

# MANUAL TÉCNICO PARA LA PRODUCCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS

Dra. C. Elizabeth Peña Turruellas  
Dra. C. Miriam Carrión Ramírez  
Dr. C. Nelson Companioni Concepción  
Ing. Gustavo Rodríguez Rollero  
Ing. Francisco Martínez Rodríguez



**MA** MINAG  
MINISTERIO DE LA AGRICULTURA





# MANUAL TÉCNICO PARA LA PRODUCCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS



**MA** MINAG  
MINISTERIO DE LA AGRICULTURA

La Habana, 2020

La reproducción de este material ha contado con el apoyo de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en el marco del Programa “Impacto, resiliencia, sostenibilidad y transformación” (FIRST), cofinanciado por la Unión Europea. Su contenido es responsabilidad exclusiva del Gobierno cubano y no necesariamente refleja los puntos de vista de las organizaciones referidas.

Edición y corrección:  
Aldo R. Gutiérrez Rivera

Diseño:  
Luis Alonso

Fotos:  
Archivo de los autores

Segunda edición  
© Ministerio de la Agricultura (Minag), 2020  
© Elizabeth Peña Turruellas y coautores, 2002  
© INIFAT, 2002



Soberanía Alimentaria  
y Educación Nutricional  
Cuba

**Ministerio de la Agricultura  
(Minag)**

Conill esq. a Avenida Independencia,  
Plaza de la Revolución, La Habana,  
Cuba  
Tel.: (53) 78847186

## ÍNDICE

<b>Introducción</b>	<b>4</b>
<b>La materia orgánica. Generalidades</b>	<b>6</b>
Formación de la materia orgánica en los suelos	6
Estructura y fraccionamiento de la materia orgánica	7
Proceso de transformación de la materia orgánica	7
Importancia de la materia orgánica sobre las propiedades de los suelos	8
Métodos de estudio de los compuestos orgánicos de los suelos	9
Otros metodos	10
Algunas consideraciones sobre la interpretación de los resultados analíticos	10
<b>Abonos orgánicos. Generalidades</b>	<b>13</b>
Composición de los restos orgánicos	13
Compostaje. Generalidades	13
Proceso de compostaje	16
Principales parámetros de control en el proceso de compostaje	16
Aspectos microbiológicos del compostaje	19
Condiciones necesarias para el establecimiento de sistemas de compostaje	22
Consideraciones medioambientales para el compostaje	23
Sistemas de compostaje	24
Operaciones de compostaje	27
Evaluación de la madurez de un compost	30
Métodos para la elaboración de compost	33
<b>Lumbricultura. Generalidades</b>	<b>37</b>
La lombriz de tierra	37
El cultivo de la lombriz	42
Cosecha del humus y las lombrices	49
Ventajas de la lumbricultura	50
<b>Abonos líquidos</b>	<b>52</b>
Orina	52
Té de estiércol	52
<b>Cálculo de la disponibilidad de materia orgánica</b>	<b>53</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>54</b>

## INTRODUCCIÓN

La primera condición que se debe observar en cualquier sistema agrícola, la constituye la conservación de la fertilidad del suelo.

A través del tiempo, la naturaleza ha desarrollado varios mecanismos para manejar el suelo. Entre ellos se observa que crecen juntos, plantas con animales, desde los mamíferos hasta los invertebrados más rudimentarios. Es decir, que la diversidad prevalece y no se observan monoculturas.

También, el suelo se encuentra protegido de la acción directa del sol, la lluvia, el viento y la totalidad de la energía solar es utilizada. La naturaleza hace que se autofertilice, o sea, que elabore su propio humus, proveyéndose de elementos minerales, mediante la transformación de los restos de animales y vegetales por hongos y bacterias acumulados en la superficie del suelo. Otro mecanismo utilizado consiste en el bombeo, por las raíces, de elementos nutrientes hacia la superficie.

Todo esto indica que en los procesos naturales nada se pierde; existe un equilibrio entre los procesos de crecimiento y de desintegración, un reciclaje completo y bien engranado.

Ejemplo de una agricultura ancestral, imitadora de la naturaleza y que mantiene un equilibrio entre estos dos procesos, se encuentra en las prácticas del Oriente, donde las pequeñas “chacras” de la China, siempre cultivadas, mantienen su fertilidad después de 40 siglos de producción. Los antiguos campesinos chinos, desde tiempos remotos, descubrieron el efecto beneficioso de la orina y los residuos sólidos de los animales, y los aplicaban al suelo como



materia orgánica. Además, usaban un método tradicional de composteo, con restos de cosecha de leguminosas, turba y residuos animales, y después los aplicaban al suelo como un importante fertilizante.

Uno de los primeros reportes inscritos sobre el tema aparece en el Imperio Akkadian (alrededor de 2300 a.n.e.), un reino de Mesopotamia. Más tarde, en la *Odisea*, su autor, el griego Homero, describe el uso del residuo del ganado en la agricultura y explica cómo los ciudadanos de Atenas utilizaban sus desechos sólidos para fertilizar los campos y aplicarlos en sistemas de canteros.

Los romanos utilizaron el compost de diferentes materiales, abono que posteriormente se convirtió en parte fundamental de la agricultura europea.

Esta práctica también aparece en las escrituras de las civilizaciones árabes. De igual forma, en el *Talmud* se registra un mandato para manipular solamente aquellos compost que alcanzan su madurez.

Los colonizadores del Nuevo Mundo encontraron que, en América, sus pobladores colocaban un pescado junto a la semilla de maíz para que las plantas estuvieran provistas de nutrientes.

Hasta fines del siglo IX, antes de la llegada de los fertilizantes químicos, los campesinos usaban una variedad de desechos industriales y otros productos agrícolas, como fertilizantes, residuos urbanos y desechos de todo tipo. Sin embargo, a principios del siglo XX los fertilizantes

químicos cobraron tanta importancia como los orgánicos y llegaron a superarlos. Se constata que, en la lista de fertilizantes, de 1914, aparecían cincuenta y cinco tipos de fertilizantes orgánicos, mientras que en el reporte de 1979 no se mencionaba ninguno. En todo este siglo la revolución química ha avanzado rápidamente, pero algunos agricultores no olvidaron los beneficios de la materia orgánica.

Es precisamente el Programa Nacional de Agricultura Urbana Suburbana y Familiar en Cuba, donde se retoman estas prácticas basadas en los saberes que transmite la agroecología, y comienzan a desarrollarse en todo el país producciones de hortalizas y otros cultivos, en sustratos elaborados con mezcla de materia orgánica suelo y otros materiales en organopónicos, así como el enriquecimiento de suelos productivos y cultivos en canteros para la modalidad de huertos intensivos, modelando de esta forma sistemas sostenibles de producción de alimentos.

Este Programa orienta el reciclaje de los desechos, tanto animales como vegetales, en todas las unidades de producción de sus diferentes modalidades, y propicia el uso de los recursos propios en cada localidad, como un principio de la soberanía alimentaria.

En este libro se recogen algunos conceptos básicos, principios que deben seguirse y métodos prácticos para la elaboración de abonos orgánicos, proporcionando a los productores conocimientos necesarios para el reciclaje de desechos y el mantenimiento de la fertilidad en suelos y sustratos, lo que les permite la obtención de altos rendimientos.

## LA MATERIA ORGÁNICA. GENERALIDADES

La materia orgánica es uno de los factores más importantes para determinar la productividad de un suelo o sustrato en forma sostenida, por lo cual constituye el factor principal que garantiza el éxito en el manejo ecológico del suelo. Sin embargo, a pesar de su gran trascendencia, ha sido descuidada desde la década de 1950 cuando se intensificó el consumo de los fertilizantes sintéticos, que por su alto costo y elevada actividad de contaminación ambiental deben ser sustituidos cada vez más por la materia orgánica.

La materia orgánica representa la más importante reserva de carbono de la biosfera, y constituye la principal fuente de carbono y nitrógeno en los ecosistemas terrestres; de su conservación depende en gran medida la vida del planeta. Para conservarla es necesario dirigir el proceso de transformación de los restos orgánicos hacia la formación de sustancias húmicas estables y con ello disminuir la emisión de gases a la atmósfera, contribuyendo a atenuar el efecto invernadero y elevar la productividad de los ecosistemas terrestres.

La definición de materia orgánica comprende dos conceptos: materia orgánica y humus. La materia orgánica se define como todo material de origen vegetal o animal en proceso de descomposición y el humus como el producto final de ese proceso, el cual posee un alto peso molecular, formado por un núcleo central de compuestos aromáticos y cadenas laterales integradas por carbohidratos, así como cadenas alifáticas donde se ubican los grupos funcionales que le permiten comportarse como un "almacén" de nutrientes para evitar que estos se lixivien.

### Formación de la materia orgánica en los suelos

El suelo recibe una gran cantidad de restos orgánicos de diferentes orígenes. Entre ellos se encuentran los de plantas superiores, los cultivos agrícolas y, en menor escala, los residuos animales. Estos restos orgánicos llegan al suelo y se depositan en la superficie en forma

de hojas, ramas y flores, o quedan directamente atrapados en la masa del suelo como raíces.

En la superficie de los suelos forestales se acumula una capa de restos orgánicos conocida como mantillo. En los suelos de climas templados este horizonte puede llegar a tener de 10 t/ha a 70 t/ha, a pesar de recibir anualmente alrededor de 4 t/ha de restos vegetales. Sin embargo, los suelos forestales tropicales reciben de 100 t/ha a 250 t/ha al año y carecen de este horizonte orgánico que en todo caso puede alcanzar solamente 10 t/ha. Esto se debe a que en el trópico la acción de la fauna y la microflora del suelo es mucho más enérgica y se desarrolla con mayor actividad durante todo el año.

Se conoce que, en la cama de un metro de suelo, las raíces pueden pesar entre 8 t/ha y 20 t/ha, y que también el 100 % de la parte subterránea de las plantas anuales se renueva cada año, incorporándose sus restos al suelo, mientras que las herbáceas perennes renuevan nada más el 30 %. De igual forma sucede con los cultivos agrícolas anuales, los cuales dejan en el suelo pocas cantidades de restos vegetales, ya que la parte aérea se retira para su consumo. Esta situación produce un nuevo equilibrio dinámico de la materia orgánica en el suelo, disminuyendo su contenido y, por ende, la fertilidad potencial de este.

La biomasa total de los bosques fluctúa entre 50 t/ha en la Taigá y de 500 t/ha a 1 700 t/ha en los bosques tropicales y subtropicales. En los bosques de hojas anchas de estas últimas regiones caen de 0,5 a 4 veces más hojas que en los bosques de clima templado. Los suelos del subtrópico reciben de 4 a 8 veces más restos que sus similares meridionales.

Los niveles deseables de materia orgánica en los suelos de cultivo varían desde el 2 % en zonas áridas al 5 % y más en los valles fértiles. Teniendo en cuenta esto los científicos plantean que toma tiempo mantener o elevar el contenido de la materia orgánica en los suelos que son cultivados intensamente; además, estiman que esparciendo 25 t/acre de abono (61 t/ha), tomaría aproximadamente 20 años para la formación de la materia orgánica del suelo en un 1 %.



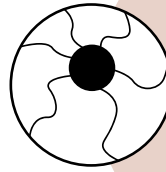
Resultados reportados para Cuba, señalan que en el transcurso de 12 meses se mineraliza el 50 % de los restos de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), mientras que la mineralización en el caso de los restos de plátano (*Musa paradisíaca*), maíz (*Zea mais*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y tabaco (*Nicotiana tabacum*) fue de un 100 % en igual período. La biomasa aérea de la vegetación herbácea varía entre 0,5 t/ha y 13 t/ha, en dependencia de la especie vegetal y la zona climática; su participación en el proceso de humificación es insignificante, ya que una gran parte de ella es consumida por los insectos y mamíferos herbáceos o es recogida por el hombre. Sin embargo, la parte subterránea es mucho más importante, y puede variar desde el 10 % del peso total de la planta hasta el 80 % o 90 % en las zonas climáticas más secas.

## Estructura y fraccionamiento de la materia orgánica

Los compuestos orgánicos, donde los nutrientes se encuentran fuertemente retenidos, son los que forman el cuerpo de los organismos vivos, así como productos de síntesis secundaria como el humus, mientras que los compuestos orgánicos en los cuales los elementos tienen mayor movilidad están representados por tres grupos:

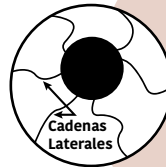
1. Humatos y Fulvatos. Compuestos de cationes (nutrimentales) en su combinación con los ácidos húmicos y fúlvicos.
2. Compuestos órgano-minerales representados por sales complejas resultantes del desplazamiento del ion H<sup>+</sup> de los cationes (nutrimentales), de la solución del suelo.
3. Compuestos orgánicos absorbidos y retenidos en la superficie de las partículas del suelo.

El fraccionamiento de la materia orgánica es un análisis que determina la calidad de la materia orgánica y permite evaluar su influencia en la fertilidad actual y potencial del suelo. Consiste en separar la materia orgánica no humificada y las sustancias húmicas, identificándose tres grupos: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas. Cada uno de ellos presenta características diferentes, de donde se deriva una influencia distinta sobre el suelo (figura 1).



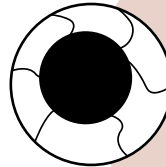
### ÁCIDOS FÚLVICOS

Poco polimerizados, núcleos pequeños y abundantes cadenas laterales, lo que los convierte en una fracción soluble en medio ácido y básico, con gran capacidad de reacción con los elementos minerales del suelo. Tienen alta movilidad, arrastrando consigo elementos minerales.



### ÁCIDOS HÚMICOS

Más polimerizados y complejos que los ácidos fúlvicos, con núcleos más grandes y cadenas laterales más pequeñas, solubles en medio básico y poca movilidad en el suelo.



### HUMINAS

Muy polimerizados condensados, cadenas laterales pequeñas, muy estables y núcleos muy poco móviles en el suelo.

Fig. 1 Compuestos principales del humus.

## Proceso de transformación de la materia orgánica

El proceso de transformación de la materia orgánica se clasifica en descomposición (degradación), humificación y mineralización. La biomasa que cae al suelo es sometida a un proceso de mineralización hasta CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y elementos minerales que son tomados por la planta, y un proceso contrario que es la humificación, donde ocurre una transformación en productos orgánicos complejos y estables, que constituyen la reserva orgánica de los suelos y que se conoce como humus. Del 70 % al 80 %

de los restos vegetales que caen al suelo se mineralizan, aportando de esta forma nutrientes a las plantas; de un 20 % a 30 % se convierten en humus (figura 2).



**Fig. 2** Proceso de transformación de la materia orgánica.

El humus es fuente directa de una serie de nutrientes que toman las plantas durante su crecimiento; además, su composición química permite establecer enlaces con algunos elementos, evitando la pérdida por lavado o por formación de compuestos insolubles.

Las sustancias húmicas son compuestos orgánicos coloidales de alto peso molecular y color oscuro, que contienen núcleos aromáticos más o menos esféricos, resultantes de la participación y condensación de compuestos fenólicos ligados entre sí por cadenas alifáticas (péptidos y polisacáridos) más o menos largas. El tamaño global de la molécula, el largo relativo de las cadenas, el tamaño de los núcleos y el número de grupos funcionales (sobre todo carboxílicos y fenólicos), determinan su grado de solubilidad e influencia sobre las propiedades del suelo.

El proceso de humificación comprende, como la suma de los fenómenos que provoca, la formación de distintos compuestos orgánicos, a partir de los productos de descomposición y alteración de restos vegetales y animales, así como del plasma microbiano.

### Importancia de la materia orgánica sobre las propiedades de los suelos

La aplicación de materia orgánica de forma sistemática al suelo es de trascendental importancia para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas de este, y buscar la sustentabilidad agrícola de nuestros sistemas productivos.

La influencia favorable de la materia orgánica en los suelos ha sido reconocida desde la Antigüedad y aún en nuestro siglo no ha perdido vigencia este concepto. Baste decir que se considera su presencia un factor distintivo entre el suelo y la corteza mineral.

#### Influencia sobre las propiedades físicas:

- Produce agregación en los suelos mejorando su estructura.
- Proporciona porosidad en los suelos arcillosos.
- Aumenta la permeabilidad hídrica y gaseosa.
- Mejora el balance hídrico.
- Regula la temperatura del suelo.
- Reduce la erosión.
- Reduce la evaporación.

**Influencia sobre las propiedades químicas:**

- Aumenta la capacidad de intercambio catiónico.
- Mantiene los microelementos y macroelementos potenciales alrededor del sistema radical de las plantas.
- Facilita la absorción de nutrientes por las plantas.
- Tiene efecto quelatante sobre el hierro, manganeso, zinc, cobre y otros microelementos.

**Influencia sobre las propiedades biológicas:**

- Estimula la microflora del suelo.
- Modifica la actividad enzimática.
- Favorece la respiración radical.
- Favorece la capacidad germinativa de las semillas.
- Mejora los procesos energéticos de las plantas.
- Favorece la síntesis de ácidos nucleicos.
- El CO<sub>2</sub> desprendido favorece la solubilización de compuestos minerales.

La materia orgánica actúa como un “amortiguador”, regulando la disponibilidad de nutrientes, según las necesidades de las plantas. Por ejemplo, en suelos ácidos impide

la fijación del fósforo y neutraliza el efecto tóxico del aluminio.

Esta es muy importante en los trópicos por su propiedad tampón o amortiguadora (*buffering*) de los nutrientes. La disminución de los niveles de materia orgánica en el suelo implica la disminución de los nutrimentos disponibles para las plantas.

**Métodos de estudio de los compuestos orgánicos de los suelos**

**Método Cualitativo**

El Método Cualitativo se lleva a cabo en el campo, a simple vista o con lupa, en el perfil o en muestras simples. Permite identificar los restos orgánicos y, por ende, determinar los horizontes; se puede observar, además, el grado de incorporación de la materia orgánica, tipo ecológico de humus, etcétera.

**Método Cuantitativo**

También es posible realizar observaciones en microscopio polarizante con láminas delgadas o microscopio electrónico de barrido, lo cual permite identificar los restos orgánicos y la parte mineral a diferentes escalas (figura 3). Este método incluye diferentes vías.

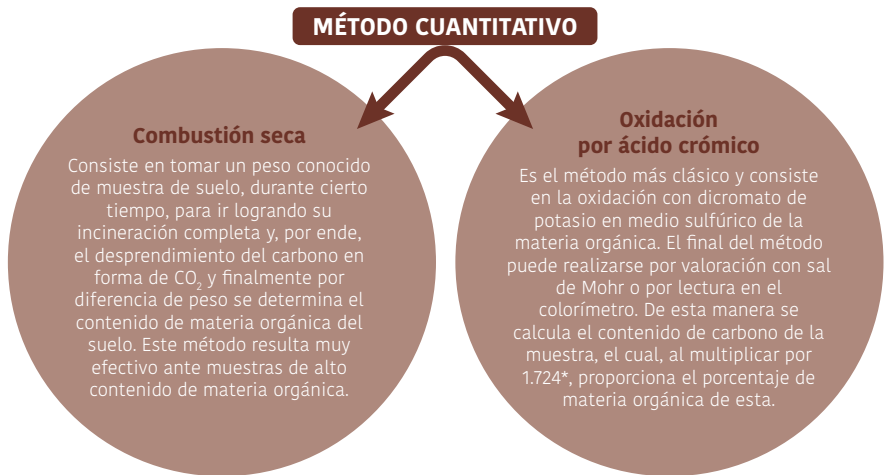


Fig. 3 Método Cuantitativo.

\* El factor 1.724 responde a que la materia orgánica del suelo posee un 58 % de carbono.

## Otros métodos

Para algunos estudios de suelo no basta con conocer el contenido de materia orgánica total, sino que es necesario conocer la calidad de esta para poder evaluar su influencia sobre la fertilidad actual y el potencial del suelo.

Así, se realiza el fraccionamiento de la parte orgánica del suelo, con lo cual se separan la materia orgánica no humificada y las sustancias húmicas. De esta forma se identifican tres grupos de compuestos: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas.

Este fraccionamiento se realiza por varios procedimientos, siendo el más común el método de Kononova-Belchikova, donde se extraen las sustancias húmicas con una solución de pirofosfato de sodio pH-12, bloqueándose el calcio y otras bases para liberar las sustancias húmicas en forma de humato de sodio; luego, por acidificación del medio, se separan los ácidos fúlvicos de los húmicos. El carbono se determina mediante el secado de una alícuota de la solución, y la oxidación con dicromato en medio ácido y valoración con sal de mohr. Las huminas se determinan por diferencia con el contenido de carbono total del suelo. Este método resulta sencillo y es muy utilizado en la práctica cotidiana.

Cuando se trata de estudios más profundos y detallados se utilizan otros métodos de fraccionamiento más complejos, en general se basan en extracciones sucesivas. El Método de Tiurin realiza la separación según su unión con diferentes elementos del suelo (Ca, Mg, Fe, Al y otros), obteniendo tres fracciones de ácidos húmicos y fúlvicos ligados al Fe y Al, al Ca y Mg y a las arcillas sesquioxídicas. En los ácidos fúlvicos se obtiene además una fracción libre.

