



MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR

Experiencias en América Latina





MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR

Experiencias en América Latina



Autores

Pilar Román

María M. Martínez

Alberto Pantoja

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

Oficina Regional para América Latina y el Caribe

Santiago de Chile, 2013

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista o políticas de la FAO.

ISBN 978-92-5-307844-8 (edición impresa)
E-ISBN 978-92-5-307845-5 (PDF)

© FAO, 2013

La FAO fomenta el uso, la reproducción y la difusión del material contenido en este producto informativo. Salvo que se indique lo contrario, se podrá copiar, imprimir y descargar el material con fines de estudio privado, investigación y docencia, o para su uso en productos o servicios no comerciales, siempre que se reconozca de forma adecuada a la FAO como la fuente y titular de los derechos de autor y que ello no implique en modo alguno que la FAO aprueba los puntos de vista, productos o servicios de los usuarios.

Todas las solicitudes relativas a la traducción y los derechos de adaptación así como a la reventa y otros derechos de uso comercial deberán dirigirse a www.fao.org/contact-us/licence-request o a copyright@fao.org.

Los productos de información de la FAO están disponibles en el sitio web de la Organización (www.fao.org/publications) y pueden adquirirse mediante solicitud por correo electrónico a publications-sales@fao.org.

Equipo técnico

EQUIPO FAO

Jan Van Wambeke, Oficial Principal de Tierras y Aguas de la Oficina Regional para América Latina y el Caribe.

Alberto Pantoja, Oficial de Producción y Protección Vegetal de la Oficina Regional para América Latina y el Caribe.

Pilar Román, Oficial Profesional Asociado de Cambio Climático y Sostenibilidad Ambiental, de la Oficina Regional para América Latina y el Caribe.

COLABORADORES TEMÁTICOS

M. Mercedes Martínez, Investigadora, Centro Avanzado de Tecnología para la Agricultura CATA, Universidad Federico Santa María. Santiago, Chile

Rodrigo Ortega Blu, Director del Centro Avanzado de Tecnología para la Agricultura CATA, Universidad Federico Santa María. Santiago, Chile

Benjamin Kiersch, Oficial de Recursos Naturales y Tenencia de Tierras de la Oficina Regional para América Latina y el Caribe

Meliza González, Consultora Gestión de Riesgos de la Oficina Regional para América Latina y el Caribe

Ana Karina Carrascal, Laboratorio de Microbiología de Alimentos. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia

Loreni Cárdenas, Teófilo Avellaneda, Humberto Rodríguez – FAO Colombia

Claudio Villasanti y Jorge Gattini – FAO Paraguay

Francisco Valenzuela, Finca FEN, Curacaví, Chile

Eduardo Murillo, Karla Loaisiga – INTA-FAO Nicaragua

Jairo Cuervo, Hortícola de Hoy, Funza, Colombia

M.Auxiliadora Martínez – Municipalidad de Ciudad Sandino, Managua. Nicaragua

Presentación

“Manual de Compostaje del Agricultor” es una guía de aprendizaje sobre la producción de compost a nivel familiar y de pequeña agricultura, preparada por la Oficina Regional de la FAO para América Latina y El Caribe, en colaboración con el Grupo de Investigaciones en Suelo, Agua, Planta y Microorganismos de la Universidad Técnica Federico Santa María.

El objetivo de este trabajo es difundir tecnologías apropiadas para la elaboración de un producto sano y seguro para uso como abono en huertas familiares. El manual presenta el enfoque de la FAO respecto a la agricultura: Intensificación Sostenible de la Producción Agrícola (ISPA), en la que se produce más en la misma superficie de tierra a la vez que permite conservar los recursos, reducir la repercusiones negativas en el medio ambiente y potenciar el capital natural y el suministro de servicios del ecosistema.

Esta publicación ha sido dividida en 4 bloques temáticos:

- Fundamentos Teóricos del Compostaje.
- Fundamentos Prácticos del Compostaje
- Productos relacionados con el Compost
- Experiencias en América Latina.

El bloque de “Fundamentos Teóricos del Compostaje” detalla por un lado, los parámetros importantes a medir para determinar la calidad e inocuidad del material terminado, y por otro, expone los beneficios del compost en sus diferentes usos.

El bloque de “Fundamentos Prácticos del Compostaje” presenta ejemplos prácticos que permiten al lector entender cómo se implementa un sistema de compostaje en campo.

El bloque de “Productos Relacionados con el Compost” incluye la producción y uso del Té de compost y vermicompost, el primero que contiene productos solubles del compost o materiales orgánicos empleados, y el segundo que es obtenido por el proceso con lombrices de tierra que utilizan el compost como alimento.

Por último, el capítulo de los “Experiencias en América Latina” incluye ejemplos de producción o de uso de compost recopilados en distintos países de América Latina, que sirven de guía al lector para ajustar su proceso o verificar su uso en campo.

El enfoque del Manual es el aprovechamiento de los residuos, su transformación y uso como materia orgánica para la conservación y mejora de la salud de los suelos agrícolas. Un suelo sano mantiene una diversa comunidad de organismos que ayuda a controlar las enfermedades de los cultivos, los insectos y las malezas, forma asociaciones simbióticas beneficiosas con las raíces de las plantas, recicla los nutrientes vegetales esenciales, mejora la estructura del suelo con efectos positivos para la capacidad de retención de agua y nutrientes del suelo y, en última instancia, aumenta la producción agrícola.

Resumen Ejecutivo

La sostenibilidad y el incremento de la fertilidad del suelo es aún un reto para la región, por lo que es necesario difundir tecnologías de mejoramiento de suelos en la agricultura urbana y periurbana y en la producción agrícola familiar. La reciente y continua volatilidad en los precios de los alimentos ha hecho tomar conciencia de la importancia de la producción familiar como un importante recurso de la seguridad alimentaria y nutricional, tanto en términos del suministro de alimentos, como de generación de empleo e ingresos para la población de bajos recursos así como por su contribución al equilibrio del desarrollo nacional y a la construcción de un ambiente urbano más vivible. Sin embargo el productor familiar se ve limitado por la falta de un suelo de calidad para la producción, sobre todo en las ciudades donde no hay acceso a tierras para siembra.

Durante la XXXII Conferencia Regional de la FAO para América Latina y el Caribe en 2012 (Buenos Aires, Marzo 2012), los Estados Miembros ratificaron la agricultura urbana y periurbana como una de las áreas prioritarias a mediano plazo para la región. También en 2012, los Ministros de Agricultura de la Comunidad del Caribe (CARICOM) aprobaron la Política Regional de Seguridad Alimentaria y Nutricional planteada por la FAO-CARICOM, la cual incluyó la Agricultura Urbana y Periurbana (AUP) como uno de los ejes centrales de desarrollo. Sin embargo, para conocer el gran potencial de la AUP, se debe superar un importante número de desafíos, incluyendo el desarrollo de tecnologías para el mejoramiento de suelos.

Este manual ofrece alternativas a la problemática de la escasez de suelos de buena calidad para la producción de la agricultura familiar por medio de estrategias sencillas y de bajo costo. El productor puede aprender a generar enmiendas orgánicas para sus cultivos. El compost permite el reciclaje de residuos orgánicos, reduciendo la contaminación y el costo de fertilizantes como insumo para la producción agrícola. El presente manual presenta ejemplos de producción de compost de la Región y muestra además técnicas para determinar la calidad e inocuidad del mismo. Está dirigido a técnicos extensionistas así como a productores líderes de las comunidades y constituye un apoyo para la enseñanza de la ciencia agronómica a nivel académico.

Jan Van Wambeke,
Oficial Principal de Tierras y Aguas

Alberto Pantoja,
Oficial de Producción y Protección Vegetal

Índice

1.	Papel de la fao en la preservación del suelo	13
2.	Importancia de la materia orgánica en el suelo	17
3.	Fundamentos teóricos del compostaje	21
3.1	Proceso de compostaje	22
3.2	Fases del compostaje	23
3.3	Parámetros de control durante el compostaje	25
3.4	Higienización e inocuidad	32
3.5	Material compostable	33
3.6	Fertilización	34
3.7	Aplicación del compost	42
3.8	Costos	43
4.	Fundamentos prácticos del compostaje	45
4.1	Herramientas recomendadas	56
4.2	Técnicas de compostaje	47
4.3	Sistemas abiertos o en pilas	47
4.3.1	Tareas a realizar en la formación y manejo de la pila	52
4.3.2	Experiencias de compostaje en pilas en américa latina	59
4.4	Sistemas cerrados o en recipiente	60
4.4.1	Tareas a realizar en compostaje en recipiente	64
4.5	Árbol de decisiones	65
5.	Productos relacionados con el compost	67
5.1	Vermicompost	68
5.2	Té de compost	72
6.	Experiencias en América Latina	77
6.1	Producción de compost a partir del sistema de crianza de porcino en cama profunda	78
6.2	Pila de compostaje en agricultura peri-urbana	83
6.3	Pila sin volteo	84
6.4	Compostera metálica horizontal en agricultura urbana	89
6.5	Compostera de plástico horizontal en agricultura familiar	91
6.6	Producción de compost a partir de residuos de hortalizas	93
7.	Anexo	95
7.1	Factores de conversión	96
7.2	Análisis en campo de la necesidad de fertilizantes	96
7.3	Análisis de la inocuidad del compost	97
7.4	Vermicompost	99
7.5	Beneficios del té de compost	99
8	Referencias bibliográficas	101

Lista de figuras

Figura 1	Mapa de riesgos asociados a las áreas de producción	15
Figura 2	Esquema de la evolución de la materia orgánica que llega al suelo	19
Figura 3	Ciclaje de diversas fuentes de carbono encontradas en ecosistemas terrestres	20
Figura 4	Hongo indicador de la fase mesófila II	24
Figura 5	Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje	25
Figura 6	Sistemas de compostaje comunes	30
Figura 7	Dimensiones de una pila de compostaje para pequeño agricultor	31
Figura 8	Composición promedio de las plantas	35
Figura 9	Preparación de sustrato	42
Figura 10	Herramientas recomendadas	46
Figura 11	Pilas de compostaje. Ciudad Sandino. Nicaragua	47
Figura 12	Sistema de aireación forzada	48
Figura 13	Sistema de recolección de lixiviados	48
Figura 14	Volteo mecanizado	49
Figura 15	Pila de compostaje	50
Figura 16	Área disponible para pila de compostaje	51
Figura 17	Calculadora de la relación C:N	54
Figura 18	Modalidades de volteo según número de pilas	55
Figura 19	Planilla de control del proceso	56
Figura 20	Tamiz usado en las labores de cernido	57
Figura 21	Instrumentos alternativos usados para tamizar	58
Figura 22	Planilla de seguimiento de labores de compostaje	58
Figura 23	Pila de compost tapada para evitar la bajada de temperatura y el exceso de lluvia. Nicaragua.	59
Figura 24	Foto y dibujo explicativo de la técnica del colchón de aire	59
Figura 25	Foto y dibujo explicativo de la técnica de la chimenea	60
Figura 26	Tipos de recipientes usados como compostera	61
Figura 27	Volteo de una compostera horizontal	61
Figura 28	Compostera vertical o continua	62
Figura 29	Compostera horizontal o discontinua	63
Figura 30	Capullo de lombriz roja californiana	68
Figura 31	Ciclo de vida de la lombriz	69
Figura 32	Vermicompostera en huerto escolar. Tegucigalpa (Honduras)	70
Figura 33	Vermicompostera en huerto familiar. Managua (Nicaragua)	70
Figura 34	Vermicompostera en agricultura periurbana. Asunción (Paraguay)	70
Figura 35	Vermicompost en agricultura familiar. Neiva (Colombia)	70
Figura 36	Secadero de vermicompost	72

