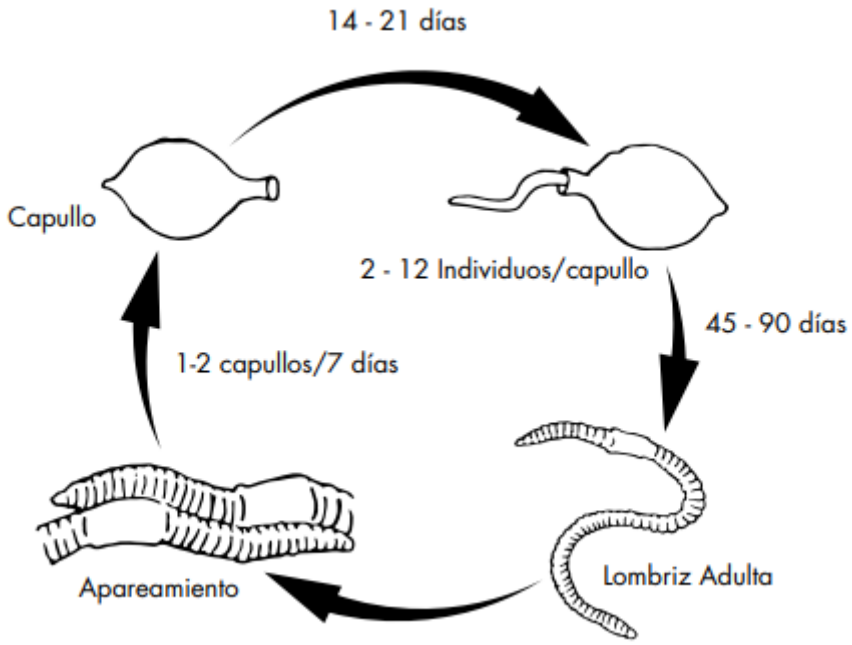


Ilustración 11. *Ciclo reproductivo de la lombriz roja californiana.* ***Fuente:*** *(Cuervo Andrade, y otros, 2014, pág. 45)*

BENEFICIOS DEL LOMBRICULTIVO

Según lo expuesto por Cuervo Andrade y otros (2014, pág. 42), algunos de los beneficios del compostaje por medio de lombrices o lombricultivo y el lombricompost son:

- Incorpora materia orgánica estabilizada al suelo.
- Mejora la estructura del suelo por medio de la agregación de materiales arenosos.
- Mejora la porosidad de materiales arcillosos en el suelo.
- Contiene enzimas y metabolitos que participan en la trasformación de la materia orgánica.
- Aumenta la porosidad del suelo, mejorando a su vez su aireación, permeabilidad y drenaje.
- Aumenta la retención de agua gracias a que el producto o lombricompost puede retener su propio peso en agua.
- Mejora el estado biológico del suelo gracias a su riqueza microbiológica.
- Mejora la eficiencia de las fertilizaciones químicas contribuyendo a la retención de nutrientes.
- El lombricompost posee hormonas, enzimas y metabolitos que estimulan el crecimiento y desarrollo de las plantas, proporcionándoles una fuente balanceada de nutrientes.

- Las lombrices actúan como vectores que dispersan microrganismos benéficos en el suelo que suprimen el desarrollo de aquellos que pueden causar enfermedades a la vegetación.
- Aumenta la capacidad de las plantas para resistir y tolerar ataques patógenos y plagas.
- Estimula la germinación de las semillas y el desarrollo de las plántulas debido a su alto contenido de nutrientes y hormonas vegetales.
- Libera nutrientes por mineralización de iones nitrógeno, fosforo y azufre, disponibles para la nutrición de las plantas.

Adicionalmente, estos autores también exponen que la lombricultura presenta las siguientes ventajas con respecto al compostaje:

- Demanda menos mano de obra.
- La infraestructura y control técnico son menores.
- El abono resultante tiene mejor calidad debido a la gran cantidad de microorganismos benéficos que aportan las lombrices.