En algunos casos, para estudios más específicos, se realiza análisis químico elemental, donde se determinan los principales componentes elementales en los ácidos húmicos (C, N, O, H y S), así como técnicas electroforéticas que permiten separar los componentes por su movimiento, al aplicar una diferencia de voltaje. Las fracciones que se obtienen son: ácidos húmicos pardos que migran al cátodo

y ácidos húmicos grises que migran poco al tener menor relación carga superficial /masa.

En los años 1970 comienza a emplearse el Método de Análisis Degradativo, que incluye: hidrólisis ácida y alcalina, degradación oxidativa, degradación reductiva, pirólisis y espectrofonometría de masa. Sus resultados deben interpretarse con precaución por las alteraciones que puedan tener lugar durante la degradación, mediante ella se identifican monómeros y se pueden proponer modelos estructurales del polímero del cual procede. Es una técnica que promete en especial para compuestos de elevado peso molecular.

También pueden utilizarse métodos de análisis no degradativos, como la Espectroscopía Ultravioleta y Visible, la cual permite identificar sustancias húmicas, y consiste en definir un índice de color entre la absorción a 465 nm y 665 nm; esta relación es menor cuando mayor es el grado de condensación, mayor el peso y hay más abundancia de sustancias aromáticas.

La Espectroscopía Infrarroja (IR) permite identificar grupos funcionales (grupos OH, enlaces C-H, amidas C=C, grupos quinónicos C=O), para sustentar las hipótesis sobre los compuestos en los que pueden encontrarse distintas fracciones resultantes del fraccionamiento y así poder comparar sustancias húmicas procedentes de distintos suelos. Los espectros IR resultan complejos y difíciles de interpretar.

La Espectroscopía de Resonancia Magnética Nuclear (NMR) está considerada la técnica más útil. Permite identificar componentes y estructuras en muestras de suelo sin pretratamiento, ni necesidad de realizar extracciones. Además, existen los métodos de cromatografía, que pueden ser en gel o en líquido-gas, se utilizan para fraccionar según tamaño molecular y son relativamente sencillos.

## Algunas consideraciones sobre la interpretación de los resultados analíticos

Para lograr una adecuada interpretación de los resultados es necesario tener en cuenta que la calidad de los productos de transformación

de los restos orgánicos, dependerá de las condiciones en que se desarrolle el proceso de humificación. Si este proceso se produce en un medio biológicamente inactivo, donde no exista abundancia de elementos estabilizadores de humus (arcillas del tipo 2:1 y de bases como Ca, Mg, etc.), es lógico esperar la formación de compuestos orgánicos poco polimerizados, muy móviles y agresivos (ácidos fúlvicos), capaces de acomplejar una cantidad considerable de elementos, movilizarlos y arrastrarlos a través del perfil del suelo. Esas formas predominan en las condiciones de Cuba, en los suelos ferralíticos, ferríticos, pardos sin carbonatos y otros ácidos y pobres en base.

Cuando este proceso se desarrolla en un medio biológicamente activo, o sea, donde exista abundancia de sustancias estabilizadoras del humus, las sustancias orgánicas que se forman son más estables y polimerizadas, y menos móviles. En los suelos de Cuba con abundantes contenidos de base y arcilla del tipo 2:1 predominan las formas más complejas y estables de los ácidos húmicos. Esto demuestra la relación que existe entre las características heredadas de la roca formadora del suelo y la composición del humus formado.

Se puede afirmar que la cantidad y el tipo de materia orgánica del suelo presenta una variabilidad espacial importante de unos ecosistemas a otros, e incluso dentro de ellos, tanto vertical como horizontal, pues el retorno anual de residuos orgánicos estará en función de la zona climática, el tipo de vegetación y el uso del territorio.

La materia orgánica, por su modo de incorporación, se halla generalmente en la superficie del suelo, distribuyéndose más o menos de manera uniforme con la profundidad, en correspondencia con las posibilidades de traslocación, las que dependen del tipo de vegetación, la naturaleza de la biomasa aportada, el complejo órgano metálico a que dé lugar y el régimen de humedad del suelo.

En los suelos mal drenados la velocidad de mineralización es lenta, por lo que presentarán contenidos de materia orgánica mayores que los suelos bien drenados. Cuando está

en cultivo periódico se produce una aceleración de la mineralización, de forma que la materia orgánica preexistente disminuye exponencialmente.

Según el predominio de una u otra fracción, los suelos, por convención, se denominan: fulváticos, humínicos y humáticos.

Los suelos de Cuba ferralíticos y ferríticos presentan un humus de tipo fulvático-humínico; en los suelos tipos húmicos carbonáticos, el humus se clasifica como humático-humínico; en los pardos sin carbonatos se conoce como fulvático-humínico y en los oscuros plásticos pueden ser humínico-humático o humático-humínico, según sea el proceso de humificación. A continuación, se presentan algunos criterios evaluativos de la calidad del humus, que son de gran interés en los estudios edafogenéticos y en el manejo de los suelos.

#### **Relación ácido húmico: ácido fúlvico (AH: AF)**

Esta relación caracteriza el grado de humificación de la materia orgánica del suelo.

En suelos cubanos esta relación está asociada a las características del suelo, heredadas de la roca madre (contenido de hierro, bases, tipo de arcilla, etc.). Así, por ejemplo, en suelos ferralíticos esta relación presenta valores inferiores a 1, mientras que en suelos con arcilla 2:1 y oscuros, esta relación es superior a 1, pudiendo en ocasiones llegar a 2, como sucede en algunos suelos oscuros plásticos.

#### **Relación E4:E6**

Indica el grado de complejidad del humus del suelo. Esta relación se obtiene al medir y relacionar la densidad óptica de los extractos de sustancias húmicas a las longitudes de onda de 465 nm (E<sub>4</sub>) y de 665 nm (E<sub>6</sub>). Esta relación resulta menor, según las sustancias orgánicas del suelo sean menos complejas. En las condiciones de los suelos de Cuba el valor de esta relación cambia con el grado de desarrollo del suelo, por ello, en suelos como los ferralíticos esta relación es alta (mayor de 5), mientras que en suelos poco desarrollados resulta inferior a 5.

#### **Relación C:N**

Esta relación define el grado de transformación de las sustancias orgánicas; resulta

muy estable para cada suelo, variando solo en dependencia del uso que este tenga. Una relación C:N alta significa inmovilización de nitrógeno, mientras que una relación baja es índice de mineralización de la materia orgánica y del nitrógeno que contiene.

En condiciones naturales los suelos de Cuba, como promedio, presentan una relación C:N de 10 a 15 en el horizonte A. Sin embargo, aunque cada tipo genético posee un valor característico, los suelos pardos con carbonatos tienen un valor promedio de 11,0, los pardos grisáceos 11,9, los ferralíticos pardo rojizos 9,7, etcétera.

En suelos sujetos al proceso de erosión pueden presentarse grandes variaciones del valor de la relación y el contenido de carbono, aun dentro del mismo tipo genético de suelos. Estas fluctuaciones están determinadas en parte, por el proceso erosivo que deja al descubierto horizontes inferiores con contenidos de carbono y relación C:N menores; y en otra,

porque ocurre el proceso opuesto cuando en el suelo, al ser abandonado para su uso agrícola, se instala una abundante vegetación arbustiva de pobre calidad, que incorpora al suelo restos ricos en ligninas. La actividad biológica es baja debido al poco poder de almacenamiento de agua y, por esta razón, se acumula en la superficie un humus con relación C:N más alta y un contenido de carbono modesto.

La relación C:N disminuye según se profundiza en el perfil, lo que es motivado por varias causas, como son: una mayor cantidad en la superficie de restos vegetales parcialmente humificados y, por consiguiente, con una relación C:N más alta, y a la migración en profundidad de compuestos nitrogenados inorgánicos y orgánicos, mientras que los compuestos humosos que contienen al carbono tienen una movilidad más restringida.

La relación ponderal C:N se calcula tomando como base los contenidos de C y N en porcentaje, reportados por los análisis de suelo.

## ABONOS ORGÁNICOS. GENERALIDADES

Durante muchos años los abonos orgánicos fueron la única fuente utilizada para mejorar y fertilizar los suelos. Primero en sus formas simples, como son los residuos de origen vegetal y animal, y después en sus formas más elaboradas, como compost y otros.

Con el desarrollo de la industria y la producción de los fertilizantes químicos, al finalizar la Segunda Guerra Mundial en 1945, el uso de los fertilizantes químicos prevaleció en el orbe, especialmente en la producción agrícola intensiva, ocasionando deterioro en los suelos y contaminación del medio ambiente, lo que preocupó a todos. Actualmente se realizan acciones para lograr la producción de alimentos por medio del establecimiento y desarrollo de la agricultura sostenible, donde la utilización de abonos orgánicos, abonos verdes y la rotación adecuada de las cosechas, constituyen la base para la sustitución de fertilizantes químicos, proporcionar al suelo los elementos que necesitan las plantas y mantener el equilibrio ecológico.

Las condiciones de altas temperaturas y humedad crean un medio favorable para mantener permanentemente un fuerte proceso de mineralización de la materia orgánica, con pérdida de gran parte de los productos obtenidos a causa del arrastre de las lluvias o de su lavado hacia capas inferiores del perfil del suelo, hasta profundidades inalcanzables por las raíces de las plantas.

No es posible lograr sostenibilidad en la agricultura, si no se tiene como base fundamental la fertilidad del suelo, que propicia no solo mayores rendimientos, sino también disminución en las labores agrotécnicas que se deben practicar, incluyendo menor necesidad de riego por su mayor capacidad de retención de agua, y eliminación de aplicación de productos fitosanitarios al mantener a las plantas en mejores condiciones para contrarrestar la posible incidencia de plagas y enfermedades.

Alcanzar la mayor eficiencia en el uso de todo tipo de materia orgánica que puedan ser

procesadas como abonos orgánicos para su aplicación al suelo, constituye una tarea de primer orden para productores, funcionarios y científicos, que de una u otra forma intervienen en el proceso de producción agrícola.

El abono orgánico es un producto natural resultante de la descomposición de materiales de origen vegetal, animal o mixtos, que tiene la capacidad de mejorar la fertilidad del suelo y por ende la producción y productividad de los cultivos.

### Composición de los restos orgánicos

Los tejidos vegetales vivos están constituidos por un 75 % de agua y un 25 % de materia seca, formada a su vez por un 10 % de componentes minerales, siendo el resto componentes orgánicos.

Los componentes orgánicos de los tejidos son: oxígeno, que constituye el 90 %, seguido de nitrógeno, azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, y una serie de elementos que las plantas requieren en cantidades muy pequeñas y constituyen los microelementos o micronutrientes.

Todos los vegetales están constituidos, en orden de importancia decreciente, por hidrógeno, carbono y elementos químicos, que se hayan integrados en estructuras como carbohidratos y proteínas, fácilmente hidrolizables; ligninas, lípidos, ceras y resinas, de difícil descomposición; y los compuestos fenólicos; además, contiene pigmentos, vitaminas, fermentos, ácidos orgánicos de baja masa molecular y elementos de cenizas. De esta forma, al suelo se incorpora una mezcla de compuestos orgánicos de diferente naturaleza bioquímica, los cuales difieren por su resistencia a la descomposición microbiana.

### Compostaje. Generalidades

La elaboración de compost, que también se conoce como biotierra, no es una práctica nueva, pues se elabora desde hace siglos en Asia. Resulta una técnica relativamente simple, que puede ser aplicada en cualquier lugar donde originen desechos orgánicos, ya que no es más que la elaboración de humus

fuera del suelo. Así, los desechos orgánicos se transforman en un biofertilizante de alta calidad nutritiva y mejorador de las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo.

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

Es decir, el compostaje es una técnica de estabilización y tratamiento de residuos orgánicos biodegradables. El calor generado durante el proceso (fase termófila) va a destruir las bacterias patógenas, huevos de parásitos y muchas semillas de malas hierbas que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar a un producto higienizado.

La elaboración de compost es el resultado de una actividad biológica compleja, que se realiza en condiciones particulares, por lo que no resulta de un único proceso. Es en realidad, la suma de una serie de procesos metabólicos complejos procedentes de la actividad integrada de un conjunto de microorganismos. Los cambios químicos y especies involucradas en este varían de acuerdo a la composición del material que se quiere compostar. El producto obtenido al final de un proceso de compostaje recibe el nombre de compost y posee un importante contenido en materia orgánica y nutrientes, pudiendo ser aprovechado como abono orgánico o como sustrato.

### **Ventajas del compostaje**

Desde el punto de vista ecológico e industrial las ventajas del compostaje se manifiestan en la eliminación y el reciclado de muchos tipos de residuos, solventando los problemas que ocasionaría su vertido, y en la obtención de materiales apropiados para su uso en la agricultura. En este último sentido se persigue aumentar la similitud entre la materia orgánica de los residuos y el humus de los suelos, eliminar los posibles productos tóxicos que puedan permanecer en los residuos por la descomposición incompleta de los materiales,

y aumentar la estabilidad biológica o resistencia a la biodegradación, con lo que se resuelven o atenúan los efectos desfavorables de la descomposición de los restos orgánicos sobre el propio suelo.

### **Beneficios del uso del compost**

Entre los beneficios del compost se incluyen:

- **Acondicionamiento del suelo:** la utilización del compost como enmienda orgánica o producto restituidor de materia orgánica en los terrenos de labor, tiene un gran potencial e interés en Cuba, ya que la presencia de esta materia orgánica en el suelo, en proporciones adecuadas, es fundamental para asegurar la fertilidad y evitar la desertificación a largo plazo.
- **Mejora las propiedades físicas del suelo:** la materia orgánica contribuye favorablemente a mejorar la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola (serán más permeables los suelos pesados y más compactos los ligeros), aumenta la permeabilidad hídrica y gaseosa, y contribuye a aumentar la capacidad de retención hídrica del suelo, mediante la formación de agregados.
- **Mejora las propiedades químicas:** la materia orgánica aporta macronutrientes N, P, K y micronutrientes, y mejora la capacidad de intercambio de cationes del suelo. Esta propiedad consiste en absorber los nutrientes catiónicos del suelo, poniéndolos más adelante a disposición de las plantas, evitándose de esta forma la lixiviación. Por otra parte, los compuestos húmicos presentes en la materia orgánica forman complejos y quelatos estables, aumentando la posibilidad de ser asimilados por las plantas.
- **Mejora la actividad biológica del suelo:** la materia orgánica del suelo actúa como fuente de energía y nutrición para los microorganismos presentes en el suelo. Estos viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización. Una población microbiana activa es índice de fertilidad de un suelo. Tanto el compost como los estiércoles son buenos acondicionadores del suelo con valor fertilizante. Normalmente el estiércol que se añade al suelo directamente, proporciona calidades comparables a las que se alcanzaría con el compost.



- Disminuye los riesgos de contaminación y malos olores: en la mayoría de las granjas, el estiércol es más un residuo que un sub-producto con valor añadido. Los principales inconvenientes son los olores y la contaminación por nitratos. El compostaje puede principalmente disminuir estos problemas.
- Destruye los patógenos: la destrucción de patógenos durante la fase termófila permite la utilización no contaminante del abono orgánico. En la tabla 1 se recoge la temperatura y el tiempo necesarios para la destrucción de algunos de los patógenos y parásitos más comunes, que pueden estar presentes en el residuo que se va a compostar.

Sin embargo, el acondicionamiento del suelo no justifica por sí solo hacer compost a partir de estiércol. Hay beneficios complementarios por la utilización de compost, como es que convierte el contenido del nitrógeno que tienen los estiércoles en una forma orgánica más estable. Por tanto, esto produce unas menores pérdidas de nitrógeno, el cual permanece en forma menos susceptible de lixiviarse y, por tanto, de perder amoníaco. Además, el calor

generado mediante el proceso de compostaje reduce la viabilidad de las semillas que pudieran estar presentes en el estiércol.

**Materiales que se deben utilizar para la elaboración de compost**

La obtención de un buen compost depende fundamentalmente de la composición y preparación de la materia orgánica de partida. Esta puede experimentar variaciones en función de diversos factores del proceso de compostaje, maduración, y del proceso final (refinado y depuración).

Como materia compostable puede utilizarse cualquier producto orgánico fermentable. La clasificación de los residuos compostables se puede realizar en base a distintos criterios.

Residuos provenientes de la actividad ganadera:

- Estiércoles.
- Orines.
- Pelos y plumas.
- Huesos.

**Tabla 1.** Temperatura y tiempo de exposición necesario para la destrucción de los parásitos y patógenos más comunes (Golueke, 1972)

Organismo	Temperatura y tiempo de exposición
<i>Salmonella typhosa</i>	Se elimina rápidamente en el montón de compost. Es suficiente de 30 min a 55 min a 60 °C para su eliminación. No se desarrolla a temperaturas superiores a 46 °C.
<i>Salmonella sp.</i>	Se destruye al exponerse 1 h a 55 °C o de 15 a 20 min a 60 °C.
<i>Shigella sp.</i>	Se destruye al exponerse 1 hora a 55 °C.
<i>Escheirchia coli</i>	La mayoría mueren con una exposición de 1 h a 55 °C o de 15 min a 20 min a 60 °C.
<i>Taennia saginata</i>	Se elimina en unos pocos minutos a 55 °C.
Larvas de <i>Trichinella spiralis</i>	Mueren rápidamente a 55 °C e instantáneamente a 60 °C.
<i>Bruceella abortus</i>	Se elimina con exposiciones entre 62 °C y 63 °C durante 3 min o a 55 °C durante 1 h.
<i>Micrococcus pyogenes var. aureus</i>	Muere después de 10 min de exposición a 50 °C.
<i>Streptococcus pyogenes</i>	Muere después de 10 min a 54 °C.
<i>Mycobacterium tuberculosis var. Hominis</i>	Muere después de 15 min a 20 min a 66 °C o instantáneamente a 67 °C.
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	Se elimina por exposición durante 45 min a 55 °C.
Huevos de <i>Ascaris lumbricoides</i>	Mueren en menos de 1 h a temperaturas superiores a 55 °C.

Residuos provenientes de la actividad agrícola (figura 4):

- Rastrojos de los cultivos.
- Residuos de podas de árboles y arbustos.
- Residuos de malezas.



Fig. 4 Residuos de cosecha.

Residuos provenientes de la actividad forestal:

- Aserrín.
- Hojas y ramas.
- Cenizas.

Residuos provenientes de la actividad industrial:

- Pulpa de café.
- Bagazo de la caña de azúcar.
- Cachaza.

Residuos provenientes de la actividad urbana:

- Basura doméstica.
- Aguas residuales.

Los residuos sólidos urbanos (RSU), lodos de depuradora, residuos agroindustriales y ganaderos, contienen una gran cantidad de materia orgánica que puede ser usada con fines agrícolas. Algunos de estos residuos requieren que la fracción orgánica sea separada de los materiales inertes, como es el caso de los RSU. Otros requieren una reducción de tamaño y en algunos casos un acondicionamiento químico biológico antes de su incorporación al suelo.

### Proceso de compostaje

El compostaje es un proceso donde ocurre una serie de biotransformaciones oxidativas

similares a las que tienen lugar en el suelo, que actúan sobre la materia orgánica, mineralizando la fracción más fácilmente asimilable por los microorganismos y humificando los compuestos más difícilmente atacables. El resultado final es la obtención de un compuesto parcialmente mineralizado y humificado, que puede sufrir mineralizaciones posteriores más lentas una vez que sea incorporado al suelo.

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

El compostaje espontáneo de la materia orgánica se produce en la naturaleza. Sin embargo, para que el compostaje de residuos sea adecuado para su desarrollo industrial debe adaptarse a requisitos básicos, como ser rápido, tener bajo consumo de energía, garantizar la calidad del producto final, la higiene de producción, etc. Entonces, el proceso debe ser cuidadosamente controlado, atendiendo a los siguientes parámetros de operación: composición de materia prima, temperatura, humedad, aireación, relación C/N y pH. Finalizada la etapa de compostaje y maduración del compost obtenido se lleva a cabo un procesado final en el que se controla la granulometría y la presencia de material inerte.

### Principales parámetros de control en el proceso de compostaje

En el proceso de compostaje, el principio básico más importante es el hecho de que se

trata de un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos y, por tanto, tiene todas las ventajas y limitaciones de este tipo de proceso. Según esto, los factores que afectan a los microorganismos son los que requieren mayor control a lo largo del proceso. Entre estos factores están: temperatura, aireación, contenido en humedad, pH, factores nutricionales y relación C/N.

### Temperatura

Durante el proceso de compostaje la temperatura varía dependiendo de la actividad metabólica de los microorganismos. De acuerdo con este parámetro, el proceso de compostaje se puede dividir en cuatro etapas: mesófila, termófila, enfriamiento y maduración (figura 5).

La temperatura se debe controlar, ya que, por una parte, las temperaturas bajas suponen una lenta transformación de los residuos, prolongándose los tiempos de retención, y, sin embargo, las temperaturas elevadas determinan la destrucción de la mayor parte de los microorganismos (pasteurización), fenómeno que solo debe permitirse al final del compostaje, para asegurar la eliminación de patógenos.