Figura 37 Lixiviado de compost fresco	73
Figura 38 Tanque para la obtención de té de compost	74
Figura 39 Ceba de cerdos en cama profunda	78
Figura 40 Preparación de la cama con cascarilla de arroz	79
Figura 41 Cerdos hociqueando permanentemente en la cama	79
Figura 42 Recolección de la cama y formación de la pila de compost	80
Figura 43 Volteo periódico de la pila de compost	80
Figura 44 Aplicación de agua a la pila de compost	81
Figura 45 Empaque y Producto final	82
Figura 46 Compost en Bioingeniería. Colombia	82
Figura 47 Limpieza del lugar para construir la pila	83
Figura 48 Material segregado por tipo para facilitar la formación de la pila	84
Figura 49 Ramas gruesas dispuestas formando un colchón de aire	84
Figura 50 Capas alternas de material rico en carbono y nitrógeno	85
Figura 51 Esquema de la pila sin volteo	86
Figura 52 Compostera metálica horizontal	89
Figura 53 Preparación del tambor de compostaje con el material	92
de los productores locales	
Figura 54 Fertilización de lechuga con compost	93
Figura 55 Material fresco a compostar	94
Figura 56 Temperaturas registradas durante el proceso	94

Lista de tablas

Tabla 1	Control de la aireación	26
Tabla 2	Parámetros de humedad óptimos	27
Tabla 3	Parámetros de temperatura óptimos	28
Tabla 4	Parámetros de pH óptimos	29
Tabla 5	Parámetros de la relación carbono / nitrógeno	29
Tabla 6	Control del tamaño de partícula	30
Tabla 7	Resumen de parámetros del compostaje	31
Tabla 8	Temperatura necesaria para la eliminación de algunos patógenos	33
Tabla 9	Contenido de N, P, K en el compost	36
Tabla 10	Extracción de nutrientes por cultivo	37
Tabla 11	Fertilizantes mas usados	39
Tabla 12	Conversión entre P_2O_5 , K_2O , y P, K	36
Tabla 13	Balance económico de una planta de compost	43
Tabla 14	Relación C:N de algunos materiales usados en el compostaje	53
Tabla 15	Ventajas y desventajas de cada los sistemas cerrados en compost	63
Tabla 16	Condiciones ambientales	71
Tabla 17	Material a compostar en barril	90
Tabla 18	Material de llenado de compostera	92
Tabla 19	Síntomas de carencia en las plantas	96
Tabla 20	Límites microbiológicos según diferentes normas	98
Tabla 21	Propiedades químicas del vermicompost	99

Lista de ejemplos

Ejemplo 1	Cálculo de N, P y K	43
Ejemplo 2	Comparativa económica de fertilizantes	44
Ejemplo 3	Cálculo de las necesidades de fertilización de un cultivo	45
Ejemplo 4	Cálculo de las dimensiones de una pila de compostaje a partir de la cantidad de material a compostar	53
Ejemplo 5	Cálculo de las dimensiones de una pila de compostaje a partir de la necesidad de compost final	54
Ejemplo 6	Cálculo de las dimensiones de una pila de compostaje a partir del área disponible para realizar el compostaje	56
Ejemplo 7	Cálculo de la relación C:N en la mezcla de varios materiales	58
Ejemplo 8	Cálculo del volumen adecuado de compostera	68
Ejemplo 9	Elección de un método de compostaje en agricultura familiar	69
Ejemplo 10	Elección de un método de compostaje agricultura urbana	69

Glosario (FAOTERM¹)

Abonado: acción o proceso cuya finalidad es hacer que la tierra sea fértil o productiva. Aplicación de fertilizante, ya sea sintético o natural.

Abono orgánico: el abono orgánico abarca los abonos elaborados con estiércol de ganado, compost rurales y urbanos, otros desechos de origen animal y residuos de cultivos. Los abonos orgánicos son materiales cuya eficacia para mejorar la fertilidad y la productividad de los suelos ha sido demostrada.

Aeróbico: proceso que ocurre en presencia de oxígeno. Para que un compost funcione con éxito se debe proporcionar suficiente oxígeno para que mantenga el proceso aeróbico.

Amonio: es una forma inorgánica del nitrógeno. Se encuentra reducido y es soluble en la solución del suelo. Se pierde con más facilidad por volatilización.

Anaeróbico: proceso que ocurre en ausencia de oxígeno. Si esto ocurre durante el proceso de compostaje, éste se ralentiza y se pueden desprender malos olores, como consecuencia de procesos de pudrición.

Bacterias termófilas: grupo de bacterias que pueden vivir, trabajar y multiplicarse durante el compostaje entre los rangos de temperatura de 40°C a 70°C.

CDC: Centros Demostrativos de Capacitación.

Compost maduro: compost que ha finalizado todas las etapas del compostaje.

Compost semimaduro: compost que no ha terminado la etapa termófila del proceso de compostaje.

Descomposición: degradación de la materia orgánica.

Estiércol: material orgánico empleado para fertilizar la tierra, compuesto generalmente por heces y orina de animales domésticos. Puede presentarse mezclado con material vegetal como paja, heno o material de cama de los animales. Aunque el estiércol es rico en nitrógeno, fósforo y potasio, comparado con los fertilizantes sintéticos sus contenidos son menores y se encuentran en forma orgánica. Puede aplicarse en mayor cantidad para alcanzar las cantidades que necesita el cultivo, pero en general, el nitrógeno es menos estable y está disponible por menos tiempo en el suelo. Es rico en materia orgánica, por lo que aumenta la fertilidad del suelo y mejora su capacidad de absorción y retención de agua.

Humificación: es el proceso de formación de ácidos húmicos y fúlvicos, a partir de la materia orgánica mineralizada.

Humus: materia orgánica descompuesta, amorfa y de color marrón oscuro de los suelos, que ha perdido todo indicio de la estructura y la composición de la materia vegetal y animal a partir de la que se originó. Por tanto, el término *humus* se refiere a cualquier materia orgánica que ha alcanzado la estabilidad y que se utiliza en la agricultura para enmendar el suelo. El producto de la lombriz suele llamarse equivocadamente humus, cuando en realidad debe llamarse vermicompost.

Inoculante: concentrado de microorganismos que aplicado al compost, acelera el proceso de compostaje. Un compost semimaduro puede funcionar de inoculante.

¹<http://www.fao.org/termportal/thematic-glossaries/en/>

Inorgánico: sustancia mineral.

Lavado o lixiviación de nitratos: cuando el agua entra en contacto con fertilizantes nitrogenados o con estiércol, puede disolver los nitratos y otros componentes solubles del estiércol y transportarlos disueltos en su seno cuando se infiltra en el suelo y desciende hasta las aguas subterráneas. En suelos con capas freáticas altas y altas velocidades de percolación es más probable que el agua contaminada alcance las aguas subterráneas.

Macroorganismos: organismos vivos que pueden ser observados a simple vista (arañas, lombrices, roedores, hormigas, escarabajos...). También se denomina mesofauna.

Materia orgánica: residuos vegetales, animales y de microorganismos en distintas etapas de descomposición, células y tejidos de organismos del suelo y sustancias sintetizadas por los seres vivos presentes en el suelo.

Microorganismos: organismos vivos microscópicos (hongos, incluyendo levaduras, bacterias incluyendo actinobacterias, protozoos como nemátodos etc.).

Microorganismos mesófilos: grupo de bacterias, y hongos (levaduras u hongos filamentosos) que pueden vivir, trabajar y multiplicarse durante el compostaje entre los rangos de temperatura de 30°C a 40°C.

Mineralización: transformación de la materia orgánica mediante la acción de microorganismos y la liberación de formas inorgánicas esenciales para el desarrollo de las plantas.

Nitrato: es una forma inorgánica del nitrógeno. Se encuentra oxidado y es soluble en la solución del suelo. Se pierde con más facilidad por lixiviación.

Nitrógeno: elemento indispensable para las plantas que puede estar en forma orgánica (proteínas y compuestos orgánicos), o inorgánica (nitrato o amonio).

Orgánico: un compuesto orgánico es una sustancia que contiene carbono e hidrógeno y, habitualmente, otros elementos como nitrógeno, azufre y oxígeno. Los compuestos orgánicos se pueden encontrar en el medio natural o sintetizarse en laboratorio. La expresión sustancia orgánica no equivale a sustancia natural. Decir que una sustancia es natural significa que es esencialmente igual que la encontrada en la naturaleza. Sin embargo, orgánico significa que está formado por carbono.

Patógeno: microorganismo capaz de producir una enfermedad. Puede ser fitopatógeno, cuando la enfermedad se produce en plantas, o patógenos humanos o animales.

Reciclaje de nutrientes: ciclo en el que los nutrientes orgánicos e inorgánicos, se transforman y se mueven en el suelo, los organismos vivos, la atmósfera y el agua. En la agricultura, se refiere al retorno al suelo de los nutrientes absorbidos del mismo por las plantas. El reciclaje de nutrientes puede producirse por medio de la caída de hojas, la exudación (secreción) de las raíces, el reciclaje de residuos, la incorporación de abonos verdes, etcétera.

Relación C:N: cantidad de carbono con respecto a la cantidad de nitrógeno que tiene un material.

1. Papel de la FAO en la preservación del suelo



1. Papel de la FAO en la preservación del suelo

La base de todo sistema agrícola sostenible es un suelo fértil y saludable. El recurso edafológico junto con el hídrico son fundamentales para hacer frente al reto de mejorar la seguridad alimentaria en todo el mundo.

Actualmente, la agricultura utiliza el 11% de la superficie terrestre para la producción de cultivos y la tasa de crecimiento en los últimos 50 años de superficie cultivada ha sido del 12%. La producción agrícola ha crecido entre 2,5 y 3 veces durante el mismo período. Este buen crecimiento se debe gracias a un aumento significativo en el rendimiento de los cultivos principales. Sin embargo, los logros mundiales de producción en algunas regiones han causado una degradación de la tierra y los recursos hídricos, y el deterioro de los servicios ecosistémicos (SOLAW, 2011).

Los servicios ecosistémicos del suelo incluyen el almacenamiento de carbono, el almacenamiento y el abastecimiento de agua, la biodiversidad y los servicios sociales y culturales. Mejorar el contenido de carbono del suelo es un proceso a largo plazo, que también disminuye la tasa de erosión, e incrementa el secuestro de carbono para mitigar el cambio climático. A nivel de país, lo deseable es una política basada en el compromiso a largo plazo de mantener o aumentar el contenido de materia orgánica.