MANEJO DEL LOMBRICULTIVO

PROCESO

Sepúlveda Villada & Alvarado Torres (2013, pág. 52) menciona que para implementar un sistema de aprovechamiento de residuos organicos mediante lombricultura los pasos son los siguientes:

1. **PREPARACIÓN DEL SITIO:**
   El lombricultivo puede hacerse por medio de canastillas o de camas y puede realizarse a libre exposición o bajo cubierta, con plástico en climas frio y medio o zafrán en climas cálidos:
   - Las canastillas se pueden iniciar con una sola e ir aumentando sucesivamente su número; es recomendable cubrir los lados de las canastillas para que no se salgan ni el humus ni las lombrices, para lo cual se puede usar cartonplast o cartón convencional que no presente ningún tipo de imprenta, ya que las tintas pueden afectar a las lombrices.
     Si se tiene un buen número de canastillas se recomienda distribuirlas por lotes y llevar el registro periódicamente con datos como fechas de

siembra, frecuencia de alimentación, fechas de cosecha y hacia donde fue el pie de cría.

* Para el caso de las camas, estas pueden tener una longitud de 10 a 12 metros o superior, pero se recomienda subdividirla; respecto al ancho, se recomienda usarlo de hasta 1,10 metros y si la cama es doble de 80 centímetros, con una altura de 40 centímetros para facilitar su manipulación.

  Si las camas son de libre exposición, se deben cubrir con un acolchado vegetal o plástico bien tupido para proteger el cultivo de agua o radiación solar.

  Para ambos casos es importante tener en cuenta el manejo de lixiviados.



Ilustraciones 12 y 13. *Canastillas y Camas para lombricultivo (respectivamente).* ***Fuente:*** *(Sepúlveda Villada & Alvarado Torres, 2013, pág. 53)*

2. **ADQUISICIÓN DEL PIE DE CRIA DE LAS LOMBRICES:**
   Se debe obtener lombrices californianas de lugares certificados.
3. **PREPARACIÓN DEL SUSTRATO**:
   Se recomienda que para el sustrato y la alimentación de la lombriz se usen residuos crudos, es decir, todos los residuos de frutas y verduras sin ningún tipo de cocción y de preferencia previamente compostado (de 5 a 10 días).
   Dicho sustrato se debe homogenizar para luego agregar una capa de por lo menos 5 cm a la canastilla o cama.

4. **SIEMBRA:**
   A cada canastilla se debe agregar un kilo de pie de cría de lombriz californiana; si se van a usar camas, se deben agregar de 7 a 10 kilos por metro cuadrado. Las lombrices se ponen encima del sustrato preparado y se deberán profundizar en menos de 2 minutos.

5. ALIMENTACIÓN:

Se deberán alimentar las lombrices con sustrato similar al de la siembra cada 8 a 10 días, dependiendo del estado del alimento y la velocidad con que es consumido; se disponen pequeñas capas de 5 a 8 cm.

El alimento debe permanecer húmedo para facilitar el consumo por parte de las lombrices.

Dentro de los alimentos que se pueden ofrecer a las lombrices tenemos los estiércoles de caballo o paca, papeles sin tinta o con tintas ecológicas, cartón sin pintura, frutas, vegetales, cascara de huevo, poda o corte de pasto y en general residuos orgánicos no cocidos. Es importante tener en cuente que aunque todas las lombrices puedan consumir frutas, incluso cítricos, el exceso de ellos puede causarles daño, para lo cual debe tenerse en cuenta que la mezcla inicial tenga una relación C:N adecuada.

Cuando este a rebosar la canastilla de residuos se deben someter las lombrices a un ayuno de 3 días, al cabo de los cuales se debe poner otra canastilla encima con nuevo alimento, para que las lombrices pasen a través de los orificios de la canastilla y se reinicie el proceso.

6. COSECHA:

Para obtener humus o lombricompost de óptima calidad se debe dejar la lombriz actuar de 3 a 4 meses en cada canastilla, de esta manera todo el alimento será procesado.

Para la cosecha, se retrasa nuevamente el alimento de las lombrices por un periodo de 3 días, se usa un costal con orificios grandes para ubicar encima de las canastillas llenas que se van a cosechar y sobre el costal se pone nuevo alimento, para que las lombrices migren al costal y se queden allí. Pasados 2 o 3 días, se pasan las lombrices con el sustrato a una nueva canastilla y el humus obtenido se lleva al proceso de secado que dura entre 3 a 5 días, dependiendo del clima.