### Aireación

Es un factor importante en el proceso de compostaje y, por tanto, un parámetro que se debe controlar. Como ya se ha comentado, el proceso de compostaje es aerobio, por lo que se necesita la presencia de oxígeno para el

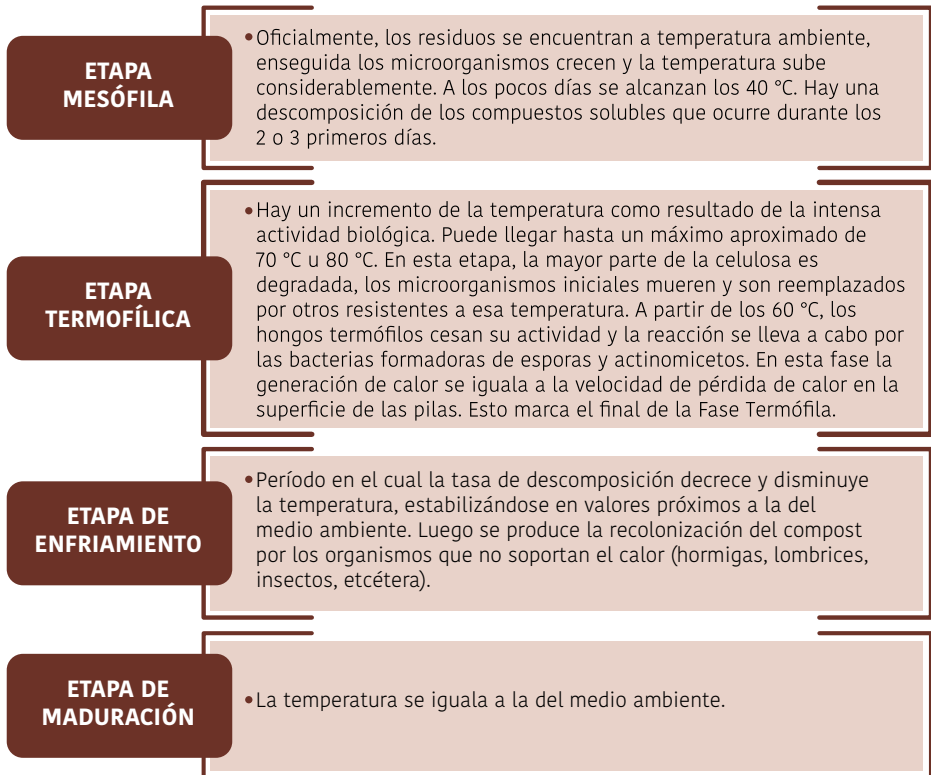


Fig. 5 Etapas del proceso de compostaje, según el parámetro temperatura.

desarrollo adecuado de los microorganismos. La aireación tiene un doble objetivo: aportar el oxígeno suficiente a los microorganismos y permitir al máximo la evacuación del dióxido de carbono producido. La aireación debe mantenerse en unos niveles adecuados, teniendo en cuenta además que las necesidades de oxígeno varían a lo largo del proceso, siendo bajas en la fase mesófila, alcanzando el máximo en la fase termófila y disminuyendo de nuevo al final del proceso.

La aireación no debe ser excesiva, puesto que pueden producir variaciones en la temperatura y en el contenido en humedad. Así, por ejemplo, un exceso de ventilación podría provocar evaporación que inhibiría la actividad microbiológica hasta parar el proceso de compostaje. Esto podría dar la impresión de que el proceso ha concluido. Por otra parte, el exceso de ventilación incrementaría considerablemente los gastos de producción.

### Humedad

La humedad es un factor muy relacionado con la aireación. Los microorganismos necesitan agua como vehículo para transportar los nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular. La humedad óptima (figura 6) se puede situar alrededor del 55 %,



Fig. 6 Riego para mantener la humedad del compost.

aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje. Si la humedad disminuye demasiado, disminuye la actividad microbiana, con lo cual el producto obtenido será biológicamente inestable. Si la humedad es demasiado alta, el agua saturará los poros e interferirá la distribución del aire a través del compost. En procesos en los cuales los principales componentes sean sustratos, tales como: aserrín, astillas de madera, paja y hojas secas, se necesita una mayor humedad, mientras en materiales como los residuos de alimentación, etc., la humedad necesaria es mucho menor.

### pH

Durante el proceso de compostaje se producen diferentes fenómenos o procesos que hacen variar este parámetro. Al principio, y como consecuencia del metabolismo, fundamentalmente bacteriano que transforma los complejos carbonados de fácil descomposición en ácidos orgánicos, el pH desciende; seguidamente, el pH aumenta como consecuencia de la formación de amoníaco, alcanzando el valor más alto (8,5) y coincidiendo con el máximo de actividad de la fase termófila. Finalmente, el pH disminuye en la fase final o de maduración (entre 7 y 8), debido a las propiedades naturales de amortiguador o tampón de la materia orgánica.

### Factores nutricionales

Con respecto a los factores nutricionales, el carbono es utilizado por los microorganismos como fuente de energía y el nitrógeno para la síntesis de proteínas. Las dos terceras partes del carbono son quemadas y transformadas en  $\text{CO}_2$  y la restante entra a formar parte del protoplasma celular de los nuevos microorganismos para la producción de proteínas. Además, se necesita la absorción de otros elementos, entre los cuales el más importante es el nitrógeno y en menor cantidad el fósforo y el azufre. Las formas de carbono más fácilmente atacables por los microorganismos son los azúcares y las materias grasas. Casi la totalidad del nitrógeno se encuentra en forma orgánica, de donde debe ser extraído o modificado por los microorganismos para poder ser utilizado por estos.

### Relación C/N

La relación C/N de la masa que se va a compostar es un factor importante para controlar

y obtener una fermentación correcta con un producto final de características adecuadas. A medida que transcurre el compostaje, esta relación se hace cada vez menor.

La relación óptima C/N inicial está comprendida entre 25 y 35. Si es superior a 35, el proceso de fermentación se alarga considerablemente hasta que el exceso de carbono es oxidado y la relación C/N desciende a valores adecuados para el metabolismo. Si es inferior a 25 se producen pérdidas considerables de nitrógeno en forma de amoníaco.

Cuando la relación C/N es elevada se podrá hacer descender artificialmente, ya sea quitando celulosa, es decir, reduciendo el carbono o aumentando el contenido de nitrógeno, por ejemplo, con adición de alguna fuente nitrogenada como estiércol de pollo o productos o subproductos de origen animal, si el compost es para agricultura ecológica.

## Aspectos microbiológicos del compostaje

El compostaje, como ya se ha mencionado, es un proceso dinámico en el que se produce una serie de cambios físicos y químicos, debido a la sucesión de complejas poblaciones microbianas. La naturaleza y el número de microorganismos presentes en cada etapa dependen del material inicial.

Al comienzo del compostaje el material se encuentra a temperatura ambiente y la flora mesófila presente en los materiales orgánicos empieza a desarrollarse, utilizando los hidratos de carbono y las proteínas más fácilmente asimilables. La hidrólisis y asimilación de polímeros por los microorganismos es un proceso relativamente lento, por tanto, la generación de calor disminuye hasta alcanzar la temperatura ambiente, alrededor de los 40 °C, y los organismos mesófilos (actinomicetos, hongos y bacterias mesófilas) reemprenden su actividad.

La intensa actividad metabólica de estos organismos, fundamentalmente hongos y bacterias, provocan la elevación de la temperatura en el interior de la masa en compostaje. Al aumentar la temperatura empiezan a proliferar bacterias y sobre todo hongos termófilos,

que se desarrollan desde los 40 °C hasta los 60 °C. Estas especies empiezan a degradar la celulosa y la lignina, con lo cual la temperatura sube hasta los 70 °C, apareciendo poblaciones de actinomicetos y bacterias formadoras de esporas. Durante varios días se mantiene a esta temperatura, en una fase de actividad biológica lenta, en la que se produce la pasteurización del medio. Aunque la celulosa y la lignina a estas temperaturas se atacan muy poco, las ceras, proteínas y hemicelulosas se degradan rápidamente.

Cuando la materia orgánica se ha consumido, la temperatura empieza a disminuir (el calor que se genera es menor que el que se pierde) y las bacterias, fundamentalmente los hongos mesófilos, reinviden el interior del compost, utilizando como fuente de energía la celulosa y la lignina residuales.

Como consecuencia de las elevadas temperaturas alcanzadas durante el compostaje se destruyen las bacterias patógenas y los parásitos presentes en los residuos de partida.

Un aspecto que ha sido ampliamente discutido es el posible interés de inocular las pilas de compostaje con microorganismos, para facilitar o mejorar la evolución de un compost. Los estudios realizados en este sentido parecen indicar que la inoculación no produce grandes mejoras, y raramente los microorganismos son un factor limitante, ya que cuando las condiciones ambientales son las adecuadas estos se encuentran de forma natural en el material que se desea compostar y están más adaptados que aquellos preparados en el laboratorio.

## Materiales iniciales

Los ingredientes para el compostaje suelen ser subproductos orgánicos o materiales residuales. Es raro que un solo material residual tenga todas las características requeridas para un compostaje eficaz. Por tanto, es necesario mezclarlo con otros diferentes en proporciones adecuadas, para obtener una mezcla con las características que permitan realizar el proceso de compostaje.

En la tabla 2 se muestran las características deseables de la mezcla de materiales de partida para llevar a cabo el compostaje.

**Tabla 2.** Índice adecuado para materiales de partida

	Rango razonable	Rango preferido
Relación C/N	20 a 40	25 a 30
Contenido en humedad	40 % a 65 %	50 % a 60 %
pH	5,5 a 9	6,5 a 8,5

Aunque la lista de materiales que pueden ser utilizados para compostaje es muy numerosa, en la tabla 3 aparecen algunos de estos que pueden servir de ejemplo.

**Tabla 3.** Composición química de algunos materiales utilizados para el compostaje

Material	Materia orgánica	Nitrógeno (N)	Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Potasio (K <sub>2</sub> O)	Carbono nitrógeno
Paja de arroz	80	60	30	1,60	77\1
Cascarilla de arroz	80	70	40	0,80	66\1
Aserrín	88	0,80	03	1,10	638\1
Falso tallo del plátano	80	80	20	7,50	58\1
Hojas de plátano	85	1,50	19	2,80	32\1
Bagazo de caña de azúcar	90	50	28	0,99	104\1
Paja de caña de azúcar	85	1,00	24	2,00	49\1
Cogollo de caña de azúcar	88	70	17	0,80	73\1
Pulpa de café	90	1,80	30	3,50	29\1
Hoja de café	93	1,40	20	1,90	38\1
Hojas de árboles	71	1,00	25	1,20	41\1
Hierba recién cortada	90	1,20	40	1,60	43\1
Hierba seca (gramíneas)	70	0,50	30	0,90	81\1
Crotalaria	91	1,95	40	1,81	27\1
Hojas de frijol	93	2,00	58	2,20	27\1
Restos de hortalizas	70	1,10	29	0,70	37\1
Hojas de leucaena	75	4,50	22	1,90	10\1
Paja de maíz	97	18	38	1,64	312\1
Mazorca de maíz	85	42	ç10	0,90	117\1
Hollejo de naranja	73	74	1.32	86	57\1
Palo de tabaco	71	2,17	54	2,78	19\1
Cáscara de yuca	59	0,31	36	44	129\1
Hoja de yuca	92	1,35	72	1,50	39\1
Cangre de yuca	95	1,31	35	1,45	42\1
Desperdicios de cocina	65	2,64	90	1,00	14\1
Lodos residuales sólidos	60	3,00	1.3	20	12\1
Residuos de podas	61	80	15	90	44\1
Basura urbana (fresca)	63	60	48	83	61\1
Basura urbana vieja	19	1,93	80	40	6\1
Cachaza	79	2,10	2.32	1,23	22\1
Vacuno fresco	65	1,50	62	90	25\1
Gallinaza camada	54	1,70	1.20	1,00	18\1
Estiércol porcino	45	2,5	60	50	10\1

Material	Materia orgánica	Nitrógeno (N)	Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Potasio (K <sub>2</sub> O)	Carbono nitrógeno
Estiércol equino	17	42	30	70	24\1
Estiércol de conejo	40	1,25	1,01	1,18	19\1
Turba costera (baja)	82	2,80	57	0,30	17\1
Turba interior (alta)	60	1,12	71	14	31\1
Guano de murciélago	48	3,50	5.25	80	8\1
Guano fósil de murciélagos	23	75	15.0	55	18\1
Cenizas	-	0,20	1.90	6,0	-
Residuos de henequén	61	1,50	49	0,43	24\1
Residuos de maní	95	4	1.71	1,21	14\1
Residuo de cervecería	96	4,12	.57	10	14\1
Residuo de girasol	76	3,17	52	2,40	14\1
Pulpa de cacao	91	3,21	1,15	3,74	16\1
Gallinaza pura	45	3,50	2,50	1,60	7\1
Purín(orina animal)	3	3	0,05	83	-

De todos los materiales relacionados resulta interesante destacar:

- El estiércol de vacuno es un material rico en nitrógeno y muy húmedo. Su humedad y relación C/N dependen de la cantidad de cama utilizada, las prácticas de manejo, el tipo de operación y el clima. Generalmente, este residuo requiere su mezcla con materiales secos y ricos en carbono; con frecuencias son necesarios de dos a tres volúmenes de enmienda por volumen de estiércol. El riesgo de olores es relativamente bajo si se compostea durante unas pocas semanas, ya que se descompone rápidamente.
- El aserrín es un material con bajo contenido en humedad y alto contenido en carbono; su degradabilidad es de moderada a pobre. En general, es buen absorbente de humedad y olores. Normalmente está disponible a bajo costo. Se trata de un enmendante del compostaje de bueno a moderado.
- Las hojas son relativamente secas y tienen un alto contenido en carbono. Presentan buena degradabilidad si están troceadas y su absorción de humedad es moderada. Muestra un riesgo potencial, debido a la presencia de piedras y bolsas de plástico (sobre todo si proceden de recogida urbana). Se trata de un producto muy estacional, por lo que es necesario acopiarlo o recurrir a un manejo especial (distribución en el tiempo). Como material para compostar es de bueno a moderado.
- Las astillas o virutas de madera suelen ser un material seco y con alto contenido en carbono. Tienen gran tamaño de partícula, lo que proporciona una excelente estructura, pero muy baja degradabilidad. En general, se utilizan como agente *bulking* (de relleno, para dar volumen) en el compostaje con aireación forzada.
- El guano de murciélagos se produce en las cuevas, por la acumulación de deyecciones y cuerpos de esos mamíferos; a veces constituyen considerables reservas de abono orgánico rico en fósforo. En Cuba existen grandes depósitos de este abono orgánico, especialmente en las provincias de Camagüey y Pinar del Río. Su explotación requiere de medidas sanitarias estrictas.
- Las turbas constituyen acumulación y depósito de materia orgánica producida en zonas donde la acumulación y permanencia del agua en la superficie del suelo, durante largo tiempo, limitan la actividad microbiana. La calidad y los contenidos de nutrientes de la turba dependen de la naturaleza de los residuos orgánicos y de su grado de descomposición.
- La cachaza se obtiene como resultado del proceso de clarificación de los jugos de caña en la industria azucarera, por medio de la alcalización con Ca(OH)<sub>2</sub> y la aplicación de calor, lográndose coagular y precipitar los sólidos del jugo y después separarlos por decantación y filtración. La cachaza es un abono rico en materia orgánica, fósforo y

calcio. La producción de cachaza equivale a entre 3 % y 4 % del peso de la caña que procesa el central. En Cuba, para una producción de 7 millones de toneladas de azúcar se tiene un potencial de producción de cachaza de aproximadamente 2 millones de toneladas. El uso de la cachaza como abono orgánico resulta factible, porque los centrales azucareros que la producen están ubicados y distribuidos en todo el país. Eso facilita una distribución adecuada para utilizarlo en los lugares que sean más necesarios.

- La gallinaza es un abono orgánico procedente de las excretas y otros residuos producidos en los lugares donde se crían intensivamente aves para la producción de huevos y carne. Este abono orgánico, en su estado fresco, contiene muchas sustancias que se encuentran en proceso de descomposición y cuando se aplican producen alteraciones en el suelo y afectaciones a las plantas. Por esa razón se hace necesario que antes de utilizarlo se haya logrado su fermentación y descomposición. Además, en muchas ocasiones se utiliza en los gallineros y polleras cal ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) para eliminar los malos olores y como medida de saneamiento, la cual tiene efecto residual en la gallinaza y presenta reacción alcalina. Debe tenerse presente que ese abono orgánico puede afectar a cultivos que necesitan pH bajo para su desarrollo, como es el caso del café, la piña y otros.

## Condiciones necesarias para el establecimiento de sistemas de compostaje

### Elección del lugar

El lugar elegido para realizar el compostaje deberá ser de fácil acceso, situado de tal manera que el transporte de los materiales no sea de largo recorrido, y tendrá una superficie firme que soporte el tránsito de vehículos bajo diversas condiciones climatológicas. Generalmente, en una finca el sitio más adecuado es cerca del estercolero. Sin embargo, la conveniencia de un sitio determinado debe sopesarse frente a factores tales, como el área disponible, la proximidad a núcleos de población, la visibilidad y el control de los lixiviados.

A la hora de diseñar una instalación de compostaje hay que realizar un estudio previo en

el que se incluyan factores, como: dirección predominante del viento, fácil acceso a vías de tráfico, usos a que se dedican las tierras colindantes, desnivel del terreno, patrones de escorrentía y localización de humedades u otros sistemas acuáticos.

### Distancia de separación

Es importante que exista una zona de amortiguación o distancia de separación entre una instalación de compostaje, los acúfferos y los núcleos de población vecinos, para mantener un control de la calidad del agua y evitar factores molestos, como malos olores y ruidos de la maquinaria.

### Requisitos de desagüe

Un sitio adecuado para el compostaje debe cumplir, entre otros, con el requisito de tener un buen drenaje. Emplazamientos con mal drenaje dan lugar a encharcamientos, materiales de compostaje saturados de agua, sitios fangosos que dificultan las labores de equipos y operarios, y una excesiva producción de lixiviados. Idealmente, el sitio debe tener pocas piedras, ya que estas podrían mezclarse con los materiales que se van a comportar y producir daños en la maquinaria. Si las condiciones del suelo no son aceptables es suficiente una compactación de grava o arena para evitar problemas de una superficie impermeable, en caso de suelos con un buen drenaje y la capa freática muy alta (de 1 m a 1,5 m). Las superficies asfaltadas solo son necesarias en determinados casos, para almacenar materiales húmedos o cuando se usa cierta maquinaria pesada, de lo contrario encarece demasiado el proceso.

Para evitar que se formen charcos de una manera permanente, la inclinación del terreno en el sitio de compostaje ha de ser como mínimo de un 1 %, aunque lo ideal es entre 2 % y 4 %. Sitios con pendientes superiores a 7 % no son aconsejables, pues además de requerir mayor vigilancia de los lixiviados necesitan control de la erosión del suelo.

Las pilas de compost han de ir en paralelo a la pendiente del terreno, para evitar que haya acumulación de lixiviados en la parte alta de la pila (figura 7).





**Fig. 7** Colocación de las pilas, paralelas unas a otras.

El sitio debe estar nivelado para evitar que el manejo de los lixiviados dé lugar a una erosión del terreno. Los lixiviados deben ser conducidos a los pastos, las tierras de cultivo o a una fosa colectora donde se almacenen para su uso posterior.

### **Consideraciones medioambientales para el compostaje**

Desde el punto de vista medioambiental la elección de un sitio de compostaje estará influenciada por el método de compostaje que se vaya a utilizar y por los materiales que vayan a ser usados, evitándose en lo posible la producción de malos olores, polvo, ruido y lixiviados.

En lo referente a los olores, estos se minimizan con un buen manejo del sistema. Además, a la hora de elegir el sitio hay que tener en cuenta la dirección preferente de los vientos durante las estaciones más calurosas.

En cuanto a los ruidos y la producción de polvo resultantes, tanto de las operaciones de compostaje como de los vehículos utilizados para el transporte, hay que procurar hacer una planificación a lo largo del día y en las carreteras que se vayan a utilizar. El triturado de los materiales es una operación muy ruidosa que se deberá realizar cuando el ruido tenga el menor impacto posible. Los ruidos aumentarán a medida que el tamaño de la instalación sea mayor.

Dependiendo del tipo de material que se va a compostar o del tipo de empresa, los ruidos pue-

den llegar a ser solo un factor estacional. Hay que prestar especial atención durante el verano, ya que en esta estación las ventanas de las viviendas permanecen más tiempo abiertas y los vecinos están más tiempo fuera de sus casas.

Para evitar queja es conveniente que los lugares de compostaje saquen ventaja del paisaje natural, árboles, arbustos, etc. Deben estar lo más limpios posible, con césped y plantas a su alrededor, y evitar las malas hierbas, que siempre dan una imagen descuidada y pueden ser foco de contaminación del propio compost.

El control de la contaminación exterior es, sin duda, el factor más importante. El agua sirve como vehículo para eliminar contaminantes potenciales. La lluvia puede percolar, dando lugar a la formación de lixiviados que pueden llevar compuestos contaminantes. Por tanto, hay que tratar de minimizar la producción de esos lixiviados.