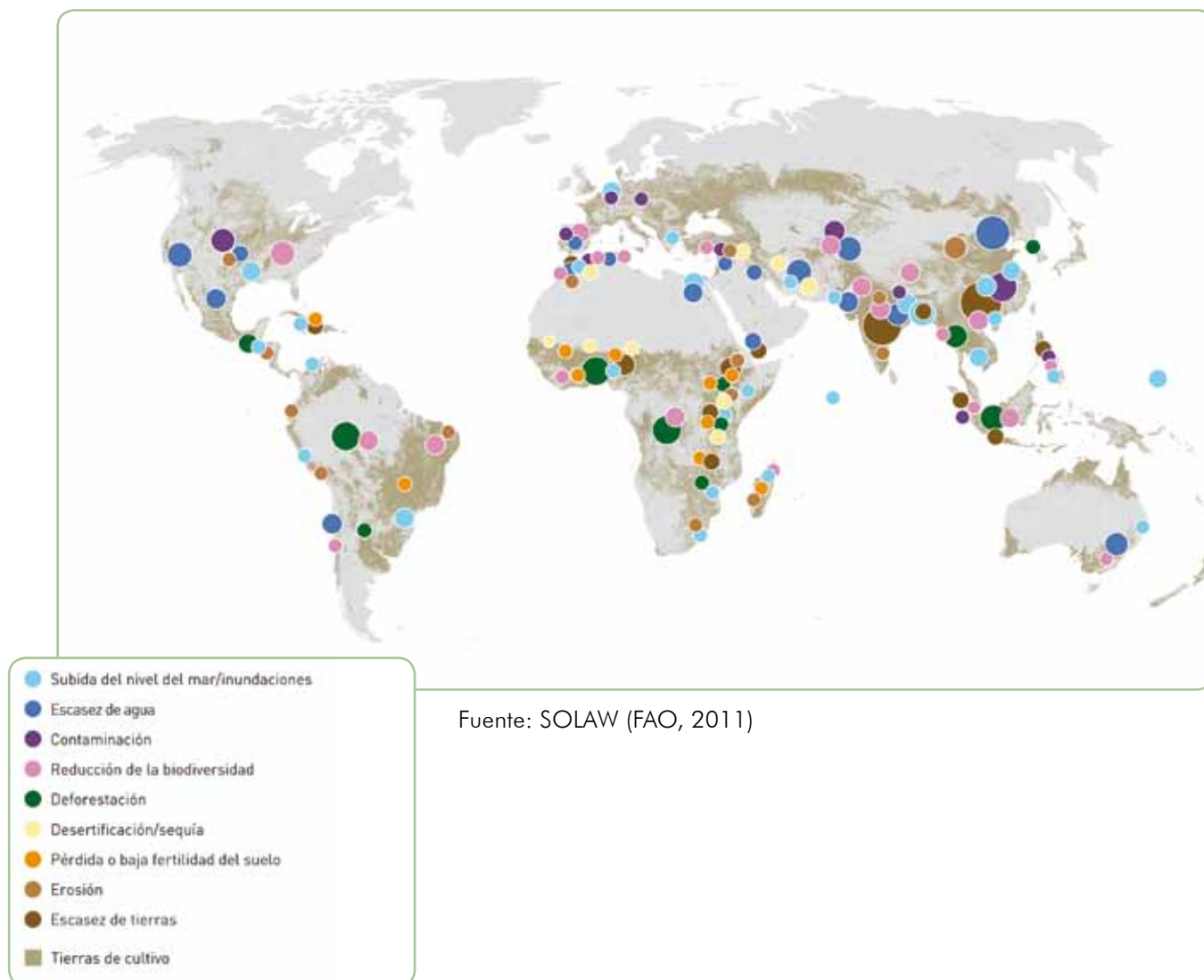
FAO lanzó, con el apoyo de la Comisión Europea, La Alianza Mundial por el Suelo (Global Soil Partnership, GSP) en septiembre de 2011. Esta alianza es un mecanismo de carácter intergubernamental. Su objetivo es concienciar a los tomadores de decisiones acerca del papel determinante de los recursos edáficos en el logro de la seguridad alimentaria, la adaptación a los efectos del cambio climático y la provisión sostenible de servicios medioambientales. La finalidad perseguida es promover la protección y la gestión sostenible de los suelos.

En el estudio realizado por la FAO sobre el Estado de los Recursos de Tierras y Aguas (SOLAW, 2011) se pone de manifiesto que en todo el mundo existen sistemas de producción agrícola muy vulnerables debido a la combinación de una excesiva presión demográfica y prácticas productivas insostenibles. Las cifras mundiales sobre la tasa de utilización y degradación de los recursos de tierras y aguas ocultan grandes diferencias regionales en su disponibilidad. La escasez de tierras y aguas, previsiblemente comprometerá la capacidad de los principales sistemas de producción agrícola para satisfacer la demanda de alimentos y la seguridad alimentaria (Figura 1). Estas limitaciones físicas pueden seguir agravándose en distintos lugares debido a factores externos, entre ellos, el cambio climático, la competencia con otros sectores y cambios socioeconómicos.



El mapa de la Figura 1 pone de manifiesto los principales riesgos asociados a las grandes áreas de producción de alimentos. Se observa que en América Latina hay problemas graves asociados al recurso edáfico, como riesgos de deforestación en Centroamérica y el Cono Sur, de erosión en la costa Pacífica, de baja fertilidad de suelos en el Caribe y en el interior del Cono Sur, y de pérdida de biodiversidad en toda Latinoamérica.

Figura 1 Mapa de riesgos asociados a las áreas de producción



La FAO promueve prácticas y políticas agrícolas que protegen la base de recursos naturales para las generaciones futuras. Las prácticas de ordenación no sostenibles en las explotaciones agrícolas también pueden causar la degradación (por ejemplo, la extracción de los nutrientes y la erosión), además de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). A nivel global, la agricultura es parte importante del cambio climático, al ser responsable del 14% de las emisiones globales de GEI (un 30% si se considera también la deforestación y los cambios en el uso de la tierra). No obstante, la agricultura tiene el potencial de contribuir con creces en la mitigación de este fenómeno mundial, a través de la mitigación, reducción y/o eliminación de una cantidad significativa de las emisiones globales: en torno a un 70% de este potencial de mitigación se puede llevar a cabo en los países en desarrollo (FAO-Adapt, 2012).

Ante el reto de la seguridad alimentaria, el cambio climático y la conservación del recurso suelo, conseguir una agricultura más productiva y resiliente requerirá una mejor gestión de los recursos naturales, como el agua, el suelo y los recursos genéticos a través de prácticas como la agricultura de conservación, la nutrición integrada y la conservación de materia orgánica, el manejo integrado de plagas y enfermedades y la agroforestería .

La transformación de la agricultura está siendo fomentada por la FAO y otros socios por medio de la llamada "Agricultura Climáticamente Inteligente", que de forma sostenible incrementa la productividad y la resiliencia (adaptación) y reduce /elimina los gases de efecto invernadero (mitigación)².

El reciclaje de los residuos orgánicos generados en el proceso productivo de una explotación agropecuaria o silvoagropecuaria, convierte los residuos en insumos que pueden regresar al suelo, aportándole nutrientes y microorganismos benéficos, mejorando la capacidad de retención de agua y de intercambio catiónico (CIC), ayudando así a la rentabilidad de la producción. Desde el punto de vista medioambiental, este reciclaje de materiales y su aplicación al suelo, proporciona muchos beneficios, tales como el incremento de la materia orgánica en el suelo, la reducción del metano producido en los rellenos sanitarios o vertederos municipales, la sustitución de turba como sustrato, la absorción de carbono, el control de la temperatura edáfica y el aumento de la porosidad del suelo, reduciendo de esta manera el riesgo de erosión y la desertificación.

El compostaje es una práctica ampliamente aceptada como sostenible y utilizada en todos los sistemas asociados a la agricultura climáticamente inteligente. Ofrece un enorme potencial para todos los tamaños de fincas y sistemas agroecológicos y combina la protección del medio ambiente con una producción agrícola sostenible.

² <http://www.fao.org/climatechange/climatesmart/es/>

2. Importancia de la materia orgánica en el suelo



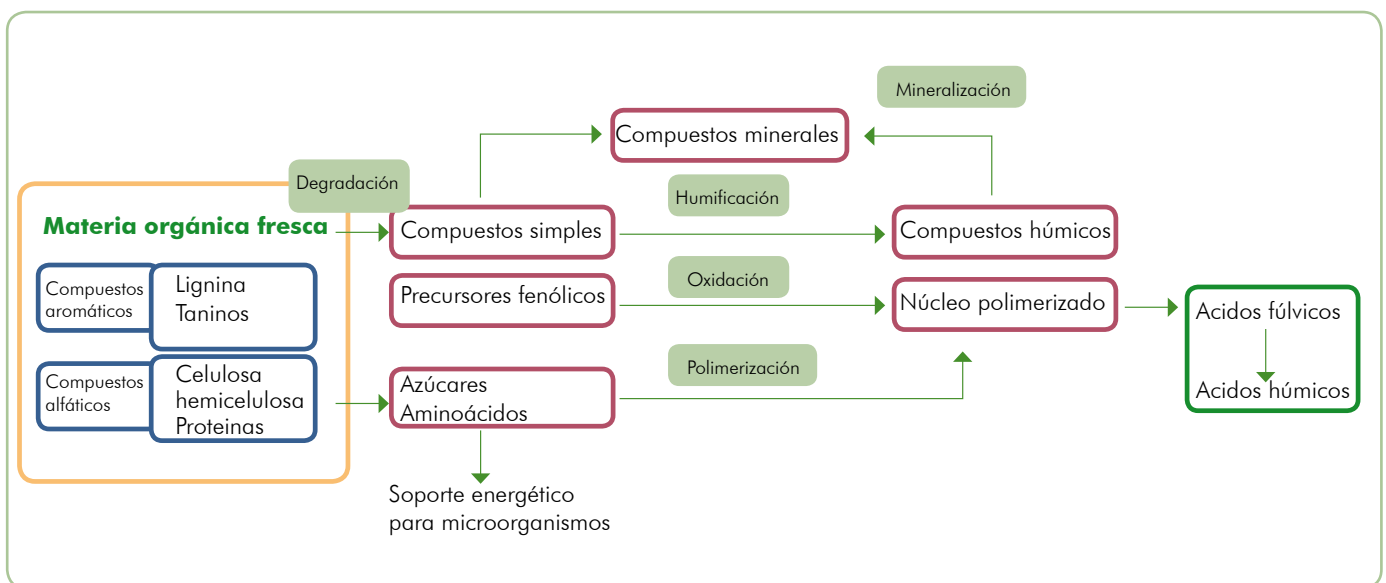
2. Importancia de la materia orgánica en el suelo

La materia orgánica es uno de los más importantes componentes del suelo. Si bien nos imaginamos que es un solo compuesto, su composición es muy variada, pues proviene de la descomposición de animales, plantas y microorganismos presentes en el suelo o en materiales fuera del predio. Es justamente en esa diversa composición donde radica su importancia, pues en el proceso de descomposición, muy diversos productos se obtienen, que actúan como ladrillos del suelo para construir materia orgánica.

Aunque no existe un concepto único sobre la materia orgánica del suelo, se considera que la materia orgánica es cualquier tipo de material de origen animal o vegetal que regresa al suelo después de un proceso de descomposición en el que participan microorganismos. Puede ser hojas, raíces muertas, exudados, estiércoles, orín, plumas, pelo, huesos, animales muertos, productos de microorganismos, como bacterias, hongos, nematodos que aportan al suelo sustancias orgánicas o sus propias células al morir.