Ilustraciones 14 y 15. *Cosecha del lombricompost.* ***Fuente:*** *(Sepúlveda Villada & Alvarado Torres, 2013, pág. 55)*

Es importante tener en cuenta que se va a generar un líquido sobrante o lixiviado el cual puede ser utilizado como biofertilizante ya que posee gran cantidad de microorganismos benéficos. Para mayor efectividad, este líquido debe ser utilizado varias veces para el riego, hasta obtener una textura poco espesa y coloración oscura.

7. SECADO

El lombricompost se debe extender sobre una superficie que no esté húmeda, puede ser sobre el piso o sobre un plástico, en donde se dejara el producto hasta que la humedad baje a 40%, posteriormente se tamiza de modo que solo pasen las partículas más finas, reincorporándose las más gruesas al proceso.

PARÁMETROS IMPORTANTES

Tabla 11. *Parámetros importantes en la lombricultura.*

PARAMETRO	DESCRIPCIÓN
Temperatura	Esta debe estar entre 10ºC y 25 ºC, teniendo cuidado de que no descienda por debajo de 7ºC y que no supere los 35ºC.
Humedad	El rango optimo esta entre 70 y 80%, humedades inferiores pueden dificultar el movimiento de las lombrices en el cultivo y causar la muerte de las lombrices debido a la dificultad de obtener oxigeno del agua. Por su parte, humedades superiores pueden ahogar a las lombrices debido a que ellas respiran por la piel, además de la posible atracción de vectores. Este parámetro es el más importante y debe ser medido diariamente, ya sea con un sensor de humedad digitar o manualmente por medio de la prueba del puño.

pH	Debe estar entre 6,5 y 7,5, valores de pH por debajo de 4,5 y por encima de 8,5 pueden causar la muerte del lombricultivo. Es importante verificar el pH del alimento suministrado. Este parámetro debe ser medido con frecuencia, ya que un pH ácido puede atraer vectores.
Luminosidad	Las lombrices son fotosensibles, por lo tanto se debe mantener el lombricultivo protegido de los rayos directos del sol.
Relación C:N	La relación optima del sustrato es de 30:1
Salinidad	Esta debe estar por debajo de 0,5%; es importante conocer el origen del alimento de las lombrices, ya que los residuos pueden contener altas concentraciones de sal, lo que puede afectar el desarrollo de las lombrices.
Contenido de amonio	Se recomienda que se mantenga por debajo de 0,5 mg/g. Una dieta rica en nitrógeno puede causar síndrome proteico, lo que puede matar a las lombrices,

Tomado de: (Cuervo Andrade, y otros, 2014, pág. 45)

Se propone el siguiente formato para monitorear el sistema de lombricultivo:

Tabla 12. *Formato de monitoreo del sistema de lombricultura.*

LOMBRICULTIVO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS EN LA FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES DE LA UDFJC (SEDE VIVERO)			UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Responsable		**Fecha y hora (dd/mm)**	
Número de lote o cama		**Fecha de siembra**	
PARÁMETRO		**OBSERVACIÓN**	
Temperatura			
Humedad			
pH			
Fecha de ultima alimetación			

BIBLIOGRAFÍA

Cuervo Andrade, J. L., Sandoval Duarte, Á., Martinez Ortiz, N., González Wilches, L. P., Torres, A. F., & Sanabria Pinzón, D. (2014). *Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura.* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia - Alcaldia Mayor de Bogotá.

FAO. (2013). *Manual de compostaje del agricultor.* Santiago de Chile: Oficina regional para América Latina.

Jones, P., & Martin, M. (2003). *A review of the literature on the occurrence and survival of pathogens of animals and humans in green compost.* Oxon: Health lfA.

Román, P., Martinez, M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de Compostaje del Agricultor - Experiencias en América Latina.* Santiago de Chile: Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Sepúlveda Villada, L. A., & Alvarado Torres, J. A. (2013). *Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos a traves de sistemas de compostaje y lombricultura en el Valle de Aburrá.* Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Yu, S., Clark, O. G., & Leonard, J. J. (2008). *Estimation of vertical air flow in passively aerayed compost in a cylindrical bioreactor.* Canadian Biosystems Engineering.