Entre los posibles contaminantes que se pueden producir durante un compostaje de residuos agrícolas, está el nitrógeno en forma de nitrato y amonio, así como compuestos orgánicos que se originan en los procesos de descomposición. Si bien el nitrato puede ser un serio contaminante, puesto que alcanza las aguas subterráneas, tiene lugar en concentraciones despreciables durante la fase activa de un compostaje, debido en parte a las altas concentraciones de carbono de la mayoría de las mezclas que se utilizan para comportar, y a que las altas temperaturas que se alcanzan en el proceso, inhiben el crecimiento de los microorganismos nitrificantes. Por el contrario, no ocurre lo mismo en las pilas almacenadas y en procesos de maduración que son fuente potencial de nitratos.

La materia orgánica y el amonio pueden contaminar aguas superficiales, debido a su consumo de oxígeno, lo que comúnmente se refiere como DBO o DQO (Demanda Biológica o Química de Oxígeno).

La presencia de pesticidas en los residuos de cosechas o de metales pesados en otro tipo de residuos tiene, normalmente, mayor impacto en la calidad del compost que en la contaminación del emplazamiento, pero puede haber otra clase de contaminantes procedentes de

diferentes materiales, por eso es importante conocer la naturaleza de los residuos que se van a compostear.

El control de la contaminación no puede ser restringido al proceso de fabricación de compost. También el almacenamiento de los materiales que se desean tratar y el producto final, pueden representar riesgos de contaminación a veces mayores que los del compost en fase activa.

Para evitar en lo posible la contaminación, deben observar las siguientes medidas:

- Mantener las pilas de compost con un contenido en humedad inferior al máximo recomendado (65 %) para minimizar la producción de lixiviados.
- Combinar las materias primas en una proporción tal que el valor de la relación C/N esté dentro de los valores recomendados, para evitar pérdidas de nitrógeno.
- No permitir que las aguas y los lixiviados que procedan de la zona de compostaje viertan a los cauces de aguas superficiales, ya que muchos de los contaminantes que pueden causar problemas en lagos y ríos se eliminan de forma efectiva en el propio suelo. Las escorrentías pueden canalizarse hacia las tierras de cultivo; también pueden recogerse en sitios apropiados y ser posteriormente utilizadas para riego o para humedecer los materiales de compostaje que estén muy secos.

- Evitar que el agua llegue a la zona de compostaje, mediante apropiadas elevaciones del terreno.
- Almacenar los materiales de partida y los compost terminados en zonas cubiertas, lejos de aguas superficiales y vías de drenaje.

Los materiales de partida que estén muy húmedos se han de almacenar bajo cubierta y, de ser posible, en una superficie impermeable con un sistema de recogida de lixiviados.

## Sistemas de compostaje

Los sistemas de compostaje tienen como finalidad facilitar el control y la optimización de parámetros operacionales, para obtener un producto final con la suficiente calidad, tanto desde el punto de vista sanitario como de su valor fertilizante. El acortamiento del tiempo del proceso, la disminución de los requisitos de espacio y energía, y de la seguridad higiénica de la planta de tratamiento, son también factores decisivos para el diseño de estos sistemas de compostaje. Los sistemas utilizados se pueden clasificar en dos grupos: abiertos y cerrados. En los primeros, el compostaje se realiza al aire libre, en pilas o montones, mientras que, en los segundos, la fase de fermentación se realiza en reactores. Los sistemas abiertos son los más utilizados en Estados Unidos, mientras que los sistemas en fermentador se denominan con frecuencia “europeos”, por su origen (figura 8).

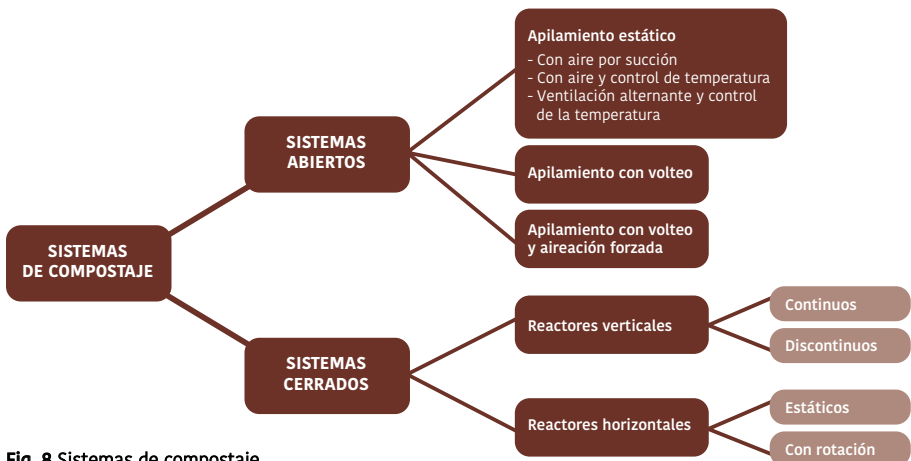


Fig. 8 Sistemas de compostaje.

### Sistemas abiertos

Los sistemas abiertos constituyen la forma tradicional de compostaje. Los substratos que se van a compostar se disponen en montones o pilas que pueden estar al aire libre o en naves. La aireación de la masa fermentable puede hacerse por volteo mecánico de la pila o mediante ventilación forzada. Esta última tiene la ventaja de permitir el control del nivel de oxígeno, así como de la humedad y la temperatura. Además, supone menores costos y necesidad de menos espacio, evitándose los inconvenientes del volteo de las pilas. A continuación, se explican los sistemas más utilizados.

#### Compostaje en pilas estáticas con aireación natural

Es el sistema más antiguo que se conoce y se realiza en pilas, de altura reducida, que no se mueven durante el compostaje. La ventilación es natural, a través de los espacios de la masa que se va a compostar. Las dimensiones de los montones pueden estar en función de los equipos utilizados para compostar, pero para este sistema no interesa que sean más altos de 1,5 m, con una anchura en su base de 2,5 m a 3 m, y de la longitud deseada y frente triangular, debiendo presentar mayor pendiente en los lugares o épocas más lluviosas. Esta variante se presta para centros de materia orgánica con bajos insumos en la Agricultura Urbana, unidades de producción, fincas de mediana y pequeña escala, parcelas y patios.

#### Compostaje en pilas estáticas con ventilación forzada

La pila de fermentación es estática y en su formación se ha dispuesto un sistema mecánico de ventilación por tuberías perforadas o por un canal empotrado en el piso. Las tuberías se conectan con un ventilador que asegura la entrada de oxígeno y la salida de  $\text{CO}_2$ . Esta ventilación puede hacerse por succión o inyección de aire, o mediante sistemas alternantes de succión e inyección. Con el sistema de succión, que es el empleado, en el Método Beltsville en el compostaje de lodos de depuradora con astillas de madera, se hace pasar un flujo de aire en cantidad de 0,2 m<sup>3</sup>/min/t a la entrada del succionador que resulta suficiente para alcanzar una concentración de oxígeno del 15 %. Para reducir los problemas

de olores, el aire se pasa a través de una pila de compost maduro que actúa como filtro. En el Método Rutgers el aporte de oxígeno se consigue por succión con control de la temperatura, de esta forma, se controlan estos parámetros a la vez. Este sistema tiene dos ventajas sobre el anterior:

- Por la evaporación que ocasiona provoca una baja humedad del producto final, garantizando una buena estabilidad.
- El control automático de temperatura evita períodos prolongados de temperatura elevada. Si bien una temperatura elevada inhibe la población microbiana, sin embargo, un efecto positivo sobre la reducción de patógenos. Por este motivo, hay sistemas que incluyen una fase inicial de succión de aire que permite elevar la temperatura en pocos días; después la corriente de aire se invierte y se introduce en la masa junto con un control de temperatura y se continúa el proceso. Este método se utiliza para centros con mecanización.

#### Compostaje en pilas por volteo

Aunque es un sistema muy utilizado, porque resulta muy simple, tiene una serie de limitaciones. En primer lugar, la pila es oxigenada tan solo periódicamente. Requiere en general más espacio y el control higiénico es más difícil. El tamaño de la pila fermentable es mayor que en el caso anterior y permite alturas en torno a 2,5 m. La frecuencia del volteo depende del tipo de material, la humedad y la rapidez con que interesa que sea realizado el proceso. En la actualidad las nuevas tendencias se orientan hacia los sistemas de compostaje por volteo forzado, por medio de volteadoras con control automático. El tiempo de fermentación o de estancia en el parque de volteo suele ser de dos a cuatro semanas; transcurrido este tiempo el compost deberá pasar al parque de maduración antes de proceder a su refinado y depuración. Este sistema puede ser aplicable en los centros de abonos orgánicos de la Agricultura Urbana.

#### Sistemas cerrados

Estos son los sistemas que se pueden llamar industrializados, puestos en marcha por entidades públicas o privadas, y que generalmente se utilizan para compostar residuos en las

proximidades de ciudades grandes o medianas. En estos sistemas, la fase inicial de fermentación se realiza en reactores que pueden ser horizontales o verticales, mientras que la fase final de maduración se realiza al aire libre o en naves abiertas. Son sistemas desarrollados para reducir considerablemente las superficies de compostaje, lograr un mejor control de los parámetros de fermentación y controlar los olores de forma más adecuada. Aunque estos sistemas requieren costos de instalación superiores a los anteriores, son más rápidos y, por tanto, requieren menos espacio. Entre estos podemos destacar los fermentadores verticales y los reactores horizontales.

### **Fermentadores verticales**

Los reactores verticales pueden operar de forma continua o discontinua. En el primer caso, el material que se va a compostar se encuentra en forma de masa única, mientras que, en el segundo caso, la masa del compostaje se sitúa en distintos niveles. En los sistemas cerrados continuos se utilizan reactores de 4 m a 10 m de altura, con un volumen total de 1 000 m<sup>3</sup> a 3 000 m<sup>3</sup>. El biorreactor consta de un cilindro cerrado, aislado térmicamente, que en su parte inferior posee un sistema de aireación y extracción de material. El material se introduce por la parte superior mediante un tornillo alimentador. A medida que se va extrayendo el material compostado, el material fresco va descendiendo. El control de la aireación se realiza por la temperatura y las características de los gases de salida (estos son aspirados por la parte superior del reactor). El tiempo de residencia es de dos semanas. Los reactores verticales discontinuos constan de un depósito cilíndrico de grandes dimensiones dividido en varios niveles (cada nivel tiene de 2 m a 3 m de altura). La materia que se va a compostar se coloca en lo más alto y mediante dispositivos mecánicos se voltea la masa a la vez que va descendiendo al piso inferior. La humedad requerida para llevar a cabo el proceso se consigue o bien por evaporación del agua del material situado en los niveles inferiores, la cual se encuentra a una mayor temperatura, o bien se dispone de sistemas de suministro de agua. Cuando la fracción orgánica ha descendido al último piso se da por concluida la fermentación y el compost

sale al parque de maduración. El tiempo en el fermentador es de una semana. El inconveniente de este tipo de reactores es el elevado costo de instalación y de mantenimiento de la planta. Otra variante de reactor vertical es el reactor circular. Los que existen actualmente tienen un diámetro de 6 m a 36 m y una altura de 2 m a 3 m. El material que se va a compostar se introduce por la parte superior del reactor y la masa se voltea mediante un brazo giratorio; la salida del material tiene lugar por el centro de la base. La aireación se realiza por la parte inferior. El tiempo de retención es de 10 días, transcurridos los cuales pasan al parque de maduración.

### **Reactores horizontales**

Estos reactores consisten en un cilindro horizontal que suele tener de dos a tres metros de diámetro y giran a una velocidad de 2 rpm a lo largo de su eje longitudinal. El proceso consiste en un tratamiento mecánico continuo; el tiempo de permanencia de los residuos dentro del fermentador es de 24 horas a 36 horas, durante el cual la materia orgánica es físicamente separada del resto de los componentes, al tiempo que se inicia el proceso de degradación microbiana. En estos reactores no se produce un auténtico compostaje, sino una fase de preparación del sustrato de tipo físico-químico. El material resultante es compostado finalmente en pilas o en el reactor.

Reactores horizontales propiamente dichos son aquellos donde el material generalmente preseleccionado (separación de inertes) se somete al proceso de compostaje de 15 días a 30 días en condiciones estáticas (reactor túnel) o de volteo periódico (reactor rectangular dinámico). En este grupo están los reactores de túnel, en servicio, los cuales tienen forma de caja rectangular de 4 m de altura, 5,5 m de ancho y longitud variable según el volumen que se va a tratar. La agitación se logra mediante sistemas hidráulicos y la aireación se realiza por sistemas situados en la parte inferior. El tiempo de reacción es de 14 días y el producto requiere generalmente un tratamiento posterior.

El reactor rectangular tiene forma de caja rectangular de 3 m de altura y 6 m de ancho,

y longitud variable según las necesidades. El material es descargado por la parte superior, con un dispositivo que penetra en el reactor, parecido a una la fresa de un reactor, se mezcla y se descarga en otra zona del reactor, mediante una cinta transportadora y una grúa móvil. Con el mismo sistema se extrae el material una vez compostado. La aireación se realiza por la parte inferior. El tiempo de retención es de 14 días a 21 días y normalmente no necesita un tratamiento posterior.

## Operaciones de compostaje

El proceso de compostaje requiere toda una serie de operaciones, algunas de las cuales se repiten a intervalos durante todo el proceso y se dividen en diferentes tipos.

### Operaciones primarias.

#### Recogida y transporte

Generalmente, el compostaje empieza con la recogida de materiales orgánicos adecuados que se transportarán hasta el sitio donde se vaya a realizar y que se mezclarán hasta conseguir una humedad y una relación C/N adecuadas. Las materias primas de tipo estiércol necesitan una atención inmediata, porque rápidamente sufren fermentación anaerobia dando lugar a malos olores. Sin embargo, materiales como: paja, astillas, hojas y aserrín, se descomponen mucho más lentamente debido a su alto contenido en carbono y baja humedad; por esta razón pueden almacenarse durante largos períodos de tiempo antes de que comiencen a degradarse. Si estuvieran húmedos comenzarían a compostar, pero debido a su bajo contenido en nitrógeno lo harían a una velocidad despreciable.

### Mezcla y construcción de la pila

#### Materiales sólidos

La etapa fundamental de todo compostaje es mezclar los materiales en las proporciones adecuadas y colocar la mezcla en forma de pila o cargar el reactor si es que el compostaje se va a efectuar en un sistema cerrado, en este último caso la etapa de mezcla no es necesaria, ya que está incluida en el sistema. La mezcla y la formación de la pila se pueden realizar de distintas maneras, dependiendo del método de compostaje utilizado, el equipo dis-

ponible y el manejo del estiércol que se haya hecho en la finca o unidad de producción. La maquinaria requerida para estas operaciones es convencional (cintas transportadoras, palas mecánicas, remolques esparcidores, equipos combinados, etcétera).

La pala mecánica es un equipo muy común en una finca o unidad de producción. Con ella y con el remolque esparcidor de estiércol se pueden realizar prácticamente todas las tareas, tanto la mezcla como la formación de la pila. Cuando se trata de pilas aireadas como volteo o con aireación pasiva, la mezcla y la formación se realizan en una sola etapa; sin embargo, cuando las pilas son de aireación forzada, la mezcla y la formación han de hacerse por separado, debido a las tuberías que van por la base de la pila.

#### Materiales líquidos

Se entiende por materiales líquidos aquellos residuos ganaderos procedentes de las explotaciones porcinas y bovinas (purines), los cuales poseen: entre 65 % y 91 % de humedad y un alto contenido en materia orgánica y nutrientes minerales, residuos del procesamiento de la industria pesquera y residuos de la industria láctea. Los materiales líquidos presentan problemas especiales de manejo y se han de incorporar a la mezcla de compostaje sin que esta se encharque. Además, muchos líquidos presentan olores fuertes, por lo que necesitan medidas adicionales.

Estos residuos líquidos podrían ser residuos primarios o material secundario, siempre que el sistema de compostaje sea capaz de absorberlos. Ocasionalmente, se puede añadir líquido a una pila de compostaje, cuando se necesita mantener una humedad adecuada, lo cual supone una buena alternativa para la utilización de ciertos residuos líquidos diluidos, como aguas de lavado de centrales lecheras o los propios lixiviados de la planta de compostaje previamente recogidos en fosas apropiadas.

En cualquier caso, los otros materiales que se van a compostar deben ser lo suficiente absorbentes para retener todo el residuo líquido añadido, sin que se sacrifique su porosidad.

Generalmente se requiere la adición de grandes cantidades de materiales de tipo aserrín, turba, papel o compost reciclado.

Si el volumen de residuo líquido es pequeño, se puede añadir durante el mezclado inicial; sin embargo, si la cantidad que se va a añadir es tan grande que humedecería demasiado la mezcla, el residuo líquido se debería añadir de forma regular a lo largo del proceso, según la mezcla pierda humedad. Naturalmente, se necesita dar un volteo inmediatamente después de la adición del residuo líquido.

Para evitar que el líquido escurra por los lados de la pila es necesario hacer un surco en la parte superior donde se deposita el líquido. Si el líquido es maloliente, lo mejor es introducirlo en el interior de la pila antes del volteo. Actualmente nadie pone en duda el valor fertilizante de estos residuos.

### **Rendimiento del compostaje**

Este dato puede ser importante para conocer el dimensionamiento de la planta de elaboración. Se han efectuado estudios utilizando distintos materiales ricos en nitrógeno y lignocelulosas, con evaluaciones y análisis de los montones durante unos 90 días, sobre los compost brutos y refinados, llegando a la conclusión de que el compostaje es la técnica óptima de aprovechamiento de los residuos orgánicos, actuando sobre su revalorización. Las pérdidas del proceso se sitúan próximas al 50 %, tanto en peso como en volumen.

### **Maduración**

A continuación de la fase activa se requiere un período de al menos un mes, durante el cual el proceso termina el compost y desarrolla las características deseadas para sus posteriores aplicaciones. Generalmente, este período de maduración se lleva a cabo en una zona diferente al sitio donde se ha realizado la fase activa del compostaje; no obstante, la maduración se puede realizar en el mismo sitio y la misma pila donde ha tenido lugar la fase activa.

Dado que las pilas en maduración están sufriendo una ligera descomposición, es necesario seguir manteniendo las condiciones aerobias, ya que en condiciones anaerobias se

producen malos olores y compuestos tóxicos para las plantas. Si bien en esta etapa no se requieren volteos ni aireación forzada, las pilas en maduración deben ser lo suficientemente pequeñas para permitir una adecuada aireación en su interior, sobre todo si la aplicación que se le va a dar requiere productos de alta calidad, por ejemplo, la utilización como sustrato.

Las condiciones anaerobias también se pueden dar con una excesiva humedad o por acumulación de agua en la base de la pila. Debido a que las pilas en fase de maduración no producen suficiente calor como para dar lugar a que haya una pérdida de agua por evaporación, la zona de maduración debe estar bien drenada con canalizaciones para recoger el agua de lluvia y evitar que se acumulen en el sitio donde están las pilas.

El método más efectivo para corregir la humedad o las condiciones anaerobias es volverla a mezclar y extenderla sobre una superficie abierta. De esta manera, se introduce oxígeno en la pila y los compuestos anaeróbicos se descomponen aeróbicamente o bien se evaporan.

En el curso de la maduración las sustancias húmicas evolucionan, no solo cuantitativamente, sino también cualitativamente, con el predominio hacia compuestos de elevado peso molecular (ácidos húmicos) sobre aquellos de peso molecular más bajo (ácidos fúlvicos). La valoración entre las diversas fracciones, así como la relación existente entre ellas, resulta un importante índice de evolución del proceso y la madurez del compost final (figura 9).



**Fig. 9** Compost listo para ser usado.

### Almacenaje

Es necesario almacenar el compost durante períodos comprendidos entre tres y seis meses. Los compost acabados que se han dejado madurar adecuadamente todavía tienen, aunque baja, cierta actividad microbiana, por lo que se deben evitar, en lo posible, condiciones que aumenten el riesgo de favorecer anaerobiosis. La altura de las pilas no debe superar los 4 m, ya que a medida que aumenta la altura se incrementa el riesgo de que pueda tener lugar una combustión espontánea. En caso de que las pilas estén húmedas o desarrollen anaerobiosis, se pueden utilizar las medidas recomendadas para las pilas que están en maduración. En general, una práctica segura es desamontonar las pilas grandes y hacer varias de menor tamaño unas semanas antes de su utilización o venta.

### Molienda, tamizado y separación

La mayoría de las materias primas que se usan para compostar no requieren molienda ni tamizado, sobre todo si el sistema que va a utilizar es el de pilas con volteo; no obstante, hay materiales, como los residuos de poda, que por su gran tamaño necesitan ser troceados. Ocasionalmente, algunas materias primas necesitan una separación previa al compostaje, tal es el caso de los residuos de establo que pueden contener bolsas de plástico, hojas, pajas o restos de basura.

En general, la selección se hace a mano, salvo cuando los materiales indeseables están en gran cantidad, en cuyo caso es necesaria una separación mecánica. Si el material indeseable no es perjudicial para el compostaje, la separación mecánica se puede dejar para el final.