Estos materiales inician un proceso de descomposición o de mineralización, y cambian de su forma orgánica (seres vivos) a su forma inorgánica (minerales, solubles o insolubles). Estos minerales fluyen por la solución de suelo y finalmente son aprovechados por las plantas y organismos, o estabilizados hasta convertirse en humus, mediante el proceso de humificación.

Figura 2 Esquema de la evolución de la materia orgánica que llega al suelo



Fuente: Adaptado de Ribó 2004.

Este mismo proceso ocurre en una pila de compostaje y en el suelo, la materia orgánica compuesta por azúcares complejos (lignina, celulosa, hemicelulosa, almidón, presentes en los residuos vegetales especialmente) y proteínas (presentes en los residuos animales especialmente), es atacada por microorganismos, quienes la descomponen para formar más microorganismos. En esta transformación, se genera también biomasa, calor, agua, y materia orgánica más descompuesta. Sin embargo, en el suelo, no se habla de compostaje pues el proceso puede darse en condiciones aeróbicas o anaeróbicas (como los cultivos de arroz bajo inundación), y no se presentan las fases características de calentamiento (o termófila o de higienización). Esto quiere decir que los microorganismos que estén presentes, por ejemplo en el estiércol vacuno (al ser aplicado fresco a campo o al dejar el mojón sin remover) quedan los huevos y quistes de parásitos.

La materia orgánica puede ser aplicada al suelo en las siguientes formas:

- Fresca, como el caso de los estiércoles en el mismo potrero,
- Seca, como en el caso del mulch o de las coberturas muertas producto de los residuos de cosecha (paja o barbecho),
- Procesada, bien sea en forma de compost, vermicompost, purines o estabilizados (por ejemplo de estiércol o guano de aves- gallinaza, pavo) .

Una vez alcanza el máximo grado de descomposición, todas estas sustancias que quedan en el suelo, inician la formación de complejos de carbono, altamente estables y de lenta degradación. Este nuevo material es el humus. Es entonces el material más estabilizado, como ácidos húmicos y fúlvicos que ha sufrido un proceso de mineralización, con participación de microorganismos y luego un proceso de humificación.

Las sustancias húmicas que hacen parte de la materia orgánica se forman por degradación química y biológica de los residuos vegetales y animales, y por actividades de síntesis llevadas a cabo por microorganismos del suelo (Figura 3).

El contenido de la materia orgánica en suelos varía entre 2 y 8 gramos de materia orgánica por kilogramo de suelo, el primer número corresponde a los desiertos, el segundo a las turberas, siendo usual que los suelos minerales contengan entre 10 y 40 gramos de materia orgánica por kilogramo de suelo en el horizonte más superficial (Magdoff y Weil, 2004).

La cantidad de materia orgánica, sin embargo, no solo depende de los microorganismos del suelo, sino que también del tipo de suelo, la vegetación, las condiciones ambientales como humedad y temperatura. El incremento de lluvias o riego, y en condiciones de temperatura media, los microorganismos se multiplican, consumen más materia orgánica y la descomposición es continua. Por ello, la aplicación de materia orgánica en suelos debe ser una práctica permanente, pensando no solamente en incrementar el porcentaje de materia orgánica o en alimentar a los microorganismos del suelo, sino también en los diversos beneficios que aporta al suelo:

Mejora las propiedades físicas:

- Facilitando el manejo del suelo para las labores de arado o siembra.
- Aumentando la capacidad de retención de la humedad del suelo.
- Reduciendo el riesgo de erosión.
- Ayudando a regular la temperatura del suelo (temperatura edáfica).
- Reduciendo la evaporación del agua y regulando la humedad.

Mejora las propiedades químicas:

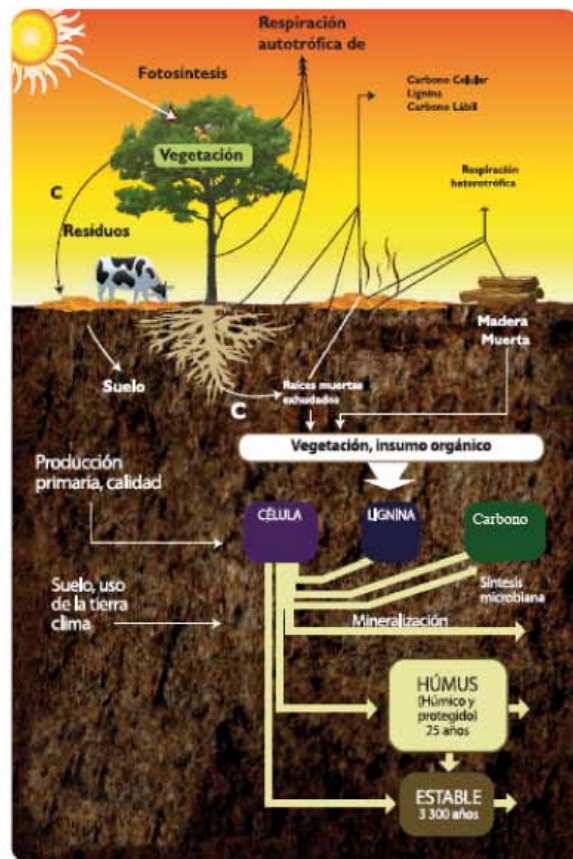
- Aportando macronutrientes, como N, P, K y micronutrientes.
- Mejorando la capacidad de intercambio de cationes.

Mejora la actividad biológica:

- Aportando organismos (como bacterias y hongos) capaces de transformar los materiales insolubles del suelo en nutrientes para las plantas y degradar sustancias nocivas.
- Mejorando las condiciones del suelo y aportando carbono para mantener la biodiversidad de la micro y macrofauna (lombrices).

Otros beneficios complementarios del proceso de compostaje están en la reducción de malos olores producto de la pudrición y en la eliminación de vectores como insectos y ratas. También tiene una función muy importante en la eliminación de patógenos humanos, bacterias contaminantes de alimentos, de las semillas de malezas y otras plantas no deseadas.

Figura 3 Ciclaje de diversas fuentes de carbono encontradas en ecosistemas terrestres



Fuente: Martínez M., Gutiérrez V., Novo R. 2011. Microbiología aplicada al manejo sustentable de suelos y cultivos. Ed. USM.

3. Fundamentos teóricos del compostaje



3. Fundamentos teóricos del compostaje

3.1 Proceso de compostaje

Uno de los problemas ambientales de las explotaciones agrícolas son los residuos orgánicos que se generan (restos de poda, de cosecha, de post-cosecha, estiércol, pasto, fruta caída, entre otros). Normalmente, debido al desconocimiento, a la falta de un espacio adecuado, o de tiempo, las prácticas habituales con estos residuos son la quema, el enterramiento o el abandono del material a la intemperie hasta su pudrición.

El compostaje proporciona la posibilidad de transformar de una manera segura los residuos orgánicos en insumos para la producción agrícola. La FAO define como compostaje a la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes (Portal Terminológico de la FAO, FAOTERM³).

Sin embargo, no todos los materiales que han sido transformados aeróbicamente, son considerados compost. El proceso de compostaje incluye diferentes etapas que deben cumplirse para obtener compost de calidad. La utilización de un material que no haya finalizado correctamente el proceso de compostaje (Ver capítulo 3.4) puede acarrear riesgos como:

- **Fitotoxicidad.** En un material que no haya terminado el proceso de compostaje correctamente, el nitrógeno está más en forma de amonio en lugar de nitrato. El amonio en condiciones de calor y humedad se transforma en amoniaco, creando un medio tóxico para el crecimiento de la planta y dando lugar a malos olores. Igualmente, un material sin terminar de compostar contiene compuestos químicos inestables como ácidos orgánicos que resultan tóxicos para las semillas y plantas.
- **Bloqueo biológico del nitrógeno, también conocido como "hambre de nitrógeno".** Ocurre en materiales que no han llegado a una relación Carbono : Nitrógeno equilibrada, y que tienen material mucho más rico en carbono que en nitrógeno. Cuando se aplica al suelo, los microorganismos consumen el C presente en el material, y rápidamente incrementan el consumo de N, agotando las reservas de N en el suelo.
- **Reducción de oxígeno radicular.** Cuando se aplica al suelo un material que aún está en fase de descomposición, los microorganismos utilizarán el oxígeno presente en el suelo para continuar con el proceso, agotándolo y no dejándolo disponible para las plantas.
- **Exceso de amonio y nitratos en las plantas y contaminación de fuentes de agua.** Un material con exceso de nitrógeno en forma de amonio, tiende a perderlo por infiltración en el suelo o volatilización y contribuye a la contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Igualmente, puede ser extraído por las plantas del cultivo, generando una acumulación excesiva de nitratos, con consecuencias negativas sobre la calidad del fruto (ablandamiento, bajo tiempo postcosecha) y la salud humana (sobre todo en las hortalizas de hoja).

³ <http://www.fao.org/termportal/thematic-glossaries/en/>

3.2 Fases del compostaje

El compostaje es un proceso biológico, que ocurre en condiciones aeróbicas (presencia de oxígeno). Con la adecuada humedad y temperatura, se asegura una transformación higiénica de los restos orgánicos en un material homogéneo y asimilable por las plantas (Figura 5).

Es posible interpretar el compostaje como el sumatorio de procesos metabólicos complejos realizados por parte de diferentes microorganismos, que en presencia de oxígeno, aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) presentes para producir su propia biomasa. En este proceso, adicionalmente, los microorganismos generan calor y un sustrato sólido, con menos C y N, pero más estable, que es llamado compost.

Al descomponer el C, el N y toda la materia orgánica inicial, los microorganismos desprenden calor medible a través de las variaciones de temperatura a lo largo del tiempo. Según la temperatura generada durante el proceso, se reconocen tres etapas principales en un compostaje, además de una etapa de maduración de duración variable. Las diferentes fases del compostaje se dividen según la temperatura, en:

1. Fase Mesófila. El material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4.0 o 4.5). Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días).

2. Fase Termófila o de Higienización. Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina.

Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. En especial, a partir de los 60 °C aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, y otros factores.

Esta fase también recibe el nombre de fase de higienización ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* Igualmente, como se verá en el capítulo 3.4, esta fase es importante pues las temperaturas por encima de los 55°C eliminan los quistes y huevos de helminto,

esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar a un producto higienizado.

3. Fase de Enfriamiento o Mesófila II. Agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista (Figura 4). Al bajar de 40 °C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración.