También es necesario hacer una separación al final del compostaje, cuando se quiere recuperar el agente bulking (de relleno) cuando este material se haya utilizado. Normalmente esta operación se realiza siempre que se quiera mejorar la calidad del producto final. Para que la separación sea más efectiva, el material ha de tener una humedad inferior al 45 %. Alguno de los modelos de separadores consta de una picadora y un mezclador. Las picadoras incluyen cintas vibradoras o martillos que rompen los aglomerados del material antes de que

este sea separado. Los mezcladores pueden añadir fertilizantes o arena, según el que se le vaya a dar al producto final.

Existen muchos tipos de separadores, la elección de uno u otro dependerá de la clase de materiales, el contenido en humedad, los costes y la utilización ulterior del producto obtenido. Entre las diferentes clases de separadores se encuentran: cribadores, vibradores, discos onduladores, de barreno y giratorios.

### Secado

Un compost húmedo es indicativo de que la mezcla de partida tenía una humedad muy alta, que en la fase activa del proceso no se ha alcanzado la temperatura adecuada, que los volteos no han sido suficientemente frecuentes, que el sitio donde se ha realizado no estaba bien drenado o que el clima ha sido demasiado frío y lluvioso.

En general, si el proceso de compostaje se ha llevado a cabo correctamente no es necesario recurrir al secado. Es absolutamente necesario que el compost esté seco, sobre todo si se va a utilizar como substrato o va a ser envasado en sacos. Una buena práctica es producir un compost con un contenido en humedad entre 35 % y 45 %, teniendo en cuenta que por debajo de 45 % mejora mucho su manejo y que por encima del 35 % se minimiza la producción de polvo. En los sistemas de compostaje, el secado implica una aireación extra o una prolongación del período de compostaje. Una buena alternativa, cuando el clima es caluroso y seco, es extender el compost en una capa fina encima del terreno y dejarlo secar de una forma natural, si bien esto dependerá de la superficie disponible.

### Empaquetado

El compost empaquetado es más caro que el compost a granel y, además, más atractivo para posibles clientes. Si las bolsas son pequeñas no se necesita un equipo especial; es suficiente un embudo para facilitar su llenado a mano y un sellador. Si el compost se va a empaquetar en bolsas de plástico, su contenido en humedad ha de ser como máximo del 35 %; de lo contrario seguirá descomponiéndose y fermentará (figura 10).



Fig. 10 Empaquetado del compost.

## Evaluación de la madurez de un compost

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

La aplicación de un compost insuficientemente maduro o "inmaduro", puede provocar como efecto más destacado un bloqueo biológico del nitrógeno asimilable, lo que podría ocasionar posteriormente un descenso del contenido de este nutriente en la planta y, en definitiva, un menor rendimiento de la cosecha.

La inmovilización del nitrógeno mineral en el suelo se debe a que el compost "inmaduro" posee una relación C/N elevada, debido principalmente a que va a tener alto contenido en sustancias hidrocarbonadas, con lo cual, la aplicación al suelo en estas condiciones da lugar a un aumento de la microflora, que utiliza parte del nitrógeno presente en el suelo para la formación de distintas estructuras intracelulares, como proteínas y ácidos nucleicos.

Por otra parte, la incorporación de estos productos insuficientemente maduros al suelo origina la descomposición posterior de estas sustancias, que pueden causar serios daños en el suelo y la planta. Así, se ha descrito que se produce un descenso del contenido de oxígeno y del potencial de oxidorreducción del suelo, favoreciéndose la creación de zonas de anaerobiosis y fuertemente reductoras. Esto, unido a un aumento de la temperatura, puede

llegar a inhibir la germinación o en ocasiones una disminución en el desarrollo de las plantas, especialmente cuando se encuentran en estadios más jóvenes.

Además, la creación de estas zonas fuertemente reductoras en el suelo, van a ocasionar un aumento de la solubilidad de los metales pesados, cuya posterior absorción y concentración en la planta pueden alcanzar niveles fitotóxicos. Por ejemplo, la concentración de cobre en la planta aumenta de manera considerable por encima de niveles tóxicos tras la aplicación de compost inmaduros, fenómeno no observable cuando se utilizan compost maduros.

Otro riesgo que muestran estos productos es la presencia de sustancias fitotóxicas, fenómeno observado en la utilización de compost procedentes de diversos residuos vegetales, así como estiércoles que pueden inhibir la germinación y el crecimiento de las plantas.

El efecto fitotóxico puede deberse a la formación de amoníaco, como consecuencia de la degradación de la materia orgánica residual. La presencia, incluso en cantidades pequeñas, resulta tóxica para las raíces y el desarrollo de las plantas, así como para la germinación de las semillas (intoxicación amoniaca).

El óxido de etileno y algunos ácidos orgánicos, como el acético, propiónico y butírico, se piensa que también son fitotóxicos.

## Métodos para determinar el grado de madurez de un compost

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

Es difícil, por no decir imposible, la definición de la calidad de un compost, a partir de un único parámetro químico, bioquímico y toxicológico, ya que el compostaje es un proceso microbiológico muy complejo.



Se ha trabajado con diversos parámetros que informan de manera relativa de la evolución de la materia orgánica durante el proceso o en el producto cuando está a la venta.

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

1. Test de tipo físico.
2. Test de la actividad microbiana.
3. Test de la fracción húmica del compost.
4. Test químicos.
5. Test biológicos o test de fitotoxicidad.

Entre los métodos existen algunos rápidos, pero poco fiables, como los que utilizan la cromatografía sobre papel y otros más complejos basados en medidas de la evolución del complejo húmico. También se han propuesto algunos índices, como las relaciones C/N, C en azúcares reductores/C total, reparto del nitrógeno en forma amoniacal y nítrica, la capacidad de cambio catiónico o el desprendimiento de ácido sulfhídrico.

#### Test de tipo físico

Son los habitualmente utilizados y, en general, dan una idea aproximada de la madurez de un compost (figura 11). En este test los aspectos que se deben considerar son:

- **Olor:** el compost maduro debe tener ausencia de olor desagradable y un olor similar a la tierra húmeda.
- **Color:** durante el proceso de compostaje, el material sufre un proceso de oscurecimiento o melanización hasta transformarse en un producto oscuro. Se han propuesto algunas técnicas para determinar el grado de ennegrecimiento. De acuerdo con la experiencia de los autores, la formación de zonas más claras en el interior del montón estaría indicando problemas de anaerobiosis durante el proceso de compostaje.
- **Temperatura estable:** tal como ya se comentó, durante el compostaje se considera

la evolución de la temperatura, como reflejo de la actividad de la población microbiana involucrada en el proceso, que decrece considerablemente al final de este, determinando una disminución de la temperatura del material compostado de valores entre 60 °C y 70 °C hasta temperatura ambiente. En este sentido, un compost se considera maduro cuando la curva de temperatura de este se ha estabilizado y no varía con el volteo del material.



Fig. 11 Evaluación de la madurez del compost.

#### Test de la actividad microbiana

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

Otros métodos que se incluyen en este apartado son la cromatografía circular y los métodos colorimétricos. El primer ensayo consiste en aislar las sustancias húmicas extraídas de un compost y colocarlas sobre un papel de filtro, pretratado con nitrato de plata; los compuestos poco polimerizados son muy móviles y se alejarán del centro. Cuando el compost esté maduro, la mancha oscura que aparecerá en el papel se hará más intensa alrededor

del centro y más clara en los bordes; si ese producto no es estable, el centro aparecerá claro y el borde oscuro. Este tipo de ensayo es cualitativo y está muy influenciado por los materiales de partida.

En cuanto a la aplicación de los métodos colorimétricos, se basan en que la determinación de la densidad óptica de un extracto de pirofosfato de las sustancias húmicas a lo largo del proceso pone de manifiesto una curva típica de variación que puede señalar la aparición de un "umbral de madurez" por el cambio de pendiente de la curva de densidad óptica frente al tiempo. Otro método similar es el cálculo de la absorbancia del extracto alcalino a 460 nm y 660 nm, cuya relación ha sido utilizada como índice de madurez.

### Test de tipo químico

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

- **Relación C/N (en fase sólida).** Es el criterio tradicionalmente utilizado para la determinación de la estabilidad de un compost. Si bien pueden presentar alguna dificultad en la selección de muestras lo suficientemente homogéneas, la determinación de este es relativamente sencilla y rápida. Por lo general, un compost se considera maduro cuando su relación C/N es menor de 20 y lo más cercano a 15, aunque en la práctica ese valor puede ser superior, ya que gran parte del carbono orgánico, al encontrarse en formas resistentes como son celulosas o ligninas, no puede ser utilizado de inmediato por los microorganismos. La relación C/N es un índice interesante para seguir la evolución de un proceso de compostaje, puesto que ofrece mucha información si se conoce la relación C/N de partida. Por ejemplo, un compost con una relación C/N relativamente alta puede estar bien fermentado y estar maduro, si procede de RSU con una relación C/N alta donde no se han eliminado papeles y cartones. Por el contrario, un compost con una relación C/N baja puede ser fresco y poco fermentado, como puede ocurrir si procede de una mezcla de RSU con otros residuos
- con alto contenido en N, como son los lodos de depuradoras de aguas residuales urbanas.
- **Relación C/N orgánico en extracto acuoso.** La reacción de compostaje es básicamente una degradación bioquímica de la materia orgánica por acción de los microorganismos. Los componentes solubles de esta se disuelven en agua y son asimilables por estos. Los compuestos insolubles son transformados enzimáticamente en compuestos solubles y posteriormente absorbidos por las células microbianas. Este hecho ha sido utilizado por diversos autores para obtener un nuevo índice de la maduración del compost. Este índice, basado en la determinación del C orgánico y del N orgánico en los extractos acuosos del producto, disminuye a medida que avanza la degradación del residuo, hasta estabilizarse entre 5 y 6, cuando el producto ha madurado, lo que hace que pueda ser utilizado como parámetro esencial de la madurez. A diferencia de la relación C/N del sólido maduro, este índice presenta unos valores mucho menos variables, al ser menos dependientes del tipo y origen del material inicial.
- **Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) del compost.** Constituye un método rápido y sencillo para evaluar el grado de madurez del compost. Básicamente consiste en una oxidación del material, mediante dicromato potásico y valoración posterior con sulfato ferroso amónico.
- **pH.** También la determinación del pH sería un buen indicador de la marcha del proceso, ya que, por lo general, durante el compostaje, el pH disminuye ligeramente, para subir posteriormente a medida que el material se va estabilizando, quedando al final del proceso entre 7 y 8. Valores más bajos indicarían que se han producido fenómenos de anaerobiosis y que el material no está aún maduro.
- **Capacidad de intercambio catiónico (CIC).** Su determinación en un abono orgánico no tiene solamente interés por el valor agronómico que representa este parámetro, es decir, que ofrece una idea de la potencialidad en la retención de nutrientes y en capacidad de inmovilización de sustancias fitotóxicas, así como la posibilidad de amortiguar cambios súbitos de pH, sino que utilizado adecuadamente puede informar

de la estabilidad de la materia orgánica de dicho compost. Diversos estudios realizados con abonos orgánicos y compost de diversos residuos orgánicos han demostrado que la CIC aumenta a medida que aumenta el grado de estabilidad de la materia orgánica.

- **Conductividad eléctrica.** Un parámetro que es interesante conocer, aunque no se englobe dentro de los criterios de maduración del compost, es la conductividad eléctrica final. Depende de los materiales con que se ha elaborado el compost (purines, agua...) y se debe tener rigor con ella en función de la utilización que se fuera a dar al producto. No sería lo mismo confeccionar compost para uso como fertilizante que se incorpora al suelo, que como sustrato de plantas hortícolas producidas en alvéolos o contenedores. La conductividad del compost puede afectar al test de germinación pudiendo oscilar entre los 440 y los 6 590 uS/cm en el caso de una turba normal o si se trata de estiércol de pollos, respectivamente. Lo deseable en el caso de compost es que se encuentren entre los 1 500 a 2 000 uS/cm.

### Test de tipo biológico

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

Para aplicar un compost en la agricultura debe reunir las siguientes características:

- Materia orgánica total: 25 % sobre materia seca.
- Humedad máxima: 40 %.
- El 90 % de las partículas pasarán por la malla de 25 mm.

Los límites máximos admitidos en relación con los elementos pesados expresados en mg/kg son: Cadmio, 10; Cobre, 450; Níquel, 120; Plomo, 300; Cinc, 1100; Mercurio, 7; Cromo, 400.

## Métodos para la elaboración de compost

Existe una gran variedad de métodos para elaborar compost. Entre los que se puede citar: Método Indore (aeróbico), cuyo nombre es un homenaje a un pueblo en la India, donde fue practicado por primera vez por Sr. Albert Howard, agrónomo del gobierno inglés, quien estuvo en la India entre 1905 y 1934. Lo realizó para atender la necesidad de mejoramiento de los suelos y de los cultivos en la región.

Forma práctica de hacer compost por el Método Indore:

### Materiales:

- Residuos vegetales (rastros, cáscaras, restos de podas, etcétera).
- Fuentes de microorganismos: inculo, estiércoles, compost maduro o suelo rico en materia orgánica.
- Cal o cenizas, cáscara de huevo, conchas de mariscos, hueso molido, etcétera.
- Agua.

### Metodología:

- Cavar una fosa, especialmente en zonas áridas o muy frías, con dimensiones variables, como, por ejemplo, 4 x 4 x 1,5 m o hacerlo en la superficie del suelo en zonas lluviosas.
- Colocar los rastros o residuos vegetales, de preferencia picados, formando una primera capa de más o menos 20 cm de espesor.
- Introducir varas de madera (10 cm de diámetro) en forma vertical, las cuales serán retiradas después de 2 o 3 días, de tal manera que queden agujeros bien distanciados para darle una buena aireación a la pila del material (1 por m<sup>3</sup>).
- Regar la capa de rastros hasta que el material alcance la humedad adecuada. Cuando el material es fresco y está cortado requiere muy poca agua o no requiere.
- Esparcir estiércol en forma uniforme sobre la capa de rastros hasta alcanzar una capa de 5 cm a 10 cm, dependiendo del tipo de

residuo. Se deberá utilizar mayor cantidad de estiércol cuando el material que se va a compostar es más leñoso.

- Espolvorear sobre el estiércol una ligera, pero uniforme capa de cal, finamente molida (cenizas, cáscara de huevo, etc.) para corregir la acidez del medio.
- Humedecer ligeramente para favorecer la distribución del estiércol y la cal.
- Repetir el mismo proceso hasta formar una pila de compost con capas alternas hasta alcanzar la altura de 1,0 m o 1,5 m.
- Realizar el volteo de los materiales, cuando se observe que la temperatura alta inicialmente ha descendido y se encuentra estable; esto puede ocurrir de 2 o 3 semanas en verano o después de 1 mes en invierno, lo que puede variar según las condiciones climáticas de la zona. El volteo consiste en colocar los materiales de la parte de arriba en la parte inferior y los de abajo hacia la parte superior, regulando nuevamente la humedad y la aireación para facilitar el proceso de descomposición.

Finalmente, el proceso de compostaje termina después de 3 o 4 meses (según la zona) y en este momento se aprecia que el material ya ha sido completamente degradado, no hay emanaciones de gas y la temperatura permanece estable (figura 12) (Las riquezas en nutrientes se pueden observar en la tabla 4, que aparece más adelante).

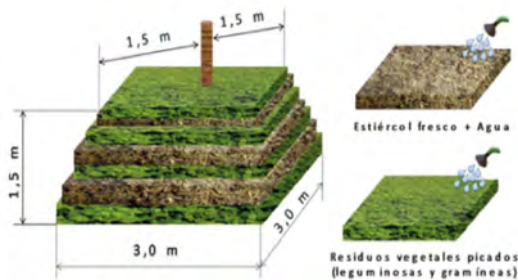


Fig. 12 Esquema de elaboración del compost por el Método Indore.

Las modificaciones del Método Indore han sido principalmente referidas al uso de tierras negras, aguas residuales, basura o materiales verdes como sustitutos para el estiércol.

Ellos también generan temperaturas muy altas que incrementan la frecuencia de volteo. Otra modificación importante es la de suprimir el volteo por cubrimientos con plástico, como un medio de control contra las moscas, reducir las pérdidas de nitrógeno y reducir el proceso a tres semanas sin que sea necesario el volteo. Sin embargo, hay que tener cierta precaución, ya que el plasticado del compost favorece el desarrollo de hongos (figura 13).



Fig. 13 Compost tapado con polietileno.

### Otros métodos

#### Métodos Biodinámicos

Fueron desarrollados por personas que se encontraban bajo la influencia de Rudolph Steiner, filósofo social australiano que murió en 1925. Los métodos biodinámicos son parte de una filosofía llamada Antroposófica, en la cual se utilizan compost con lombrices de tierra, fermentos de hierba, influencia de las fases de la luna, etcétera.

#### Método de Cajón

Consiste en tener un tercio de vegetación seca, un tercio de vegetación verde y desperdicios de cocina. Procedimiento: se traza en el suelo un cuadrado de 1 m x 1 m o se utiliza un cajón de igual dimensión. En el caso del suelo se afloja la tierra con un tridente, a 30 cm de profundidad. Sobre esa superficie se coloca una rejilla de rastrojos similares. Se continúa con una capa de vegetación verde y desperdicios de cocina. Se agrega una capa de tierra de 2 cm. Se continúa poniendo capas de los materiales descritos hasta 1 m de altura. No se debe olvidar que al colocar los materiales en cada capa debe regarse con agua (figura 14). Este método resulta apropiado para elaborar abono en pequeña escala, (por ejemplo, los patios).



**Fig. 14** Elaboración de compost por el Método de Cajón.

### Método en Recipientes

Se necesita un recipiente o bidón de 200 L para echar los materiales y sin fondo por donde se sacará la materia orgánica; además, hay que abrir huecos en toda la superficie del recipiente para garantizar que entre el aire en el interior de la masa y pueda oxigenarse. Después de esta preparación se colocará encima de ladrillos o piedras con una tapa de madera en el fondo, que solo se quitará cuando vaya a extraerse la materia orgánica.

Se van tirando en el interior del recipiente todos los días los restos de cocina, hierbas cortadas y los materiales de que se disponga. Cada cierta cantidad de materiales vertidos en el recipiente se echa un tanto de tierra. Todo el material dentro del bidón hay que removerlo según se proceda a llenarlo, de manera que poco a poco se inviertan y se oxigenen las capas que se han agregado. Se debe vigilar la humedad para que no se seque.

El bidón debe mantenerse tapado para evitar que acumule agua de lluvia y no baje mucho la temperatura de la masa y no se dificulte así el proceso de descomposición de los materiales utilizados, lo que atrasaría demasiado el proceso (figura 15). Este método es adecuado para elaborar abonos orgánicos a pequeña escala, ya sean patios o parcelas.



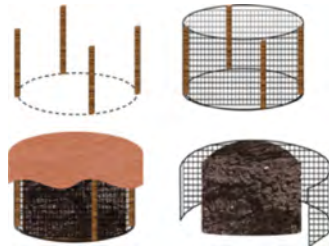
**Fig. 15** Compost de bidón.

### Método de Corral

Este método resulta práctico cuando se tienen desechos más grandes y abundantes. Se procede de la siguiente forma:

#### Metodología:

- Marcar en el suelo una circunferencia de 2 m de diámetro.
- Se preparan dos aros doblados o varillas de madera que cubran la circunferencia marcada en el suelo.
- Realizar ocho marcas a la misma distancia unas de otras en ambos aros.
- Amarrar fuertemente a cada marca palos cortados a 1,10 m, de manera que quede un aro abajo pegado al suelo y otro arriba en el extremo de los palos.
- Después de construida esta armazón se procede a forrarla con alambre de cerca, malla plástica u otro material que pueda servir, siempre que permita la aireación del interior del corralito.
- Deberá tenerse en cuenta que, entre dos de las partes del corral y la atadura de la cerca de alambre o malla, sea fácil de quitar y así poder usar este sector como una puerta, cada vez que sea necesario extraer materia orgánica (figura 16).



**Fig. 16** Compost por el Método de Corral.

### Método Pfeiffer

#### Metodología:

- Marcar el espacio donde va a elaborar la compostera, cuyas dimensiones son 1,20 m de ancho por 2 m a 10 m de largo y 1 m de altura.
- Coloque una capa de tallos de maíz (2,5 cm).
- Coloque una capa de hierba tierna verde y seca (20 cm), apisonese el material y aplique agua hasta saturación.
- Coloque una mezcla elaborada de partes iguales de tierra, cal o ceniza vegetal y roca

fosfórica (2,5 cm), apisone el material y aplique agua hasta saturación.

- Repita la operación sucesivamente hasta alcanzar la altura de 1 m.

**Manejo de la compostera:**

- Mantenga el montón siempre húmedo y tapado.
- Controle la temperatura para saber si el material se está descomponiendo.
- Remueva el montón una sola vez, procurando que los materiales que están en la parte externa del montón se pongan hacia el centro, para que la descomposición se realice de manera integral.
- Para activar el proceso de descomposición de la compostera se puede aplicar “purín” al montón, cada 15 días. Con una regadera aplique 2 L de “purín” por cada m de compostera.
- El material estará descompuesto a partir del cuarto mes.

**Método Pain**

**Metodología:**

- Marque el espacio donde se va a elaborar la compostera. Las dimensiones deben ser las mismas que se indicaron para los métodos anteriores.

- Coloque una capa de hojas y ramas secas, cama de establo (15 cm). Apisone el material y aplique agua hasta saturación.

- Coloque una capa de tierra mezclada con cal o ceniza vegetal y roca fosfórica, apisone el material y aplique agua hasta saturación.

- Repita la operación hasta alcanzar la altura de 1 m.

**Manejo de la compostera:**

Mantenga el montón siempre húmedo, controle la temperatura. Este modelo no requiere ningún removimiento. El material tarda entre 4 y 4,5 meses en descomponerse.

Características del compost obtenido por los métodos Pfeiffer y Pain (tabla 4):

- Las características químicas del compost dependen de la calidad y cantidad de los materiales utilizados, así como de las condiciones ambientales que se dieron durante el proceso de descomposición y el manejo dado a las composteras.
- Al concluir el proceso de fermentación el compost está prácticamente libre de patógenos completamente diferentes del material original, por lo cual puede ser fácilmente manipulado y almacenado, ya que en estas condiciones no tiene mal olor.

**TABLA 4.** Valores promedio de nutrientes por tonelada de compost, pH y relación C/N de los métodos Indore, Pain y Pfeiffer

Métodos	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	pH	Relación C/N
Indore	14	30	5	40	7,3	16/1
Pain	6	29	25	35	7,7	15/1
Pfeiffer	4	30	30	42	7,6	8/1

## LUMBRICULTURA. GENERALIDADES

El hombre, en su incesante búsqueda, crea nuevos métodos en la producción de abonos orgánicos y es así como nace la lumbricultura o lombricultura, cuya denominación surge en sustitución a la diversidad de términos actualmente empleados para referirse al cultivo de lombrices. Para nombrarla fue considerada la clasificación taxonómica a la que pertenecen las lombrices, o sea, la familia Lumbricidae.

Los primeros estudios sobre el tema, y las primeras nociones sobre el hábitat y el sistema de reproducción de las lombrices, datan de 1837, en investigaciones dirigidas por el biólogo y naturalista inglés Charles Darwin.

La importancia que desempeñan las lombrices en el proceso de formación de humus en el suelo es conocida desde la antigüedad. Aristóteles (filósofo griego de la Antigüedad) definió la lombriz como "el intestino de la tierra". En Egipto era conocido que la fertilidad del Valle del Nilo se debía a la abundancia de lombrices, las que se alimentaban de restos orgánicos vegetales que el Nilo transportaba en grandes cantidades como parte de sus crecidas periódicas, los cuales después eran transformados en humus que enriquecía el terreno.

Pero no fue hasta mediados del siglo XX cuando se comenzó a pensar en la posibilidad de utilizar la lombriz de tierra en la producción de abonos orgánicos y harina para la alimentación animal a gran escala, lo cual puede ser posible gracias al descubrimiento de un híbrido de lombriz que permite su explotación industrial.

En la década de 1960, la Facultad de Biología de la Universidad de La Habana comenzó a realizar investigaciones sobre la ecología de la lombriz Roja Africana (*Eudrilus eugeneae*). Posteriormente, a partir de 1981, es que se generaliza la lumbricultura en Cuba, con la adquisición del pie de cría proveniente de Italia, el cual estaba compuesto por la especie *Eisenia fetida* (Roja Californiana). Los trabajos de adaptabilidad de la tecnología italiana a las condiciones de Cuba fueron realizados por el Dr. Jorge Ramón Cuevas.

La lumbricultura o lombricultura se define como la técnica para la transformación de los

residuales sólidos orgánicos por medio de la lombriz de tierra, técnica que permite aprovechar toda la materia orgánica, como: basuras urbanas, estiércol animal, residuos orgánicos industriales y lodos de las plantas de tratamiento de residuales, obteniéndose finalmente:

- Abono orgánico conocido con el nombre de humus o casting, de gran demanda en el mercado mundial.
- Proteína animal a partir de la lombriz de tierra, para la alimentación animal y humana.
- Un control efectivo y económico de los contaminantes sólidos orgánicos.

Es necesario destacar que el cultivo de la lombriz de tierra precisa de muy bajo costo y que como resultado brinda productos de amplia demanda en el mercado mundial y de muy buen precio.

### La lombriz de tierra

Para la puesta en práctica de la cría de lombrices se utilizan especies capaces de vivir en cautiverio ante acumulaciones de materia orgánica, sin escaparse del cultivo. De las 8 mil especies de lombrices reportadas en el mundo, solo unas pocas se adaptan a estas condiciones y son conocidas como comerciales, cuyas características (ciclo de vida, número de crías y otras) superan a la lombriz común.

En Cuba las especies más utilizadas son: *Eisenia fetida* (Roja Californiana) y *Eudrilus eugeniae* (Roja Africana).

Se ha seleccionado la *Eisenia fetida*, conocida también como Roja Californiana o lombriz de humus, para dedicarla a la producción de humus, por su alta capacidad de adaptación y prolificidad. Este tipo de lombriz ha experimentado un alto grado de adaptabilidad, por lo que su crianza y explotación se ha extendido notablemente con resultados muy halagadores en los Centros de Abonos Orgánicos, de la Agricultura Urbana en Cuba.

La lombriz de humus puede vivir en cautiverio, en poblaciones de hasta 50 000 individuos por m<sup>2</sup>. Es hermafrodita insuficiente, lo que quiere decir que no se autofecunda. Presenta alta tasa de reproducción, madura sexualmente entre el segundo y tercer mes de vida, se aparea y deposita cada 7 a 14 días una cápsula que contiene de 2 a 20 huevos, que a su vez eclosionan

pasados los 21 días. Así, una lombriz adulta es capaz de tener en un año 5 000 crías.

La lombriz Roja Californiana puede vivir hasta 16 años. Su cuerpo pesa 1 g y puede alcanzar un tamaño de 8 cm a 10 cm. Tiene cinco corazones, seis pares de riñones y ciento ochenta y dos conductos excretorios. Respira por la piel. Se alimenta, con mucha voracidad, de todo tipo de residuos orgánicos en una cantidad equivalente a su peso cada día. El aparato digestivo es espectacular: puede humificar, en pocas horas, lo que tarda muchos años a la naturaleza, generalmente expulsa el 60 % de la materia después de su digestión. Hay autores que sostienen que la tierra que ha pasado por la lombriz, comparada con la tierra vecina, es diferente, ya que tiene aproximadamente cinco veces más nitrógeno, siete veces más potasio, el doble de calcio y de magnesio.

Estas lombrices, además de la característica señalada, poseen otras por las cuales se diferencian de la conocida lombriz común.

Aunque la tecnología que se emplea en el cultivo de la lombriz no es muy compleja, es necesario que el personal reciba un mínimo de conocimientos que garantice el buen manejo del cultivo. A veces el fracaso del cultivo es atribuido a la lombriz. Esto es puramente falso: la lombriz no descansa, trabaja las 24 horas del día y los siete días de la semana; los errores del hombre por negligencia o falta de conocimientos son los que hacen fracasar el cultivo.

## Biología y ecología

### Morfología externa

La lombriz es un animal alargado, de cuerpo cilíndrico, anillado. Perteneció al *Phylum Anelida*, clase Oligochaeta. Su longitud varía entre

5 cm y 45 cm, según la especie. Su cuerpo está revestido por una fina cutícula que lo protege de la desecación.

Todos sus segmentos o metámeros son iguales, excepto el primero, que se denomina prostomio, y contiene la boca y el último pigídio donde se encuentra el ano. En la fase de madurez sexual aparece una zona diferenciada glandular, que se denomina clitelo y está relacionada con la reproducción y secreción de los capullos (figura 17).



Fig. 17 Lombriz *Eisenia fetida* (Roja Californiana).

La morfología interna y externa es empleada en sistemática para clasificar distintas especies de lombrices. La morfología externa se apoya en estructuras como: número de setas, cantidad de segmentos del cuerpo del animal, posición que ocupa el clitelo con respecto al prostomio y las características de este.

La comparación entre la lombriz común o de tierra y la que se cultiva en cautiverio para la producción comercial acelerada de humus, ofrece bases para el establecimiento de las crías artificiales en la obtención de humus abundante y de buena calidad. En la tabla 5 se detallan las diferencias mencionadas.

Tabla 5. Comparación de indicadores entre la lombriz común y la comercial

Características	Lombriz común	Lombriz comercial
Ciclo de vida	4 años	16 años
Cópula	Cada 45 días	Cada 7 días
Número de crías por cocun	2 a 4	2 a 21
Tamaño promedio	20 cm	8 cm a 10cm
Cuerpo	Flácido	Fuerte
Temperatura óptima	10 °C a 12 °C	20 °C
Hábitat	Suelo arcilloso	compost
Hábitos de vida	Hacen galerías de hasta 2 m de profundidad. Son errantes, depositan sus deyecciones en la superficie del suelo.	No emigran, viven en cautiverio. Depositán sus deyecciones en el interior de las camas.



### Morfología interna

Los anélidos, que presentan sistemas de órganos, están incluidos en la cavidad del cuerpo o celómica, que contiene el líquido celómico, que es incompresible y actúa como un esqueleto hidráulico.

La respiración es cutánea. Las lombrices necesitan tener la piel húmeda para poder captar el oxígeno, ya que en un medio muy seco no se podría llevar a cabo el intercambio. Igual ocurre con un medio muy anegado: si esta se prolonga podría provocar la muerte por asfixia.

El sistema digestivo es recto y consta de boca sin dientes, por donde entra el alimento húmedo y se dirige hacia la faringe, de aquí pasa al esófago donde se encuentran a ambos lados las glándulas calcíferas, las cuales segregan carbonato de calcio, sustancia que tiene la propiedad de neutralizar los ácidos de los alimentos. Ahora bien, si la acidez es muy elevada no puede neutralizarlos y pueden morir intoxicadas de goso ácido.

Una vez que el alimento ha llegado al esófago pasa al buche, después al estómago y de ahí al intestino. Es en este último donde actúan las enzimas que desdoblan los alimentos en sustancias más simples. Las deyecciones salen a través del ano, enriquecidas por microorganismos propios de su flora bacteriana que es del orden de  $4 \times 10^6$  colonias por gramo de humus activo.

Las lombrices diariamente consumen una cantidad de alimento equivalente a su peso corporal.

El sistema circulatorio. La sangre de las lombrices contiene un pigmento parecido a la hemoglobina y circula a través un sistema de vasos que se colocan longitudinales al dorso ventral y el subneural, además de otros cinco vasos pulsátiles anastomosados metaméricamente alrededor del esófago, que impulsan la sangre a la parte posterior del cuerpo del animal donde se encuentran los corazones. El número de corazones varía según la especie.

El sistema excretor posee un par de nefridios por segmentos, que son unos simples tubitos

por donde se eliminan las sustancias de desecho al exterior, a través de unos poros que se denominan poros nefridiales o nefridios. Estos se comunican con unos embudos ciliados que atraen las sustancias de desechos contenidas en el líquido celomático.

El sistema nervioso está representado por un par de ganglios cerebroides que se encuentran por encima del esófago. También aparece un collar periesofágico alrededor de este y la cadena ganglionar ventral. Los nervios son segmentarios y presentan componentes sensoriales y motores.

Los órganos de los sentidos poseen cerdas, papilas táctiles, fosetas ciliadas y células fotosensibles subcutáneas, las cuales no permiten la visión, pero sí perciben la luz. Las lombrices son animales fotosensibles y sus taxismos, dentro de otras cosas, corresponde a su respuesta a la luz, de la que huyen prefiriendo el hábitat oscuro. A este taxismo se le denomina fototaxismo negativo. La exposición de las lombrices a la luz natural es letal, solo la admiten durante un muy pocos minutos.

Las lombrices también pueden moverse en busca de sus alimentos verticalmente hacia arriba y bajar de la misma manera para huir de un pH ácido o muy básico. Se refugian en el humus buscando la humedad óptima. Buscan el fondo del substrato, evitando la incidencia de los rayos solares en las horas más críticas, que provocan el recalentamiento de los canteros y la desecación en la parte superior de ellos.

En la locomoción intervienen los músculos, el líquido celómico y las quetas. Cuando la lombriz quiere avanzar apoya las quetas en el substrato y el líquido celómico, ayudado por los músculos, se dirige hacia delante; la parte posterior del cuerpo del animal se acorta avanzando, entonces se retiran las quetas, seguidamente el líquido celómico se desplaza hacia detrás estirándose el cuerpo y puede comenzar de nuevo este movimiento que le permite avanzar.

En la reproducción, cuando una lombriz presenta clitelo, decimos que esta ha alcanzado

la madurez sexual, ya que este tipifica el estadio adulto.

Las lombrices son hermafroditas, es decir, poseen los dos sexos: el femenino representado por los ovarios y el masculino representado por los testículos, pero no se autofecundan, lo que quiere decir que necesitan del apareamiento de dos lombrices. El apareamiento es un acto instintivo, donde las lombrices se entrelazan estrechamente en posición invertida haciendo coincidir ambos clitelos, en esta posición pueden permanecer hasta 15 minutos, quedando en contacto el poro genital masculino en el femenino e intercambiando el material espermático. Es por eso que se plantea que la reproducción de las lombrices es cruzada.

El ciclo de vida. El acoplamiento de dos lombrices se efectúa con no menos de 7 días entre uno y otro, del cual se obtienen dos capullos, uno por cada lombriz. Si las condiciones del medio son óptimas, en cuanto a humedad y temperatura, a los 7 días ocurre el nacimiento de las pequeñas lombrices. Las lombrices recién nacidas tienen color rosado pálido, son traslúcidas y capaces de alimentarse por sí

mismas, siendo parecidas a sus progenitores, solo varían en tamaño y color. Paulatinamente se van oscureciendo en el transcurso del tiempo. A los 90 días de nacidas las lombrices son adultas, lo cual se conoce por la aparición del clitelo, en ese momento comienza su ciclo sexual (figuras 18 y 19).

La **regeneración** es la capacidad que tiene el extremo que contiene la boca, de generar toda la parte posterior del cuerpo del animal, pero es válido aclarar que el extremo posterior no puede generar cabeza. Esa capacidad no está relacionada con la reproducción.

Las **condiciones de vida** de las lombrices pueden ser controladas por el hombre, si es capaz de velar por algunos de los parámetros que influyen directamente sobre ellas, como son, principalmente, temperatura, humedad y alimentación adecuada. Cuando las lombrices están en los rangos óptimos de esos parámetros son capaces de vivir, reproducirse y producir humus, pero dejan de multiplicarse si los valores se hacen extremos, lo que puede provocar la muerte de las lombrices. En la tabla 6 se especifican los rangos de los diferentes indicadores.



Fig. 18 Ciclo de *Eisenia fetida* (67 a 87 días).

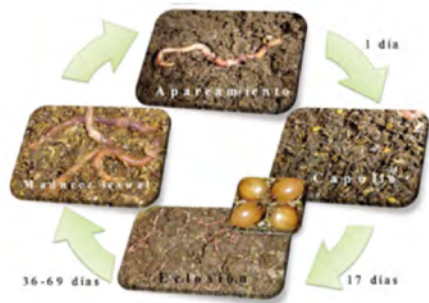


Fig. 19 Ciclo de *Eisenia eugeniae* (66 a 86 días).

Tabla 6. Índices para los parámetros evaluativos

Parámetro	Muerte	Letargo	Produce humus	Fase óptima	Produce humus	Letargo	Muerte
pH	< 5	6.5	6.8	7.5	8	8.5	>9
Temperatura	0	7	14	19-20	27	33	>42
Humedad	<50	75	80	82.5	85	88	>90

Los **trastornos fisiológicos**. La lombriz no sufre ninguna enfermedad, es por eso que hablamos de trastornos fisiológicos provocados por agentes externos que pueden ser letales. Estos factores inciden en la alimentación con la que hay que poner cuidado en su atención, porque de ella depende el rendimiento de la producción de humus. El trastorno fisiológico más conocido es el gosso ácido, que resulta de la intoxicación provocada por exceso o déficit de proteínas en el alimento; también se observa cuando existen alteraciones físico-químicas, debido a la presencia de pesticidas u otros agentes nocivos.

Los trastornos fisiológicos producidos por el gosso ácido se evidencian por:

- Movimientos rápidos tratando de escapar.
- Disminución del movimiento haciéndose lento y pesado.
- Aspecto filiforme, quedando en el fondo de las literas casi inmóviles.
- Inflamación de la región clitelar y necropsia.

En la mayoría de los casos aparecen constricciones y abultamientos a todo lo largo del cuerpo del animal; en otros, se mostrarán blanduzcas, pudiendo morir.

Es necesario aclarar, que hasta el momento no se conoce ni se reporta que las especies de lombrices más utilizadas en la lumbricultura en nuestro país sean hospederos intermedios, ni vector de parásitos dañinos a los animales ni al hombre. Sin embargo, en la alimentación de las lombrices se trabaja con excrementos de animales, los cuales sí pueden contaminar al hombre si no se cumplen las medidas sanitarias recomendadas para trabajar la lumbricultura.

### Enemigos naturales

La bibliografía internacional menciona una gran lista de enemigos naturales, entre los que se encuentran: ranas, aves, invertebrados (por ejemplo, las planarias, depredadoras de lombrices), mancaperos, ciempiés, hormigas y otros de menor cuantía.

Desde que se conforman depósitos para el fomento de la lumbricultura con diferentes

tipos de residuos, comienza la descomposición de la materia orgánica. En este proceso participan muchos organismos que colonizan el sustrato por diversos motivos, realizando múltiples funciones como alimentarse de la materia orgánica. Por ejemplo: las cochinillas, pequeñas larvas o insectos que son detritófagos, compiten con la lombriz por el alimento, sin causar daños directamente; otros depredan invertebrados o bacterias, descomponen la materia orgánica, utilizan el sustrato como escondrijo, etc. En fin, cohabitan con las lombrices sin causarles daño en condiciones adecuadas.

Las lombrices tienen otros requerimientos diferentes a la fauna acompañante, por lo que, si las condiciones óptimas para ellas cambian, como son temperatura, humedad, alimento adecuado y densidad de población requerida, se desarrollarán otros grupos de la fauna asociada y paulatinamente desplazarán a las lombrices de su hábitat.

Sin embargo, la principal defensa de la lombriz en cultivo artificial es la densidad de población. Esto significa que el efecto depredador que puede tener la presencia de ranas, ciempiés, mancaperos y otros organismos similares sobre una población, no es significativo cuando se trata de poblaciones con alta densidad.

No obstante, las hormigas sí causan un efecto perjudicial sobre las lombrices, ya que cuando se establecen lo hacen en colonias de alta densidad de individuos, ocasionando daños considerables. El método de combatir estos enemigos naturales es el riego, ya que la alta humedad en el medio impide el establecimiento de estos enemigos naturales.

Por la importancia que reviste y el nivel de afectación que ha provocado en los cultivos de lombrices en Cuba, merece especial atención la planaria, que aparece como depredador de las lombrices.

### Características generales de la planaria

La planaria es de coloración amarillo grisáceo por la región dorsal, con líneas carmelitas oscuras que se extienden a lo largo del cuerpo.

Por la región ventral el color es rosado-amarillento y se distingue una banda media más clara.

La región anterior es aguzada con dos falsos ojos no siempre visibles. La boca es ventral, situada en las tres cuartas partes del cuerpo, por la que sale una alargada faringe en el momento de atacar. Se reproduce por huevos y bipartición.

Es un depredador de lombrices, pudiendo ingerir lombrices pequeñas completas, huevos o producirles heridas por donde le extraen los líquidos del cuerpo. Este daño puede causarle la muerte o fragmentación de la lombriz por la región dañada. Resulta de poca movilidad y dentro de la materia orgánica forma como especie de rollo o paquete, es decir, se enrosca.

Como hábitat prefiere las excretas viejas con pH alrededor de 7, no muy húmedas o secas, con un contenido de humedad menor del 50 %. Se cubre con partículas de materia orgánica que se pegan a la superficie del cuerpo, enrollándose y dificultando su localización. Su mayor actividad ocurre en horas nocturnas.

Sus huevos son oscuros y se confunden con la materia orgánica; 14 planarias x m<sup>2</sup>, son capaces de afectar al 75 % de la población de lombrices y, por ende, la producción de humus de lombriz.

Para evitar su aparición deben tomarse las siguientes medidas preventivas:

- No alimentar los canteros con residuos viejos, cuyo pH sea 7.
- No permitir una larga estadía de canteros, canoas o cualquier recipiente sin cosechar.
- Mantener la humedad adecuada en el cultivo (más del 75 %).
- Extremar las medidas al trasladar pie de cría de una unidad a otra; cerciorarse de que no están contaminadas

Una vez que aparezcan deben tomarse las siguientes medidas de control:

- Si el ataque es pequeño puede eliminarse manualmente extrayéndolas y destruyéndolas lejos del cultivo.

- En caso de aparecer grandes cantidades debe separarse la capa donde están las lombrices y planarias, mecánicamente o manualmente, cosechándola y removiéndola constantemente.
- Las unidades de producción contaminadas no pueden entregar bajo ningún concepto pie de cría a otras, hasta tanto no exista pleno convencimiento de su erradicación.