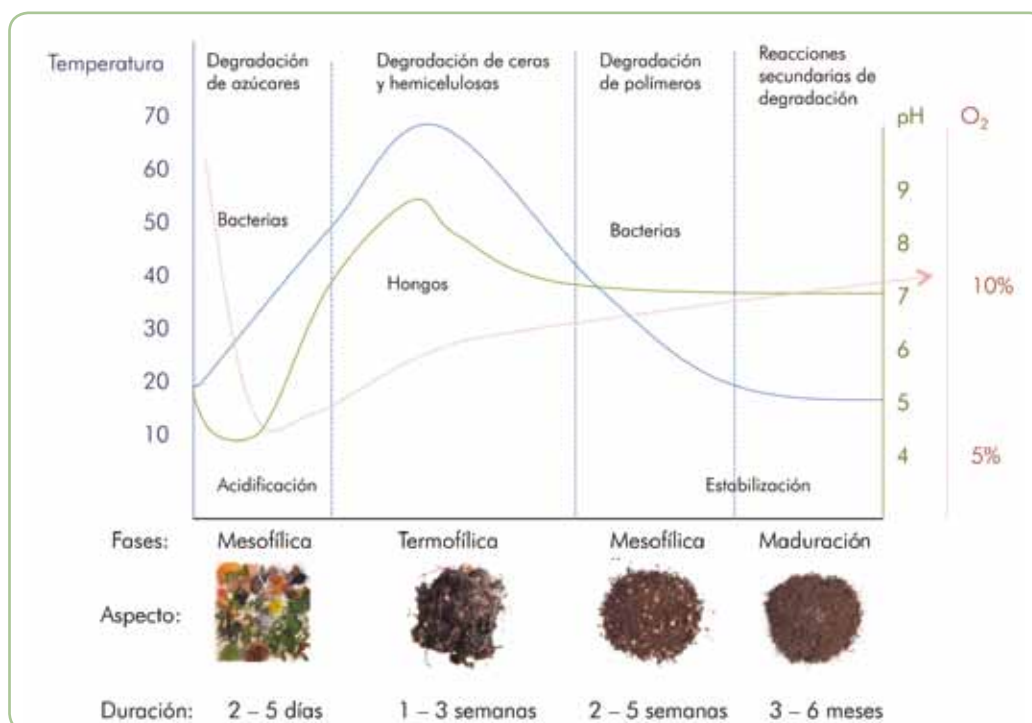
Figura 4 Hongo indicador de la fase mesófila II



Fuente: M. M. Martínez. CATA-USM, Chile.

4. Fase de Maduración. Es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.

Figura 5 Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje



Fuente: P. Roman, FAO

3.3 Monitoreo durante el compostaje

Ya que el compostaje es un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos, se deben tener en cuenta los parámetros que afectan su crecimiento y reproducción. Estos factores incluyen el oxígeno o aireación, la humedad de sustrato, temperatura, pH y la relación C:N.

Externamente, el proceso de compostaje dependerá en gran medida de las condiciones ambientales, el método utilizado, las materias primas empleadas, y otros elementos, por lo que algunos parámetros pueden variar. No obstante, éstos deben estar bajo vigilancia constante para que siempre estén dentro de un rango óptimo. A continuación se señalan los parámetros y sus rangos óptimos.

Oxígeno

El compostaje es un proceso aerobio y se debe mantener una aireación adecuada para permitir la respiración de los microorganismos, liberando a su vez, dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera. Así mismo, la aireación evita que el material se compacte o se encharque. Las necesidades de oxígeno varían durante el proceso, alcanzando la mayor tasa de consumo durante la fase termofílica (Figura 5)

La saturación de oxígeno en el medio no debe bajar del 5%, siendo el nivel óptimo el 10%. Un exceso de aireación provocaría el descenso de temperatura y una mayor pérdida de la humedad por evaporación, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua. Las células de los microorganismos se deshidratan, algunos producen esporas y se detiene la actividad enzimática encargada de la degradación de los diferentes compuestos. Por el contrario, una baja aireación, impide la suficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis. Se producen entonces malos olores y acidez por la presencia de compuestos como el ácido acético, ácido sulfhídrico (H_2S) o metano (CH_4) en exceso.

Tabla 1 Control de la aireación

Porcentaje de aireación	Problema		Soluciones
<5%	Baja aireación	Insuficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis	Volteo de la mezcla y/o adición de material estructurante que permita la aireación .
5% - 15% Rango ideal			
>15%	Exceso de aireación	Descenso de temperatura y evaporación del agua, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua.	Picado del material a fin de reducir el tamaño de poro y así reducir la aireación. Se debe regular la humedad, bien proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua (restos de fruta y verduras, césped, purines u otros)

Dióxido de Carbono (CO_2)

Como en todo proceso aerobio o aeróbico, ya sea en el compostaje o aun en la respiración humana, el oxígeno sirve para transformar (oxidar) el C presente en las materias primas (substrato o alimentos) en combustible. A través del proceso de oxidación, el C se transforma en biomasa (más microorganismos) y dióxido de carbono (CO_2), o gas producido por la respiración, que es fuente de carbono para las plantas y otros organismos que hacen fotosíntesis. Sin embargo, el CO_2 también es un gas de efecto invernadero, es decir, contribuye al cambio climático.

Durante el compostaje, el CO_2 se libera por acción de la respiración de los microorganismos y, por tanto, la concentración varía con la actividad microbiana y con la materia prima utilizada como sustrato. En general, pueden generarse 2 a 3 kilos de CO_2 por cada tonelada, diariamente. El CO_2 producido durante el proceso de compostaje, en general es considerado de bajo impacto ambiental, por cuanto es capturado por las plantas para realizar fotosíntesis.

Humedad

La humedad es un parámetro estrechamente vinculado a los microorganismos, ya que, como todos los seres vivos, usan el agua como medio de transporte de los nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular.

La humedad óptima para el compost se sitúa alrededor del 55%, aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje (ver sección sobre Tamaño de Partícula). Si la humedad baja por debajo de 45%, disminuye la actividad microbiana, sin dar tiempo a que se completen todas las fases de degradación, causando que el producto obtenido sea biológicamente inestable. Si la humedad es demasiado alta (>60%) el agua saturará los poros e interferirá la oxigenación del material.

En procesos en que los principales componentes sean substratos tales como aserrín, astillas de madera, paja y hojas secas, la necesidad de riego durante el compostaje es mayor que en los materiales más húmedos, como residuos de cocina, hortalizas, frutas y cortes de césped.

El rango óptimo de humedad para compostaje es del 45% al 60% de agua en peso de material base.

Una manera sencilla de monitorear la humedad del compost, es aplicar la “técnica del puño” (página 56).

Tabla 2 Parámetros de humedad óptimos

Porcentaje de humedad	Problema		Soluciones
<45%	Humedad insuficiente	Puede detener el proceso de compostaje por falta de agua para los microorganismos	Se debe regular la humedad, ya sea proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua (restos de fruta y verduras, césped, purines u otros)
45% - 60% Rango ideal			
>60%	Oxígeno insuficiente	Material muy húmedo, el oxígeno queda desplazado. Puede dar lugar a zonas de anaerobiosis.	Volteo de la mezcla y/o adición de material con bajo contenido de humedad y con alto valor en carbono, como serrines, paja u hojas secas.

Temperatura

La temperatura tiene un amplio rango de variación en función de la fase del proceso (Figura 5).

El compostaje inicia a temperatura ambiente y puede subir hasta los 65°C sin necesidad de ninguna actividad antrópica (calentamiento externo), para llegar nuevamente durante la fase de maduración a una temperatura ambiente.

Es deseable que la temperatura no decaiga demasiado rápido, ya que a mayor temperatura y tiempo, mayor es la velocidad de descomposición y mayor higienización.

Tabla 3 Parámetros de temperatura óptimos

Temperatura (°C)	Causas asociadas		Soluciones
Bajas temperaturas (T° ambiente < 35°C)	Humedad insuficiente.	Las bajas temperaturas pueden darse por varios factores, como la falta de humedad, por lo que los microorganismos disminuyen la actividad metabólica y por tanto, la temperatura baja.	Humedecer el material o añadir material fresco con mayor porcentaje de humedad (restos de fruta y verduras, u otros)
	Material Insuficiente.	Insuficiente material o forma de la pila inadecuada para que alcance una temperatura adecuada.	Añadir más material a la pila de compostaje.
	Déficit de nitrógeno o baja C:N.	El material tiene una alta relación C:N y por lo tanto, los microorganismos no tienen el N suficiente para generar enzimas y proteínas y disminuyen o ralentizan su actividad. La pila demora en incrementar la temperatura mas de una semana.	Añadir material con alto contenido en nitrógeno como estiércol.
Altas temperaturas (T ambiente >70°C)	Ventilación y humedad insuficiente	La temperatura es demasiado alta y se inhibe el proceso de descomposición. Se mantiene actividad microbiana pero no la suficiente para activar a los microorganismos mesofilicos y facilitar la terminación del proceso.	Volteo y verificación de la humedad (55-60%). Adición de material con alto contenido en carbono de lenta degradación (madera, o pasto seco) para que ralentice el proceso.

pH

El pH del compostaje depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso (desde 4.5 a 8.5). En los primeros estadios del proceso, el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos. En la fase termófila, debido a la conversión del amonio en amoníaco, el pH sube y se alcaliniza el medio, para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro.

El pH define la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y multiplicación. La mayor actividad bacteriana se produce a pH 6,0-7,5, mientras que la mayor actividad fúngica se produce a pH 5,5-8,0. El rango ideal es de 5,8 a 7,2.

Tabla 4 Parámetros de pH óptimos

pH	Causas asociadas		Soluciones
<4,5	Exceso de ácidos orgánicos	Los materiales vegetales como restos de cocina, frutas, liberan muchos ácidos orgánicos y tienden a acidificar el medio.	Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C:N.
4,5 – 8,5 Rango ideal			
>8,5	Exceso de nitrógeno	Cuando hay un exceso de nitrógeno en el material de origen, con una deficiente relación C:N, asociado a humedad y altas temperaturas, se produce amoníaco alcalinizando el medio.	Adición de material más seco y con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín)

Relación Carbono-Nitrógeno (C:N)

La relación C:N varía en función del material de partida y se obtiene la relación numérica al dividir el contenido de C (%C total) sobre el contenido de N total (%N total) de los materiales a compostar.

Esta relación también varía a lo largo del proceso, siendo una reducción continua, desde 35:1 a 15:1.

Para mayor información, ver Tabla 14.

Tabla 5 Parámetros de la relación carbono / nitrógeno

C:N	Causas Asociadas		Soluciones
>35:1	Exceso de Carbono	Existe en la mezcla una gran cantidad de materiales ricos en carbono. El proceso tiende a enfriarse y a ralentizarse	Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C:N.
15:1 – 35:1 Rango ideal			
<15:1	Exceso de Nitrógeno	En la mezcla hay una mayor cantidad de material rico en nitrógeno, el proceso tiende a calentarse en exceso y se generan malos olores por el amoníaco liberado.	Adición de material con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín)

Tamaño de partícula

La actividad microbiana está relacionada con el tamaño de la partícula, esto es, con la facilidad de acceso al sustrato. Si las partículas son pequeñas, hay una mayor superficie específica, lo cual facilita el acceso al sustrato. El tamaño ideal de los materiales para comenzar el compostaje es de 5 a 20 cm .

La densidad del material, y por lo tanto la aireación de la pila o la retención de humedad, están estrechamente relacionados con el tamaño de la partícula, siendo la densidad aproximadamente 150 -250 kg/m³, conforme avanza el proceso de compostaje, el tamaño disminuye y por tanto, la densidad aumenta, 600-700 kg/m³.