## El cultivo de la lombriz

El cultivo de la lombriz se puede desarrollar a diferentes niveles:

- **Doméstica:** solo se requiere de algunas cajas, cajones o cualquier recipiente de madera u otro material, que se puede mantener en cualquier lugar de la casa o en el patio, con el propósito de utilizar como alimento para las lombrices los residuos de cocina y otros desperdicios que se originan en el propio hogar. Se puede emplear el producto (humus y lombrices) en el huerto, jardín, macetas o en la alimentación de los animales domésticos.
- **Agrícola o popular:** a pequeña o mediana escala, cuya ubicación está en los predios del propio productor (UBPC, CPA, huerto intensivo, organopónico, patios, etc.). Su objetivo fundamental es reciclar residuos de cosecha, estiércol de animales o residuos agrícolas industriales, para obtener el humus de lombriz con fines de fertilización de los cultivos del propio productor.
- **Comercial:** a mediana o gran escala, cuya finalidad es obtener humus de lombriz y comercializarlo con las empresas agrícolas nacionales e internacionales. Generalmente son grupos de productores que se dedican a la producción de humus organizados en UBPC, centros municipales y provinciales de producción de abonos orgánicos u otra estructura económica independiente. En general estas unidades poseen en explotación más de 500 m<sup>2</sup> de canteros de cultivo directo.
- **Industrial:** cuando en una unidad se ha llegado al límite de ampliación de canteros se presenta una sobrepoblación de estos animales. En ese momento aparece la lumbricultura industrial, cuyo propósito es la producción de carne de lombriz para su

posterior secado y molido, con el objetivo de obtener harina de lombriz. Este producto es un concentrado alimenticio de alto valor proteico. A este nivel se requiere de una fuerte inversión en equipos especializados.

### Condiciones necesarias para el cultivo

#### Selección del área

El área seleccionada para el cultivo puede variar en tamaño, en función de la escala a la cual se proyecte la producción —ya sea pequeña, media, en grandes cantidades— o si es a nivel popular.

Si la producción es agrícola o popular, podrá realizarse en canoas, canaletas, canaletas, cubos u otros recipientes disponibles, y no necesitará de área de pies de cría (figura 20).



Fig. 20 Lumbricultura a pequeña escala.

Si la producción es mediana o a gran escala será necesario diferenciar el área de cultivo extensivo del área de establecimiento del pie de cría (figura 20). El área de cultivo extensivo es el área destinada a la producción de humus y su tamaño será variable según el nivel de producción. Para la selección del área de cultivo extensivo deben tomarse en cuenta los siguientes factores:

- Terreno con buen drenaje sin accidentes, llano o con ligera pendiente.
- Cercanía a una fuente de agua sin contaminación.
- Establecimiento de sombra de ser necesaria.
- Orientación N-S de los canteros y tomar en cuenta la dirección de los vientos reinantes.

- Ubicación cerca de la fuente de materia orgánica para facilitar su transportación.
- La preparación, la alimentación, el riego y el mantenimiento de las áreas de cultivo con todos los requerimientos necesarios son fundamentales para lograr el feliz establecimiento del cultivo de la lombriz de tierra.



Fig. 21 Área de cultivo extensivo.

El área de pie de cría es limitada, generalmente bajo sombra y está formada por un conjunto de canoas u otro recipiente que contendrá el pie de cría, cuyo número es variable según el propósito de producción (figura 22).



Fig. 22 Área para el pie de cría.

Se recomienda un mínimo de 16 canoas como pie de cría por hectárea de cultivo extensivo, aunque su número dependerá de la escala a la cual se pretende producir. Es aconsejable el establecimiento del pie de cría en las canoas u otro recipiente cerrado, porque de

esta forma se logra un mayor control de todas las condiciones, lo cual es fundamental para lograr una alta densidad de población de lombrices. La disposición de las canoas dentro del área debe facilitar el regadío y el trabajo del personal, por lo que se recomienda se disponga en hileras de a dos dejando una calle entre cada par, para facilitar el paso del tractor con la carreta alimentadora o la carretilla. Esta disposición permitirá además la ubicación del regadío.

### **Preparación del área para producciones a pequeña escala**

La producción a pequeña escala o a nivel popular puede realizarse en diferentes recipientes (canoas, canaletas, cubos, etc.). La experiencia actual recomienda que el recipiente tenga las siguientes dimensiones: de 1,5 m a 2 m de largo y una profundidad de 0,60 m. Esto depende de las posibilidades del productor. Para la preparación del recipiente se deben seguir estas recomendaciones:

- Abrirle huecos laterales para lograr un buen drenaje y evitar que el agua se acumule.
- A continuación, añadir una capa de 15 cm a 20 cm aproximadamente de excreta.
- Regar bien para lograr la humedad necesaria.
- Sembrar las lombrices teniendo en cuenta siempre que la densidad de lombrices al comienzo debe ser de 5 000/m<sup>2</sup>. La siembra debe hacerse esparciendo las lombrices por toda la superficie a cultivar.

La siembra de las lombrices es uno de los pasos más importantes, ya que pueden perderse las lombrices y de esta forma fracasar su cultivo.

### **Preparación del cultivo en producciones a mediana y gran escala**

El cultivo de la lombriz para la producción de humus a mediana y gran escala se realiza en canteros, los cuales constituyen el módulo de crianza, puesto que allí las lombrices han de nacer, crecer y producir humus.

Los canteros pueden tener un tamaño variable de acuerdo con la configuración del área que se disponga, aunque en general las dimensiones más usadas son de 1 m a 1,5 m de ancho y el largo de 20 m a 30 m.

Para establecer el cultivo en estas condiciones se procede de la siguiente forma:

- Se coloca una capa de 10 cm a 15 cm del material orgánico previamente adecuado en la superficie del terreno.
- Se humedece con agua el material.
- Se siembran las lombrices de una canoa, esparciéndolas de forma que se cubran 10 m de cantero, para así lograr la densidad necesaria y el cultivo comience sin dificultades.

Para pasar las lombrices de la canoa o recipientes al cantero se procede de la siguiente forma: se toman los 20 cm superiores de la canoa y se esparcen sobre el cantero; se echan 10 cm de excreta en la canoa y regamos inmediatamente. Esta operación se repite mientras existan lombrices en la canoa. Después de realizado todo lo anterior, la parte inferior restante se saca, siendo este material humus con un 5 % de lombrices. En caso de que no se recoja el humus y se quiera mantener la canoa con el pie de cría, se procede a echar 10 cm de excreta y seguidamente regar, de esta forma se mantiene la canoa con el pie de cría.

### **Diseño de campo**

En el caso de las producciones a gran escala, las áreas de cultivos deberán diseñarse para lograr el máximo de eficiencia y productividad. El diseño de campo del cultivo resulta de la conjugación armoniosa de los siguientes factores que no deben afectarse unos a otros: cultivo, regadío, sombra y mecanización.

El cultivo de la lombriz de tierra se realiza en canteros de 1 m a 1,5 m de ancho y una altura variable que depende de la edad del cantero. Este cantero debe ser alimentado periódicamente y regado a diario, varias veces, en períodos cortos según la temperatura, guiándose principalmente por la apariencia del cantero sin establecer plazos fijos y cosechado cuando las lombrices alcancen el óptimo de densidad de población, o cuando la altura del cantero así lo determine. El diseño de campo tomará en cuenta las características necesarias para estas labores, para lo cual el área debe constar de las siguientes subáreas:

- Canteros de 1 m de ancho y el largo que permita el terreno (aunque es aconsejable

utilizar canteros de 30 m), dejando un espacio entre ellos para ubicar el regadío y la sombra de ser necesaria.

- Cada par de canteros estará separado por una calle de 2,5 m, por donde transitará el tractor con la carreta alimentadora.

En el diseño de campo debe tenerse en cuenta el espacio para las estercoleras, así como el área para el viraje del tractor con la carreta alimentadora a los extremos del camino, que debe ser de 8 m aproximadamente. La ubicación de las canoas con el pie de cría puede estar a los lados del campo o situarse en área aparte. Este diseño está determinado por la maquinaria de tiro lateral, pudiendo modificarse para la maquinaria que trabaja a horcajadas sobre el cantero.

### Riego

La humedad de los canteros y canoas se obtiene con el regadío, aunque si no se dispone de él, se puede garantizar mediante manguera, regadera, etc. El regadío idóneo para este cultivo es el microaspersor, ya que brinda una gota fina, que crea un microclima húmedo sobre el cantero, favoreciendo la humedad de este (figura 23).



Fig. 23 Riego con microaspersores.

El regadío de las lombrices debe garantizar alrededor de 80 % de humedad. Este punto óptimo se puede determinar mediante los métodos convencionales para humedad del

suelo, que se aplican actualmente. El regadío, además de brindar la humedad requerida por la lombriz en su desarrollo, ejerce un efecto beneficioso sobre la temperatura, sobre todo en los meses de intenso calor, por lo que se recomienda en lugar de uno o dos riegos largos, aplicar varios durante el día, de corta duración, para alargar su efecto reductor sobre la temperatura. Otros tipos de regadíos pueden utilizarse, aunque no con óptimos resultados como los que brinda la microaspersión, la manguera perforadora y el *spring*.

Con la manguera perforadora se obtiene también una gota pequeña y ahorro de agua con el microaspersor, no así con el *spring*, cuya gota más gorda compacta el cantero haciendo más difícil el trabajo de la lombriz. No obstante, si no se dispone de los dos métodos de regadío descritos anteriormente, el *spring* puede utilizarse.

Cuando no se dispone de sistema de regadío, sino de mangueras o regaderas, debe tenerse el cuidado en la uniformidad del riego. A veces la cobertura utilizada para la protección del cantero contra la evaporación como son sacos de yute, guano, etc., impiden que el agua del regadío llegue al cantero uniformemente. Por ejemplo, cuando se utiliza el guano, el agua corre por las hojas, desviándose esta fuera del cantero. En estos casos es recomendable retirarlo antes del riego y colocarlo nuevamente una vez terminado. Si se riega con manguera debe afinarse la punta, mediante la precisión de esta para favorecer la formación de gotas pequeñas por las causas ya explicadas.

### Alimentación

La alimentación de las lombrices se realiza fundamentalmente con materia orgánica proveniente de las excretas animales, preferiblemente vacuna, aunque se puede utilizar también excreta porcina proveniente de los residuales del lecho de secado, excreta caprina carnero, chivo u oveja de conejo, equino, cachaza, pulpa de café y otros (figura 24). Además, se puede utilizar, aunque con investigaciones previas, lodos de las plantas de tratamiento de residuales urbanos, desechos de plantas

beneficiadoras de frutas y otros muchos desechos orgánicos, entre ellos, el papel.



**Fig. 24** Lombrices alimentadas con estiércol.

La lombriz de tierra es capaz de ingerir todos los materiales con excepción de metales, vidrio, plásticos y gomas. Todo alimento debe ser administrado a la lombriz con características que permitan su ingestión, si se tiene en cuenta que no tiene un aparato masticador y precisa succionar por la boca. Por tanto, debe tener las siguientes características:

- Un pH alrededor del neutro.
- Un grado de humedad que le permita su ingestión.
- Lo suficientemente desmenuzada y mullida.
- La no presencia de sustancias tóxicas o dañinas para la lombriz.

Siempre y cuando se cumplan estos requisitos pueden suministrarse diferentes fuentes de materia orgánica y obtener buenos resultados al mezclarlas. Un efecto altamente beneficioso se ha observado con el papel, ya que está demostrado que un aumento en el contenido de celulosa en la alimentación favorece la reproducción; además, neutraliza el efecto de excretas con un pH alto y se recomienda utilizarlo habitualmente en la alimentación de las lombrices.

#### **Cantidad y periodicidad del alimento**

La cantidad de excretas que se deben suministrar y la frecuencia están determinadas por

la concentración de lombrices que contenga el cantero o la canoa. Como norma general se aplica una capa de excreta de 15 cm de espesor cada 10 días; sin embargo, esto lo determina la densidad de población, ya que a mayores concentraciones de lombrices consumirán el alimento más rápidamente.

Una forma simple de saber la necesidad de alimento es observando la superficie del cantero. Generalmente el humus recién excretado por las lombrices tiene la apariencia de la borra de café; si se observa detenidamente este material se ve la formación de pequeños tabaquitos. Cuando la superficie presenta esta apariencia, en su gran mayoría es síntoma inequívoco de que es necesario alimentar. Ello sucede, porque las lombrices comen en la superficie en horas de la noche, lo que constituye una señal indicadora de que han comido todo el alimento. Mediante esta observación podremos determinar con exactitud la frecuencia y el espesor de la capa de alimento que se debe aplicar.

#### **Densidad de la población**

Se define a la cantidad de individuos presentes por unidad de área. La densidad de población de un cultivo de lombrices puede llegar a su clímax cuando las condiciones para su desarrollo son óptimas. Si la población de lombrices es numéricamente superior a la de sus enemigos, pueden dominar en la comunidad, pero para que esto ocurra ellas necesitan de un espacio vital donde se le facilite su desarrollo.

Cuando en un área pequeña hay alta densidad de población, los alimentos comienzan a escasear y el espacio vital se reduce, dominando los individuos más fuertes y mejor adaptados. En estos casos pueden observarse migraciones de las poblaciones adultas y escasez de huevos en el cultivo, entre otros fenómenos. Para realizar el muestreo debemos utilizar un monolito, un instrumento que se utiliza para sacar muestras: con él se extrae un bloque del material que se va a muestrear, de la profundidad deseada con un área de 20 cm x 20 cm (400 cm<sup>2</sup>). En la muestra tomada se cuentan las lombrices adultas, juveniles y los capullos (figuras 25 y 26).





**Fig. 25** Toma de muestra para la evaluación de la población de lombrices.



**Fig. 26** Conteo de lombrices adultas, juveniles y capullos.

Los datos se deben expresar en  $m^2$ , ya que de esta forma se pueden establecer comparaciones. Para llevar los datos de un área de  $400\text{ cm}^2$  a  $1\text{ m}^2$  solo se necesita multiplicar los valores obtenidos por 25. Por ejemplo:

Número de adultas  $\times 25 = \text{Adultas} \setminus m^2$

Número de juveniles  $\times 25 = \text{Juveniles} \setminus m^2$

Número de capullos  $\times 25 = \text{Capullos} \setminus m^2$

El muestreo se debe realizar en los canteros y las canoas, para determinar la cantidad de lombrices y capullos. Las muestras se deben sacar de cada uno de los extremos del cantero y la canoa, en dependencia del tamaño, y siempre en horario de la mañana. Aunque se recomiendan estas medidas para el monolito de muestreo, se pueden utilizar otras, la única condición es que este tenga 10 cm de alto y conocer el área.

### Pie de cría

Se denomina pie de cría a la cantidad de lombrices necesarias en cuanto a peso, o número, que permite efectuar una siembra y facilita obtener una población de lombrices fuertes para ser cultivadas, teniendo en cuenta el material acompañante (substrato) que le sirve de hábitat y alimento (figura 27).



**Fig. 27** Pie de cría de la lombriz *Eisenia fetida*.

En cuanto a peso se deben sembrar 2 kg de lombrices por  $1\text{ m}^2$  de superficie. En cuanto al número de lombrices, la experiencia acumulada ha demostrado que sembrando 5 000 lombrices por  $m^2$  de cultivo, a los 3 meses se obtienen de 11 mil a 16 mil lombrices.

Cuando el pie de cría se transporta a grandes distancias se debe hacer en cajas, preferiblemente de 60 cm de largo  $\times$  30 cm de ancho  $\times$  25 cm de alto, de madera y sin cierre hermético, para facilitar la ventilación de la excreta y de las lombrices (figura 28).



**Fig. 28** Recipiente para transportar las lombrices.

Las lombrices no deben permanecer más de 72 horas en las cajas de transportación y se debe cubrir con papel la parte superior de la superficie de la excreta, donde está el pie de cría, para conservar la humedad necesaria, la que a su vez sirve de alimento a las lombrices

durante el viaje. Se ha comprobado que el pie de cría se puede trasladar por aire o tierra sin que se afecte durante la transportación, aun cuando se efectúa entre países. No obstante, cuando la distancia que se va a recorrer no es mucha, se puede trasladar el pie de cría en cualquier recipiente, siempre que se mantenga buena alimentación, temperatura y humedad, y que el lugar donde se va a ubicar se encuentre previamente preparado.

### Prueba de caja

La prueba de caja no es más que una prueba biológica, donde se utiliza la lombriz como animal de ensayo. Esta se realiza para conocer el estado de la excreta que se va a aplicar, ya que no basta con conocer que el pH sea adecuado; a veces hay sustancias químicas que no alteran el pH y son perjudiciales para las lombrices, por ejemplo, los pesticidas. Esta prueba consiste en colocar cincuenta lombrices en una caja, con el alimento que se va a utilizar en los canteros o canoas. A las 24 horas se deben contar las lombrices vivas y si hay más de cuarenta y nueve, el alimento puede utilizarse. Si hay menos de cuarenta y nueve lombrices vivas, la excreta no puede utilizarse.

La prueba de caja es de obligatorio cumplimiento antes de proceder a la alimentación de canteros y canoas. De no realizarse pueden ocurrir accidentes catastróficos en el cultivo (figura 29).



Fig. 29 Prueba de la caja con diferentes alimentos.

### Organización del área de estercolero

Generalmente la excreta fresca presenta valores de pH superiores a 8, por lo que es recomendable su utilización como alimento

para las lombrices. Esta excreta fresca puede conocerse fácilmente por su color verdoso, su fuerte y desagradable olor, su exceso de humedad y su temperatura, que es generalmente alta por los procesos de fermentación que se llevan a cabo con ella. Es así que el área de almacenamiento de la excreta debe organizarse de tal forma que garantice la disponibilidad de esta en la forma adecuada. Con este objetivo se recomienda que, a medida que llegue la excreta de la vaquería o de su fuente de origen, se determine el pH y se realicen tantas pilas como sean necesarias, numerándolas y clasificándolas por su estado de descomposición. De esta forma se irán utilizando las de pH más adecuado, dando tiempo a la maduración del resto de las pilas. Para acelerar el proceso de fermentación se recomienda virar las pilas.

### Muestreo

El muestreo es una de las labores más importantes que se realizan para que el cultivo se establezca sin dificultades; por medio de este se puede conocer cómo se encuentran las poblaciones, la cantidad de lombrices y capullos en cada uno de los perfiles. Si la población de lombrices tiene todas las condiciones que necesita para su desarrollo, habrá una densidad superior a las 20 mil lombrices x m<sup>2</sup>. Como ya se dijo, el número de capullos es muy importante, ya que, si las condiciones no son favorables, la reproducción disminuye. Cuando las lombrices tienen las condiciones óptimas aumenta el número de apareamientos. Otro dato que proporciona el muestreo es la relación entre juveniles y adultas. En una población sana deben encontrarse todos los estadios de vida de las lombrices. Cuando una población solo tiene lombrices adultas es que no hay reproducción y cuando solo hay juveniles, las condiciones son adversas, ya que este estadio es el más resistente. El muestreo se debe realizar en los canteros y las canoas para determinar la cantidad de lombrices y capullos. Las muestras se deben sacar una de cada uno de los extremos del cantero y la canoa, y uno del centro (según el tamaño), para tener así datos representativos de la realidad. Las muestras se deben recoger en bolsas de nailon, señalando claramente a qué parte del cantero pertenecen, para poder llevar el control del número de lombrices y capullos sin dificultad, y de esta

forma hacer las comparaciones necesarias entre las muestras y los muestreos. El conteo del número de lombrices y capullos nunca debe ser pasadas las 24 horas de sacada la muestra, ya que se pudiera afectar la población.

Al evaluar el muestreo, el número de capullos debe estar por encima de los 500/m<sup>2</sup>; los individuos adultos deben representar el 40 % del total de lombrices y los juveniles el 60 %. Los muestreos se deben realizar mensualmente para saber cómo se va desarrollando el cultivo de lombrices.

### Extensión del cultivo

Una vez que se ha efectuado el muestreo y ha brindado las cantidades óptimas de lombrices, se procede a la ampliación del cultivo que se conoce como desdoble.

- Extensión del pie de cría. Procedimiento: se divide la canoa en dos partes, transversalmente, y se sacan los 10 cm superiores de la primera mitad, cubriendo con excreta nuevamente toda la superficie y regándose para facilitar la humedad necesaria. La capa de 10 cm extraída se pone en una nueva canoa; pasada una semana se repite la operación, transfiriendo la nueva capa de estiércol a otra canoa de la forma ya explicada. A la tercera semana, se repite la operación hacia la segunda canoa y no se alimenta, ya que la parte inferior, o sea, la restante, es el humus, el cual se extrae conteniendo aproximadamente 5 % de lombrices. Terminada esta operación, en la canoa original se esparce la mitad restante hacia toda la canoa y se aplican 10 cm de excreta vacuna u otro alimento. De esta forma se obtienen dos nuevas canoas de pie de cría, a partir de la canoa original.
- Extensión de canteros: cuando el cantero alcance densidades superiores a las 20 mil lombrices por m<sup>2</sup> se procede a la extensión, que se realiza de manera muy parecida a la descrita para la canoa, con el objetivo de aumentar el área de cultivo. Para iniciar la extensión parcial se preparan tres nuevos canteros de 10 cm a 15 cm de altura del alimento que se va a utilizar. Al llegar el momento del desdoble se alarga el último proceso de alimentación a 15 días, en vez de a 10, como se acostumbra para lograr

hambre en la lombriz y que suba la mayor cantidad posible al nivel entre 0 cm y 10 cm. Se transportan los primeros 10 cm de la capa superior del cantero, esparciéndose en otro cantero nuevo que se ha preparado para recibir este contenido. Se alimentan ambos canteros, en toda su superficie, tanto el recién formado como al que se le extrajeron los 10 cm. A la semana siguiente se repite la operación que sería la segunda, se alimenta y riega, y se continúa hasta un tercer paso donde se han trasladado las restantes lombrices.