Tabla 6 Control del tamaño de partícula

Tamaño de las partículas (cm)	Problema		Soluciones
>30 cm	Exceso de aireación	Los materiales de gran tamaño crean canales de aireación que hacen bajar la temperatura y desaceleran el proceso.	Picar el material hasta conseguir un tamaño medio de 10-20 cm
5 – 30 cm Rango ideal			
<5 cm	Compactación	Las partículas demasiado finas crean poros pequeños que se llenan de agua, facilitando la compactación del material y un flujo restringido del aire, produciéndose anaerobiosis.	Volear y/o añadir material de tamaño mayor y volteos para homogenizar

Tamaño de la pila o volumen en compostaje

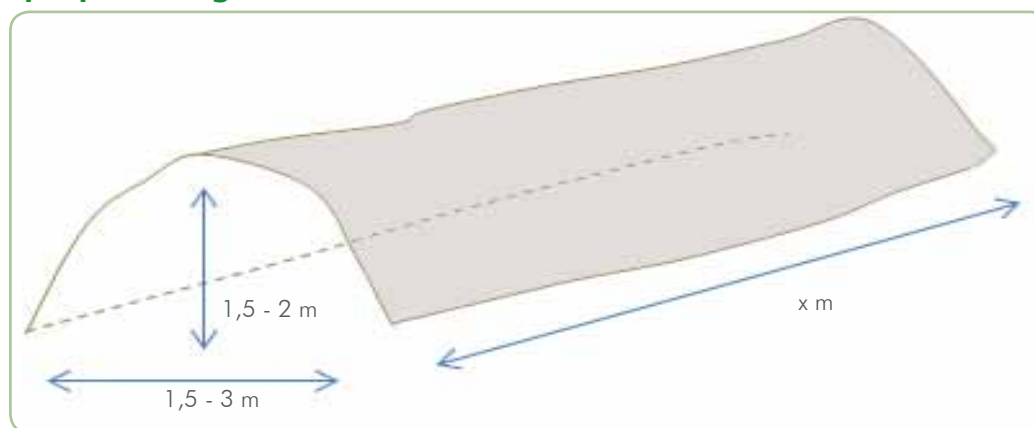
Existen diversos sistemas de compostaje: en pilas, en cajas o composteras, abiertas o cerradas.

Figura 6 Sistemas de compostaje comunes



En el caso del compostaje en pilas, el tamaño de la pila, en especial la altura, afecta directamente al contenido de humedad, de oxígeno y la temperatura. Pilas de baja altura y de base ancha, a pesar de tener buena humedad inicial y buena relación C:N, hacen que el calor generado por los microorganismos se pierda fácilmente, de tal forma que los pocos grados de temperatura que se logran, no se conservan. El tamaño de una pila viene definido por la cantidad de material a compostar y el área disponible para realizar el proceso. Normalmente, se hacen pilas de entre 1,5 y 2 metros de alto para facilitar las tareas de volteo, y de un ancho de entre 1,5 y 3 metros. La longitud de la pila dependerá del área y del manejo.

Figura 7 Dimensiones de una pila de compostaje para pequeño agricultor



En el momento de estimar las dimensiones de la pila de compostaje, se debe tener en cuenta que durante el proceso de compostaje, la pila disminuye de tamaño (hasta un 50% en volumen) debido en parte a la compactación y en parte a la pérdida de carbono en forma de CO_2 .

Tabla 7 Parámetros del compostaje

Parámetro	Rango ideal al comienzo (2-5 días)	Rango ideal para compost en fase termofílica II (2-5 semanas)	Rango ideal de compost maduro (3-6 meses)
C:N	25:1 – 35:1	15/20	10:1 – 15:1
Humedad	50% - 60%	45%-55%	30% - 40%
Concentración de oxígeno	~10%	~10%	~10%
Tamaño de partícula	<25 cm	~15 cm	<1,6 cm
pH	6,5 – 8,0	6,0-8,5	6,5 – 8,5
Temperatura	45 – 60°C	45°C-Temperatura ambiente	Temperatura ambiente
Densidad	250-400 kg/m ³	<700 kg/m ³	<700 kg/m ³
Materia orgánica (Base seca)	50%-70%	>20%	>20%
Nitrógeno Total (Base seca)	2,5-3%	1-2%	~1%

3.4 Higienización e inocuidad

Como consecuencia de las elevadas temperaturas alcanzadas durante la fase termofílica, se destruyen las bacterias patógenas y parásitos presentes en los residuos de partida. En esta fase se da la higienización del material. En las fases siguientes podría ocurrir una re-contaminación del material debido a varios factores, como por ejemplo, la utilización de utensilios contaminados con material fresco, como una pala para el volteo, o añadiendo material fresco después de la fase termofílica.

Un compost maduro no debe contener compuestos tóxicos para las plantas o el ambiente. Así por ejemplo, la presencia de amoníaco y sulfatos (NH_3 y SO_4) en lixiviados generados por procesos de compostaje con exceso de humedad, favorecen la producción de ácido sulfhídrico y dióxido de nitrógeno (H_2S y NO_2) que junto con el metano, (CH_4), son considerados gases efecto invernadero (GEI) con importantes impactos negativos en el medio ambiente, y en especial en el cambio climático.

En diferentes países latinoamericanos basados tanto en estándares de Estados Unidos (EPA) como de la Unión Europea (EU), han desarrollado normativas para definir la calidad del compost y su uso (ver anexo 7.3). Chile, Colombia, México, además de definir la calidad del compost, diferencian en dos clases, A y B, con o sin restricciones de uso, basados en la presencia de patógenos y metales pesados. Uno de los problemas del uso del compost está relacionado con la posibilidad de contener bacterias patógenas como *Salmonella spp.* y *Escherichia coli* (Islam 2005, Lasaridi 2006) así como *Listeria monocytogenes* (Oliveira 2011), y huevos de parásitos que pueden llegar a los consumidores a través del consumo de frutas y vegetales contaminados. Por eso es importante asegurar que un compost que se utilice, en especial para el cultivo de hortalizas de tallo corto o de hoja, así como para la producción de frutas, no contenga estos patógenos e indicadores de contaminación fecal.

Otro aspecto fundamental es la presencia de metales pesados en compost, pues son compuestos que no se destruyen ni se descomponen, y pueden ser asimilados por las plantas, y luego por los animales y el hombre, a lo largo de la cadena trófica. La garantía de que el compost no contenga estos patógenos o metales pesados, además de tóxicos, hidrocarburos etc, es lo que se denomina inocuidad y ofrece la certificación al usuario del compost de que no va a contaminar los alimentos que abona.

La presencia de los patógenos en el compost viene en gran medida por el uso de estiércoles, seguido del uso de aguas contaminadas y de las personas que manipulan el compost (Bernal 2009). Uno de los métodos para el control de estos es el empleo de temperaturas elevadas, de ahí la importancia en el control del tiempo y temperatura de la fase termofílica.

La inocuidad biológica del compost, depende de la temperatura que alcance el material, pero también de la humedad, la aireación y el tamaño de partícula. En una pila con adecuada humedad, la actividad microbiana hace que la temperatura se incremente, siendo mayor en el interior que en el exterior (Gong 2007). De esta forma, al airear la pila o al realizar el volteo, se homogeniza la temperatura y la humedad y se pueden eliminar patógenos. Del mismo modo, el tamaño de partícula a compostar, la forma y tamaño de la pila también afectan la velocidad de aireación y la tendencia del material a retener o liberar calor. También debe considerarse la temperatura del lugar y las

prácticas de gestión aplicadas en cada caso. Otro aspecto importante es la cantidad de microorganismos patógenos presentes en el compost pues si esta cantidad es alta se requerirá mayor tiempo para la eliminación de éstos.

Por ello en el compost final puede haber microorganismos patógenos que afectan a la calidad del abono, en la Tabla 8 se presentan datos de tiempos y temperaturas necesarios para la eliminación de algunos patógenos.

Tabla 8 Temperatura necesaria para la eliminación de algunos patógenos

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

Fuente: Jones and Martin, 2003

El anexo 8.3 Análisis de la inocuidad del compost contiene mas información sobre normas de calidad.

3.5 Material compostable

La gran mayoría de los materiales orgánicos son compostables. En la siguiente lista se hace una extensa relación de materiales que se pueden compostar:

- Restos de cosecha, plantas del huerto o jardín. Ramas trituradas o troceadas procedentes de podas, hojas caídas de árboles y arbustos. Heno y hierba segada. Césped o pasto (preferiblemente en capas finas y previamente desecado).
- Estiércol de porcino, vacuno, caprino y ovino, y sus camas de corral.

- Restos orgánicos de cocina en general (frutas y hortalizas). Alimentos estropeados o caducados. Cáscaras de huevo (preferible trituradas). Restos de café. Restos de té e infusiones. Cáscaras de frutos secos. Cáscaras de naranja, cítricos o piña (pocos y troceadas). Papas estropeadas, podridas o germinadas.
- Aceites y grasas comestibles (muy esparcidas y en pequeña cantidad).
- Virutas de serrín (en capas finas).
- Servilletas, pañuelos de papel, papel y cartón (no impresos ni coloreados, ni mezclados con plástico).
- Cortes de pelo (no teñido), residuos de esquilado de animales.

No se deben incluir materiales inertes, tóxicos o nocivos tales como:

- Residuos químicos-sintéticos, pegamentos, solventes, gasolina, petróleo, aceite de vehículos, pinturas.
- Materiales no degradables (vidrio, metales, plásticos).
- Aglomerados o contrachapados de madera (ni sus virutas o serrín).
- Tabaco, ya que contiene un biocida potente como la nicotina y diversos tóxicos.
- Detergentes, productos clorados, antibióticos, residuos de medicamentos.
- Animales muertos (estos deben ser incinerados en condiciones especiales, o pueden ser compostados en pilas especiales).
- Restos de alimentos cocinados, carne.

3.6 Fertilización

El compost contiene elementos fertilizantes para las plantas, aunque en forma orgánica y en menor proporción que los fertilizantes minerales de síntesis. Una de las mayores ventajas del uso de compost como aporte de materia orgánica es que en él se encuentran presentes nutrientes tanto disponibles como de lenta liberación, útiles para la nutrición de las plantas. Por otra parte, el compost presenta un alto contenido de materia orgánica con las ventajas que ello conlleva (capítulo 2). Se recomienda, antes de hacer aplicaciones tanto de compost o materia orgánica, como de fertilizantes minerales, realizar un análisis de suelo para controlar los niveles de nutrientes y ajustar la fertilización en función de la liberación que se produzca y de las necesidades del cultivo.

Los nutrientes necesarios para el crecimiento de la planta provienen del aire, del agua y del suelo, siendo la solución del suelo el medio de transporte de los nutrientes.