### Cosecha del humus y las lombrices

La cosecha se realizará con no más de 4 meses de permanencia en el cantero y 60 cm de altura. Esta consiste en separar el humus de las lombrices y aunque se recomienda realizarla cuando el cantero alcanza los 60 cm de altura, se puede hacer antes, en dependencia de la necesidad del productor, pero nunca por encima de los 60 cm. Esto garantizará un rendimiento estimado de 0,75 t/m<sup>2</sup>/año.

1. Método con malla. La cosecha puede realizarse de diferentes formas, aunque la más efectiva resulta colocando una malla en la superficie del cantero y depositando el alimento sobre esta; al cabo de 3 o 4 días cuando las lombrices suban a comer (lo cual se aprecia visualmente), se retira la malla y con ella las lombrices. Esta operación se repite cuantas veces sea necesaria (figura 30).



Fig. 30 Método de la malla para cosechar humus.

2. Método del raspado. Manualmente se extraen los 10 cm superiores de toda la superficie de la canoa con la ayuda de una pala y un vagón; se vierte ese contenido en una canoa de nueva creación, se alimentan y se riegan. En la segunda semana, se extraen de la misma canoa o canteros otros 10 cm, se depositan en una segunda canoa de nueva creación, se alimentan ambas y se riegan; entonces las lombrices subirán a la excreta a comer de ella. Ya en la tercera semana se extraen los últimos 10 cm superiores, donde queda aproximadamente el 5 % de las lombrices. De esta forma se extrae el humus que está en el fondo de la canoa o cantero (figura 31).



Fig. 31 Método del raspado.

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

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

### Almacenamiento del humus de lombriz

Los estudios realizados hasta la fecha en lo que concierne al almacenamiento del humus una vez cosechado, independientemente de las formas que se utilicen, demuestran que después de los 9 meses se producen pérdidas

en su calidad. Los rangos que se deben considerar para evaluar la calidad del humus establecen varias categorías con parámetros bien definidos:

- Superior: más del 50 % de MO y C/N de 10 a 15.
- Primera: de 40 % a 49 % de MO y C/N de 15 a 20.
- Segunda: de 30 % a 39 % de MO y C/N de 20 a 25.
- Tercera: menos de 30 % de MO y C/N mayor de 25.

### Medidas sanitarias

El cumplimiento de las medidas sanitarias en el trabajo con el cultivo de las lombrices es muy importante, ya que se trabaja con excretas y estos materiales son potencialmente portadores de parásitos y enfermedades, por tanto, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Trabajar con guantes y botas de goma, que se puedan dejar en el lugar de trabajo.
- Una medida obligatoria es el aseo intenso de las manos con jabón amarillo o desinfectol preferentemente y cepillar bien las uñas cada vez que se termine el trabajo o antes de ingerir algún alimento.
- No se puede fumar mientras se está trabajando.
- La ropa utilizada debe permanecer en el área.

### Ventajas de la lombricultura

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

- Resulta un producto biológico y orgánicamente superior, que tiene el título del mejor de los fertilizantes: 1 t de humus equivale a 10 t de estiércol.
- Soluciona la carestía cada vez más acusada y la falta de fertilizantes orgánicos para aumentar la producción agrícola.

- Sustituye los fertilizantes químicos cada vez más costosos y contaminantes.
- El humus de lombriz tiene una alta calidad, debido a su efecto en las propiedades biológicas del suelo. Se dice que “vivifica el suelo”. Presenta 2 billones de colonias de bacterias por gramo de humus.
- Es un estimulador biológico de la fertilidad por el aporte equilibrado que hace de vitaminas fitorreguladoras naturales, auxinas, enzimas, microelementos y macroelementos, ácidos húmicos y fúlvicos.
- Respuesta ecológica inmediata regenerando suelos estériles, debido al uso indiscriminado de fertilizantes químicos que los ha llevado a un agotamiento.
- Ya se ha convertido, por todas sus propiedades, en un producto codiciado que puede ser utilizado en todos los renglones de la producción agrícola.
- Fuente de proteína, ya que las lombrices pueden ser utilizadas vivas o como harina de lombriz. Cuando se emplean vivas su destino lo constituyen las instalaciones dedicadas a la acuicultura y cría de peces, como: truchas, carpas, salmones y últimamente anguilas.
- En forma de harina se puede emplear en la preparación de piensos compuestos y correctores proteicos, pues su alto contenido, en cuanto a cantidad y calidad, la hacen idónea para esta actividad, utilizada en la dieta de aves y la ganadería.
- La lombriz posee un alto contenido de aminoácidos que permite un uso farmacéutico, a partir del cual se extraen y pasan a formar parte de reconstituyentes vitamínicos-aminoácidos, indicados en el tratamiento de personas débiles, ancianos, niños. Igualmente puede ser utilizada en veterinaria.
- Uso en la pesca deportiva, donde los expertos plantean posibilidades más ventajosas en cuanto a movilidad, textura y color, por parte del híbrido rojo californiano en relación con otras especies.
- El humus de lombriz es un abono orgánico abundante en nutrientes. Por esta razón puede ser utilizado en dosis más bajas que el resto de los abonos orgánicos, lo que garantiza la fertilidad de suelos y sustratos.

La cantidad que se debe emplear depende de la modalidad de cultivo que se explote. A continuación, se recomiendan algunas dosis de humus:

- Huertos familiares: 600 g/m<sup>2</sup>
- Flores: de 20 g/planta a 50 g/planta
- Césped: 500 g/m<sup>2</sup>
- Macetas: ocho cucharadas por maceta.
- Plantas medicinales: de 30 g/planta a 40 g/planta.
- Huertos Intensivos: de 0,6 kg/m<sup>2</sup> a 1 kg/m<sup>2</sup>.
- Organopónicos: de 0,6 kg/m<sup>2</sup> a 1 kg/m<sup>2</sup>.

## ABONOS LÍQUIDOS

Entre los abonos líquidos más comunes que se pueden utilizar en la Agricultura Urbana están la orina y el té de estiércol.

### Orina

La orina es un abono rico en nitrógeno. Se estima que 1 L de orina equivale a 20 g de nitrógeno. La orina de los animales se puede coleccionar en los establos, cuyo piso es cementado. Es necesario que la orina se guarde en un recipiente con tapa para evitar malos olores, moscas y que se pierda su valor fertilizante. Para aplicar la orina como abono se debe diluir 1 L de orina en 5 L de agua fresca (figura 32). A continuación, se asperja la dilución al follaje de las plantas. El resultado se verá a los pocos días. Su acción en las plantas es similar a la que produce la urea.

### Té de estiércol

El té de estiércol es una preparación que convierte el estiércol sólido en un abono líquido. En el proceso de hacerse té, el estiércol suelta sus nutrientes al agua y así queda disponible para las plantas.

En la preparación del té se colocan 12 kg de cualquier tipo de estiércol y una piedra grande para darle peso; se amarra bien el saco con una cuerda, luego se introduce el saco en un tanque con capacidad para 200 L de agua, se tapa y se deja fermentar durante dos semanas. Al cabo de ese tiempo se retira el saco quedando listo el té de estiércol.

Para aplicar este abono debe diluirse una parte de té de estiércol en una parte de agua fresca y limpia; posteriormente se aplica en bandas a los cultivos o alrededor de los árboles frutales hasta donde se extienden las ramas. También puede aplicarse este abono a través de la línea de riego por goteo (200 L/ha) cada 15 días (figura 33).



Fig. 32 Preparación de abono foliar de orina.



Fig. 33 Preparación del té de estiércol.



## CÁLCULO DE LA DISPONIBILIDAD DE MATERIA ORGÁNICA

Para alcanzar la debida uniformidad en el proceso de cálculo se deben tener en cuenta los índices que se exponen en la tabla 6.

Para determinar la producción de excretas sólidas de estiércol vacuno hay que tener en cuenta que:

- En cebaderos de toros estabulados es de 8 kg/día/animal.
- En centros de preceba estabulada es de 4 kg/día/animal.
- En centros de recría típicos es de 1 kg/día/animal.
- En centros de recría rústicos la producción de excretas sólidas es de 0,5 kg/día/animal.
- En vaquería típica es de 5 kg/día/animal.
- En vaquería rústica es de 2 kg/día/animal.
- En centros de ceba no estabulados típicos es de 5 kg/día/animal.
- En centros de ceba no estabulados rústicos es de 2,5 kg/día/animal.

Para el cálculo de los potenciales en la producción de excretas sólidas porcinas hay que tener en cuenta que:

- En cebadero la producción es de 5 kg/día/animal.
- En centros de cría es de 1,5 kg/día/animal.
- En centros de multiplicación es de 5 kg/día/animal.

Para el cálculo de los potenciales de producción de gallinaza hay que tener en cuenta que:

- Ponedoras en jaulas es de 101 g/día/animal.
- Reemplazo de ponedoras inicio en piso/camada de 46 g/día/animal.
- Reemplazo de ponedoras desarrollo en jaulas es de 55 g/día/animal.

- Productor ligero (crianza) en piso/camada es de 85 g/día/animal.
- Reemplazo reproductor ligero en piso/camada es de 46 g/día/animal.
- Ceba en piso/camada es de 44 g/día/animal.
- Reproductor pesado en piso/camada es de 98 g/día/animal.
- Reemplazo de reproductor pesado en piso/camada es de 60 g/día/animal.
- Un matadero de aves puede producir 300 t/año a 600 t/año de material sólido.

Para el cálculo de los potenciales en la producción de pulpa de café hay que tener en cuenta que:

Una lata de café cereza pesa 12,7 kg. y el residual sólido a utilizar como materia orgánica sin considerar mermas representa el 40% de la producción cafetalera de la zona. También se puede asumir la misma proporción en el café de despulpe.

Para el cálculo de los potenciales de producción de otras fuentes hay que tener en cuenta que:

- Un ovejo produce 0,5 kg/día/animal de excretas sólidas.
- Un equino produce 10 kg/día/animal de excretas sólidas.
- En Cuba por cada millón de toneladas de azúcar fabricadas se producen 285 mil toneladas de cachaza.
- En el caso del guano de murciélago cada tonelada extraída puede usarse directamente, siendo necesaria una adecuada coordinación con el MINSAP.

Observaciones: para calcular los materiales que en forma de montones se pueden encontrar, se deberá determinar el volumen de las mismas teniendo en cuenta largo x ancho x alto y después se multiplican por el factor de conversión a toneladas según la tabla 7.

**Tabla 7.** Índices de conversión de metros cúbicos a toneladas métricas

Tipo de materia orgánica (1 m <sup>3</sup> )	Conversión a toneladas métricas
Estiércol fresco (cebadero)	0,7
Estiércol fresco (vaquería)	0,4 a 0,5
Estiércol fresco (procesado)	0,6 a 0,7
Gallinaza	0,3 a 0,4
Turba con 60 % de humedad	0,6 a 0,8
Cachaza	0,5 a 0,6
Pulpa de café	0,25 a 0,35
Estiércol porcino	0,5 a 0,6
Estiércol porcino (laguna facultativa)	0,7 a 0,8
Cáscara de arroz, aserrín, paja de caña, ceniza, residuos de silos, residuos de cosechas y otros.	0,2 a 0,3
Otros estiércoles (ovino, equino, conejo)	0,5

## Bibliografía

- BURÉS, SILVIA. *Sustratos*. En: Agrotecnia. Madrid. España. 342 p. 1997.
- CARRIÓN, M. /et al/. *Sustrato para organopónicos comportamientos de diferentes mezclas*. En: AGRONAT 97-Universidad de Cienfuegos, 7p., 1997.
- CARRIÓN, M. *Fertilidad y rendimientos para la producción de hortalizas en la Agricultura Urbana*. En: Organopónicos y la producción de alimentos en la Agricultura Urbana. Seminario Taller. FIDA- MINAG-CIARA (s.a) 11-15p., 2000.
- CARRIÓN, M. /et al/. *Hidroponía Orgánica en Cuba*. En: Curso taller Internacional de hidroponía. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria. La Molina, 16-34p., 1996.
- CASADO, G. I. *Cultivos de Hortícolas en Agricultura Ecológica*. En: Comité de Andalucía de Agricultura Ecológica. (C.A.AE). Sevilla. Boletín 3.3. 10p., 1998.
- CID BALLARÍN, MA DEL CARMEN. *Materiales utilizados en la elaboración de sustratos*. En: Agrícola Vegetal (141) 492-500p., 1993.
- COMPANIONI, N. /et al/. *La Agricultura Urbana en Cuba*. En: Revista Latinoamericana de Desarrollo Rural. 4 (5). 47-53p., 1999.
- COMPANIONI, N. /et al/. *La producción de alimentos en las ciudades de Cuba y su impacto en la población. Estructura y fundamentos orgánicos*. En: III Curso de Agricultura Tropical. La Habana, 98-117p. 1999.
- D. HOORE. J. *Influence de la mise en culture sur evolution des sols dans la zone de foret dense de basse et attitude*. En: Tropical Soil and Vegetation. Unesco, 49-58. 1961.
- DALZIELL, H. W. /et al/. *Manejo del suelo. Producción y uso de composts en ambientes tropicales y subtropicales*. Roma. En: FAO, 177p. 1991.
- DAVIN, B. *Consideratios sur interpretation agromique analyses de solen pays tropicaux. Rapp*. En: VI e Congr. Inst. Sci, Paris, Vol DÑ 403-409. 1956.
- FONSECA R. /et al/. *El humus de lombriz como variante de sustitución del fertilizante mineral en el cultivo del tomate*. En: IV Encuentro de Agricultura Orgánica. ACTAF. La Habana, 299-300p., 2001.
- FREDDY, TIRO P. *El Impacto de los residuales del beneficio industrial del café: perspectivas como abonos orgánicos*. En: Trópico 99. La Habana, 231p., 1999.
- GANDARILLA, J. L. y MARTÍNEZ, F. *Manipulación y uso del humus de lombriz en cuba*. En: IV Encuentro de Agricultura Orgánica. ACTAF. La Habana, p. 289., 2001.
- GANDARILLA, R. /et al/. *Alternativas para la Nutrición de los cultivos en Organopónico*. En III. Humus de lombriz. En: Memorias del Primer Taller sobre Mejora-miento y Conservación de suelos. 90p., 1994.
- GUERRERO, B. *Abonos Orgánicos*. En: Tecnología para el manejo ecológico del suelo. Lima Perú, 90p., 1993
- HERMOSO, D, GIRÓN, C., TORLERO J, GONZÁLEZ, L. *Producción de Vermicompost a partir de cáscara de cacao. Su efecto sobre el crecimiento de plántulas de Capsicum annum*. En: IV Encuentro de Agricultura Orgánica. ACTAF. La Habana p. 293, 2001.
- ICIDCA. *Instructivo para la elaboración de compost (abono orgánico) a partir de la Agroindustria Azucarrera*. En: Dirección de Agrotecnia. MINAZ. p. 39, 1991.
- KOLMANAS, ENRIQUE y DARWIN VÁZQUEZ. *Manual de Agricultura Ecológica*. En: MAELA-SIMAS, 27-103p., 1996.
- MARTÍNEZ C, MARTÍNEZ J. C. *Lumbricultura y agricultura orgánica*. En: IV Encuentro de Agricultura Orgánica. ACTAF. La Habana, 293-294p., 2001.
- MARTÍNEZ, C. y MARTÍNEZ J. C. *Lumbricultura Técnica Mexicana*. México. En: IV Encuentro de Agricultura Orgánica. ACTAF. La Habana, 289-290p., 2001.
- MARTÍNEZ RODRÍGUEZ FRANCISCO, /et al/. *Basura Urbana, Lumbricultura y el peligro de contaminación de sus productos*. En: 2do. Congreso Iberoamericano de Química y física ambiental, Varadero, 102p.,2001.
- MAYEA SILVERIO, S. *Instructivo para la elaboración de compost (Biotierra) a partir de desechos de la agricultura mediante el uso de inóculos microbianos*. 14p., 1993.
- MINAGRI. *Manual Técnico de organopónicos y Huertos Intensivos*. En: Grupo Nacional de Agricultura Urbana. 145p. 2000.
- MINAGRI. *Grupo Nacional de Agricultura Urbana*. En: V Encuentro Nacional de Agricultura Urbana, Santiago de Cuba, 2001.
- ORTEGA SASTRIGUES, F. *Composición fraccional del humus en suelos de Cuba* En: Tesis para opción del grado a Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto de Suelo, La Habana, Cuba. 1985
- PANEQUE, V. M. *Abonos orgánicos*. En: Conceptos prácticos para su evaluación y aplicación. La Habana, 3p., 1998.
- PANEQUE, V. M. y CALAÑA, J. M. *Valor fertilizante de los residuales líquidos de la industria azucarera y sus derivados*. En: IV Encuentro de Agricultura Orgánica. ACTAF. La Habana, 163p., 2001.



Peña, E.; Companioni, N.; Carrión, M. y Rodríguez, A. *La materia orgánica: Factor decisivo en la fertilidad de los suelos y sustratos*. En: III Curso de Agricultura Tropical. La Habana, 135-157p., 1999.

PEÑA, E.; COMPANIONI, N.; CARRIÓN, M. Y RODRÍGUEZ, A. *Abonos Orgánicos: Su producción y manejo*. En: Organopónicos y la producción de alimentos en la Agricultura Urbana. Seminario-Taller. FIDA-MINAG-CIARA., 16-25p., 2000.

PEÑA E. COMPANIONI N, CARRIÓN M., RODRÍGUEZ. *La materia orgánica: Su producción y manejo*. En: Organopónicos y la producción de alimentos en la Agricultura Urbana. Seminario- Taller. FIDA.MINAG-CIARA. p. 16-25. 2000.

PEÑA E. *La Cachaza como sustrato en Organopónicos*. En: Segundo Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. La Habana, 1995.

PEÑA. R. *Dos métodos de obtención de abonos orgánicos a partir de los residuales de la industria del cítrico, impacto sobre el medio ambiente y su evaluación*. En: IV Encuentro de Agricultura Orgánica. ACTAF. La Habana, 292p., 2001.

PÉREZ. DOMÍNGUEZ, C. T. TELLERÍA, T. Y JIMÉNEZ, R. *Cultivos Hidropónicos. Elementos Tecnológicos*. En: CIDA, La Habana. 1989.

PÉREZ, D. et al. *Alternativas bio-orgánicas para mantener rendimientos estables en organopónicos*. En: IV Encuentro de Agricultura Orgánica. ACTAF. La Habana, 106p., 2001.

POMARES FERNANDO. *Conferencia sobre La Materia Orgánica*. En: II da Jornada de Agricultura Ecológica. Valencia España. 22p. 1996.

PRIMAVESI, ANA. *Agricultura Sustentable. Manual do produtor rural*. En: Nobel Sao Paulo, 142p., 1992.

RODRÍGUEZ, N. A.; COMPANIONI, N.; RAMÍREZ, C. M. Y PEÑA, E. *Guía práctica para el uso y manejo de la materia orgánica en la Agricultura Urbana*, La Habana, 8p., 2001.

SUÁREZ. J. J, GONZÁLEZ. P. J, BAÑOS. R. *Reciclaje de residuos orgánicos para la producción de compost*. En: IV Encuentro de Agricultura Orgánica. ACTAF. La Habana. 295-296p., 2001.

SUQUILANDA, M. B. *Agricultura orgánica. Alternativas. Tecnología del futuro*. En: FUNDAGRO. Quito, 654p., 1996.

TOLEDO L, SILVEIRA J, BATISTA A. *Uso del humus de lombriz en la CPA "Mártires de Cumanayagua" para el cultivo del tabaco (Nicotiana tabacum)*. En: IV Encuentro de Agricultura Orgánica. ACTAF. La Habana, 299p., 2001.

URANGA BALANZATEGI J: *El Compostaje* En: Monográficos Bio-Lur. 38p., 1995.



**MA** MINAG  
MINISTERIO DE LA AGRICULTURA



La humanidad ha usado los abonos orgánicos desde hace más de 40 siglos, como cultura transmitida de generación en generación por la práctica diaria, y con el devenir del tiempo se han escrito y publicado numerosos libros que recogen el saber científico de los abonos orgánicos. Para muchos, apoyados por la revolución verde que vetó esta práctica, calificándola de atrasada y sustituyéndola por el uso indiscriminado de los productos químicos fertilizantes, han constatado los daños a la naturaleza, manifestados por la degradación de la fertilidad de los suelos.

Este libro pone en las manos de los productores de la Agricultura Urbana Suburbana y Familiar, los conocimientos básicos para desarrollar el reciclaje de desechos, y convertirlos en compost y humus de lombriz, manteniendo la fertilidad de suelos y sustratos, con incremento en el rendimiento de los cultivos y la producción de alimentos sanos con calidad.