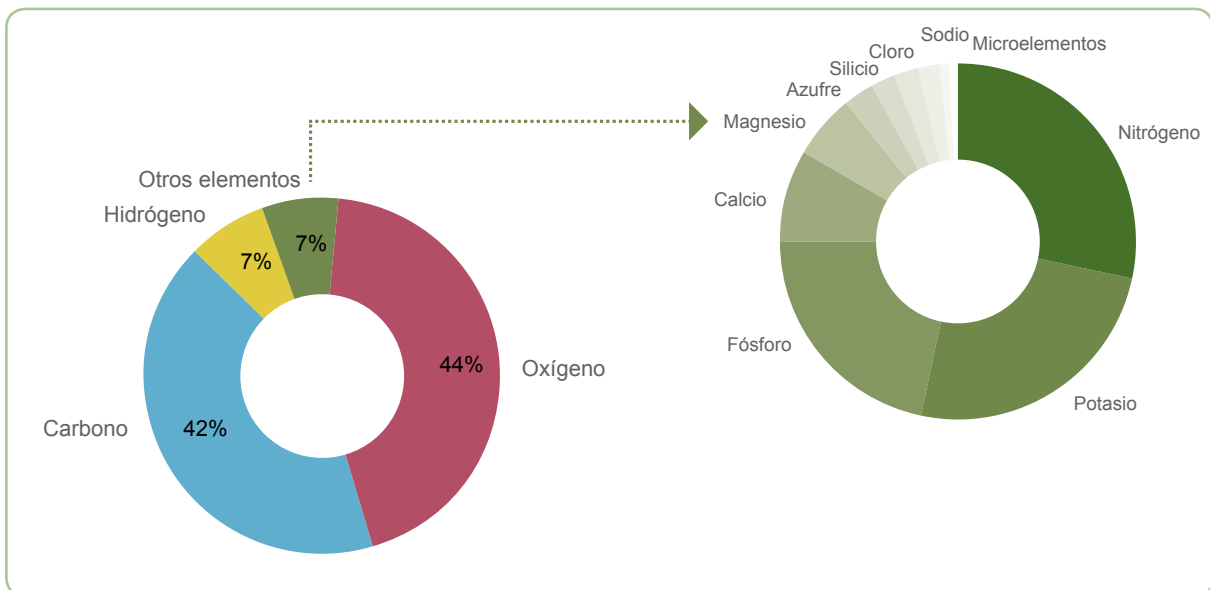
Los nutrientes en el suelo, se dividen en macro- y micro- nutrientes, en función de las cantidades que la planta necesite. Los macronutrientes primarios son Nitrógeno, Fósforo y Potasio, y los secundarios son Magnesio, Azufre y Calcio (Figura 8). Los micronutrientes son requeridos en cantidades muy pequeñas, pero generalmente son importantes para el metabolismo vegetal y animal. Estos son el hierro, el zinc, el manganeso, el boro, el cobre, el molibdeno y el cloro.

El Nitrógeno, N (1%-4% del extracto seco de la planta) es el motor del crecimiento de la planta ya que está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas. Un buen aporte de nitrógeno para la planta es importante también por la absorción de los otros nutrientes.

El Fósforo, P (0,1% - 0,4% del extracto seco de la planta) juega un papel importante en la transferencia de energía, por lo que es esencial en la eficiencia de la fotosíntesis. El fósforo es deficiente en la mayoría de los suelos naturales o agrícolas o dónde el pH limita su disponibilidad, favoreciendo la fijación.

El Potasio, K (1%-4% del extracto seco de la planta) juega un papel vital en la síntesis de carbohidratos y de proteínas, y por ende en la estructura de la planta. El potasio mejora el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad. Las plantas bien provistas con K sufren menos de enfermedades.

Figura 8 Composición promedio de las plantas



El contenido en nutrientes del compost tiene una gran variabilidad (Tabla 9), ya que depende de los materiales de origen:

Tabla 9 Contenido de N, P, K en el compost

Nutriente	% en compost
Nitrógeno	0,3% – 1,5% (3g a 15g por Kg de compost)
Fósforo	0,1% – 1,0% (1g a 10g por Kg de compost)
Potasio	0,3% – 1,0% (3g a 10g por Kg de compost)

Fuente: Jacob, 1961, Martínez, 2013

Para la toma de decisiones a la hora de aplicar compost como fertilizante orgánico, así como para aplicarlo en nutrición integrada con fertilizantes minerales, se debe tener en cuenta:

- Necesidades del cultivo en cuanto a fertilización (análisis de suelo y foliares)
- Acceso y disponibilidad de ambos fertilizantes localmente
- Costes de ambos fertilizantes
- Necesidad de materia orgánica del suelo

Cada cultivo necesita una cantidad específica de nutrientes, y esta cantidad depende en parte del rendimiento esperado del cultivo (Tabla 10). Para calcular el requerimiento real de fertilizantes se debe tener en cuenta otros factores tales como las reservas de nutrientes del suelo, y la inmovilización o pérdida del nutriente cuando se aplica, ya sea por fijación o lixiviación (ver en anexo 7.2 cómo determinar en campo las necesidades de fertilizantes).

En la Tabla 10 se puede consultar las extracciones de nutrientes por cultivo, aunque en general, debido a las pérdidas antes mencionadas, los requerimientos de nutrientes son mayores que las extracciones.

Tabla 10 Extracción de nutrientes por cultivo (kg/ha)

	Rendimiento	Nitrógeno	Fósforo		Potasio	
	Kg/ha	N	P₂O₅	P	K₂O	K
Arroz	3.000	50	26	11	80	66
	6.000	10	50	21	160	132
Trigo	3.000	72	27	11	65	54
	5.000	140	60	25	130	107
Maíz	3.000	72	36	15	54	45
	6.000	120	50	21	120	99
Papa	20.000	140	39	17	190	157
	40.000	175	80	34	310	256
Batata	15.000	70	20	8	110	91
	40.000	190	75	32	390	322
Yuca	25.000	161	39	17	136	112
	40.000	210	70	30	350	289
Caña de azúcar	50.000	60	50	21	150	124
	100.000	110	90	38	340	281
Cebolla	35.000	120	50	21	160	132
Tomate	40.000	60	30	13	124	124

Fuente: Comité Consultivo de la Industria de Fertilizantes (FIAC)

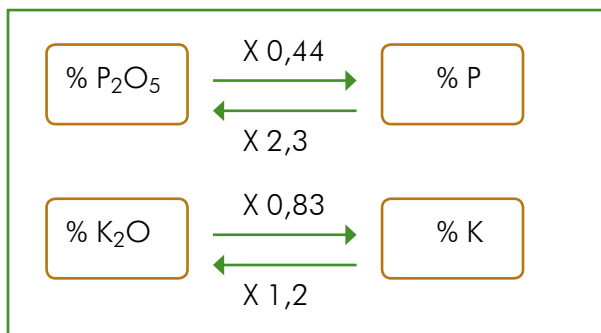
Un fertilizante mineral es aquel producto industrializado que contiene al menos un 5% de uno o mas de los nutrientes primarios (N,P,K). Estos nutrientes vienen expresados, por lo general, en porcentajes de N, P_2O_5 , K_2O (Tabla 10). Estos fertilizantes pueden ser simples (con un solo nutriente primario) o multi-nutrientes (con dos o tres nutrientes primarios).

Tabla 11 Fertilizantes mas usados

Fuentes fertilizantes	Forma Molecular	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O
Urea	CO(NH ₂) ₂	46 — —
Nitrato de Amonio	NH ₄ (NO ₃)	34 — —
Sulfato de Amonio	(NH ₄) ₂ SO ₄	21 — —
Fosfato Monoamónico	NH ₄ H ₂ PO ₄	12 50 —
Superfosfato Simple	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	— 20 —
Cloruro de Potasio	KCl	— — 60
Sulfato de Potasio	K ₂ SO ₄	— — 52
Compost	-	0.6 — 0.7 — 0.6

Según la Tabla 11 un saco de urea de 50 kg tendrá 23kg de Nitrógeno (46% de 50 kg). Para el cálculo de P y K se deben de tener en cuenta los pesos molecular de su óxido (Tabla 12)

Tabla 12 Conversión entre P₂O₅, K₂O, y P, K



Ejemplo 1: Cálculo de N, P y K

Se quiere saber la cantidad de N, P y K disponible en un fertilizante 16-6-12. El saco es de 25 kg.

Los números dados en el grado fertilizante son un porcentaje en peso de esos nutrientes en el fertilizante.:

- El contenido de N = $0,16 \times 25 \text{ kg} = 4 \text{ kg de N}$

El factor de conversión para P_2O_5 es 0,44, así

- El contenido de P = $0,06 \times 0,44 \times 25 \text{ kg} = 0,66 \text{ kg de P}$

El factor de conversión para K_2O es 0,83, así

- El contenido de K = $0,12 \times 0,83 \times 25 \text{ kg} = 2,5 \text{ kg de K}$

El contenido de N, P y K en 25 kg de ese fertilizante es: 4 kg de N, 0,6 kg de P y 2,5 kg de K

El uso de fertilizantes minerales crea dependencia del agricultor, es costosa su producción y su transporte.

El coste y disponibilidad del fertilizante son factores importantes a la hora de decidir la aplicación de estos.

Ejemplo 2: Comparación económica de fertilizantes

Se quiere comparar el valor económico fertilizante y el valor de mercado de un compost y de varios fertilizantes simples. (Urea, Superfosfato Simple y Cloruro Potásico)

Tabla 12 Coste del fertilizante

Fertilizante	Coste 1 tonelada*	Nutrientes por tonelada
Compost	50 USD**	15 kg de N, 10 kg de P y 10 kg de K (Tabla 9)
Urea	393 USD	460 kg de N (Tabla 10)
Superfosfato simple	435 USD	88 kg de P (Tabla 10)
Cloruro potásico	395 USD	498 kg de K (Tabla 10)

Por tanto, el coste unitario de cada nutriente es:

Nutriente	Compost	Urea	Superfosfato Simple	Cloruro Potásico
N	3,33 USD/kg	0,85 USD/kg		
P	5 USD/kg		4,94 USD/kg	
K	5 USD/kg			0,79 USD/kg
Total	13,33 USD	6,58 USD		

Se observa que el compost tiene un precio mayor por contenido de N, P, K que los fertilizantes minerales. Se debe tener en cuenta no solo el coste económico en su aplicación, sino también los beneficios adicionales, como el contenido en micronutrientes o el contenido en materia orgánica (ver capítulo 2)

*Fuente: World Bank, Enero 2013

**Compost a granel (empacado el precio puede subir a 100 USD por tonelada)

El agricultor debe analizar las ventajas e inconvenientes y decidir qué medidas fertilizantes toma en su cultivo. Se pueden combinar y complementar las acciones de los dos fertilizantes (orgánico y mineral).

Demanda = Δ Suministro orgánico + Δ Suministro mineral

Ejemplo 3: Cálculo de las necesidades de fertilización de un cultivo

Se requiere fertilizar dos hectáreas de trigo, combinando compost y otros fertilizantes simples.

Las necesidades de nutrientes del trigo para un rendimiento de 3t/ha son:

N: 72kg/ha, P₂O₅: 27kg/ha, K₂O: 65kg/ha

Se observa que si se aplica una dosis de compost de 9t/ha, se cubrirían las necesidades de fósforo (se considera una composición media por kg de compost de: 6 g de Nitrógeno, 3g de Fósforo y 3 g de Potasio):

9t de compost son: N: 54kg/ha, P₂O₅: 27kg/ha, K₂O: 45kg/ha

Se puede aplicar urea y cloruro de potasio para cubrir las necesidades de nitrógeno y potasio.

- Necesidades de nitrógeno después de la aplicación de compost: $72 - 54 = 18\text{kg/ha}$

La urea tiene un 46% de N (46 kg de N por 100 kg de urea) por lo que una aplicación de urea de 39kg/ha de urea

$$\begin{array}{l} 100 \text{ kg urea} \quad 46 \text{ kg de N} \\ \mathbf{X \text{ kg de urea} \rightarrow 18 \text{ kg de N}} \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} 100 \text{ kg urea} \quad 46 \text{ kg de N} \\ \mathbf{X \text{ kg de urea} \rightarrow 18 \text{ kg de N}} \end{array}} \right\} X = 39 \text{ kg de urea}$$

Se debe de tener en cuenta que solo un 65% del N quedará disponible para la planta, ya que se estiman pérdidas de N por desnitrificación, lixiviación y movilización.

- Necesidades de K₂O después de la aplicación de compost: $65 - 45 = 20 \text{kg/ha}$

El cloruro potásico tiene un 60% de K₂O, por lo que una aplicación de cloruro potásico de 33kg/ha cubrirá las necesidades de potasio.

$$\begin{array}{l} 100\text{kg KCl} \quad 60\text{kg de K}_2\text{O} \\ \mathbf{X \text{ kg de KCl} \rightarrow 20 \text{ kg de K}_2\text{O}} \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} 100\text{kg KCl} \quad 60\text{kg de K}_2\text{O} \\ \mathbf{X \text{ kg de KCl} \rightarrow 20 \text{ kg de K}_2\text{O}} \end{array}} \right\} X = 33 \text{ kg de KCl}$$

Las necesidades de fertilizantes para dos hectáreas, son:

18 toneladas de compost
78 kg de urea
66 kg de cloruro potásico

En agricultura orgánica y agricultura familiar, es común el uso únicamente de fertilizantes orgánicos o derivados, como el té de compost, humus de lombriz (ver capítulo 5)

3.7 Aplicación del compost

El compost se puede aplicar semimaduro (en fase mesófila II - Figura 5) o ya maduro. El compost semimaduro tiene una elevada actividad biológica y el porcentaje de nutrientes fácilmente asimilables por las plantas es mayor que en el compost maduro. Por otro lado, al tener un pH no estable aún (tendiendo a la acidez), puede afectar negativamente a la germinación, por lo que este compost no se usa para germinar semillas, ni en plantas delicadas.

La aplicación en horticultura del compost semimaduro es normalmente una aplicación de primavera de 4 – 5 kg/m² en el terreno previamente labrado (coliflor, apio, papa...). En cultivos extensivos, la aplicación es de 7 – 10 T/ha de compost.

El compost maduro se usa en gran medida para plántulas, jardineras y macetas. Se suele mezclar (20%-50%) con tierra y otros materiales como turba y cascarilla de arroz como preparación de sustrato (Figura 9).

Figura 9 Preparación de sustrato



Fuente: E. Murillo, INTA-FAO, Nicaragua

3.8 Costos

Con el fin de analizar los costes económicos de un proceso de compostaje, se deben analizar en primer lugar los siguientes tres factores:

- Elección del sistema elegido (capítulo 4.2 Técnicas de Compostaje)
- Cantidad y tipo de material orgánico que se usa para compostar
- Cantidad de compost que se usará en la propia finca y cantidad destinada para venta

Para ello se puede usar una tabla de “gastos – ingresos” como la siguiente. El ejemplo económico utilizado es el de producción de compost a partir de cama de porcino (Experiencia de Neiva, Colombia, detallado en 6.1).

En este sistema se producen 10 toneladas de compost cada 6 meses, provenientes de los purines de 20 cerdos y 750 kg de cascarilla de arroz. El balance económico de la Tabla 13 corresponde a un lote (6 meses) del año 2012.

Tabla 13 Balance económico de una planta de compost

Costos*			
Detalle	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Recolección (jornal)	2	14	28
Transporte (jornal)	2	14	28
Control de parámetros (jornal)	6	14	84
Pesaje y empaclado (jornal)	0,5	14	7
Bolsas de polietileno	200	0,1	20
Cascarilla arroz (kg)	750	0,1	75
Pala	2	5,5	11
Carretilla	1	78,5	78,5
Construcción compostera (depreciación)	1	11,3	11,3
Total costos			342,8
Ingresos			
Detalle	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Compost (toneladas)	10	80	800
Total ingresos			800

Balance económico	+457,2
--------------------------	---------------

* No se incluye el costo del purin de cerdo ya que es un excedente de la finca



4. Fundamentos prácticos del compostaje

4. Fundamentos prácticos del compostaje

4.1 Herramientas recomendadas

Horqueta y/o pala: para agregar material, voltear y sacar el compost terminado,

Tijeras de podar o trituradora: para conseguir un tamaño de partícula adecuado, de 5 a 20 cm (ver capítulo 3.3)

Regadera, manguera o aspersor: para mantener una correcta humedad en el material en compostaje.

Termómetro: para la medición de temperaturas del material en compostaje (ver Figura 5) si no se tiene un termómetro, se puede usar una vara metálica o un palo de madera.

Tamiz: Para el cernido del material al finalizar el proceso de compostaje y separar elementos gruesos que aun no se han descompuesto (Figura 21)

Papel de pH (opcional): para el control de la acidez durante el proceso (ver capítulo 3.3)

Hay otros utensilios que ayudan en la labor, aunque no son imprescindibles, como los rastrillos, carretillas, aireadores manuales, etc.

Figura 10 Herramientas recomendadas



4.2 Técnicas de compostaje

Los factores claves a la hora de decidir una técnica son:

- Tiempo de proceso.
- Requisitos de espacio.
- Seguridad higiénica requerida.
- Material de partida (ausencia o presencia de material de origen animal).
- Condiciones climáticas del lugar (temperaturas bajo cero, vientos fuertes, lluvias torrenciales u otros eventos climáticos extremos)

Las diferentes técnicas se dividen generalmente en sistemas cerrados y sistemas abiertos. Los sistemas abiertos son aquellos que se hacen al aire libre, y los cerrados los que se hacen en recipientes o bajo techo.

4.3 Sistemas abiertos o en pilas

Cuando hay una cantidad abundante y variada de residuos orgánicos (sobre 1m³ o superior), se puede llevar a cabo este tipo de compostaje.

Figura 11 Pilas de compostaje, ciudad Sandino



Fuente: M.A. Martinez. Directora planta de compostaje municipal, Nicaragua

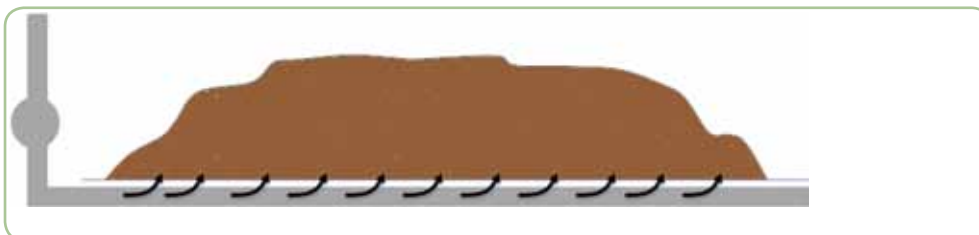
En función del manejo de las pilas en planta (espacio, tecnificación, tiempo de retención), existe una amplia variedad de formación de pilas, variando así el volumen de estas, su forma, la disposición y el espacio entre ellas.

En la publicación de FAO sobre los “Métodos de compostaje en la finca³”(FAO 2003), se explican diversas técnicas de formación de pilas como el método indio Indore o el compostaje rural chino. Todas las metodologías tienen en común la alternancia de capas de distinto material con el fin de conseguir una adecuada relación C:N (30:1) y el control de temperaturas y humedad (ver sección Tareas a realizar en la formación y manejo de la pila).

A nivel industrial, las pilas cuentan con un nivel alto de tecnificación. Algunos ejemplos se ven a continuación:

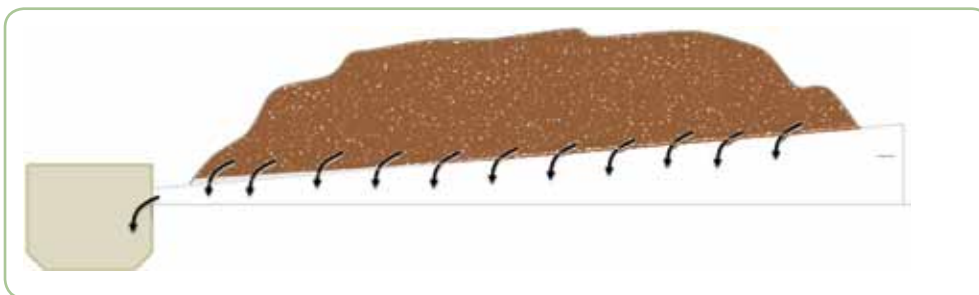
- Aireación forzada, en el que se proporciona aire a través de canales construidos en el suelo para así mantener los niveles óptimos de oxígeno.

Figura 12 Sistema de aireación forzada



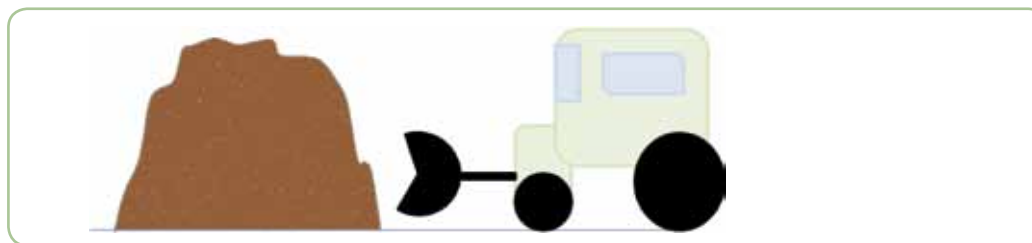
- Recolección de lixiviados y su posterior tratamiento.

Figura 13 Sistema de recolección de lixiviados



- Sistema de pilas con volteo mecanizado, utilizando bien sea volteador lateral de tornillo adaptado a tractor, o una pala frontal: en el primer sistema mecanizado la altura de la pila varía con la altura del volteador lateral de tornillo, mientras que en el segundo, las pilas pueden alcanzar una altura de tres metros. A nivel familiar, esto no es realista, y la altura alcanzada deseable es de 1,5 metros para facilitar la tarea de volteo.

Figura 14 Volteo mecanizado



Antes de comenzar el proceso de compostaje, se debe calcular el área que se utilizará y el volumen de la pila. Se pueden tener varias limitantes, como por ejemplo, la cantidad de material a compostar, el área a aplicar el compost, o el área donde se realiza el proceso de compostaje.

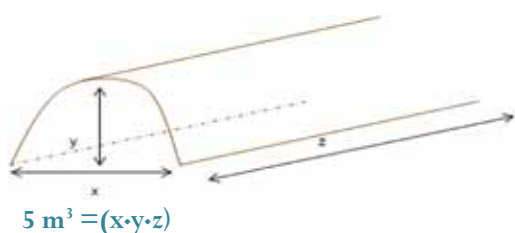
Ejemplo 4: Cálculo de las dimensiones de una pila de compostaje a partir de la cantidad de material a compostar

Un agricultor familiar tiene un total de 100 kg a la semana de restos vegetales de su huerto y de la cocina. Decide hacer una pila con los 100 kg semanales*. Si se considera ** una densidad de 250kg/m^3 , entonces el volumen de la pila será:

$$250 \text{ kg/m}^3 = \frac{100\text{kg}}{\text{m}^3}, \text{ x es } 0,40\text{m}^3$$

Este volumen es insuficiente para hacer la pila (volumen mínimo de 1m^3), por lo que se necesitarían, al menos, 250 kg para alcanzar los valores mínimos de base y altura de la pila.

En la situación de que varios vecinos se unen y consiguen 1.250 kg a la semana se obtienen 5m^3 . Las dimensiones de la pila serían:



En este caso, se utiliza la fórmula del volumen de un paralelepípedo como medida aproximada del volumen de una pila:

$$\text{Volumen}_{\text{paralelepípedo}} = x \cdot y \cdot z$$

Suponiendo una altura (y) de 1,5 m y un ancho (x) de 1,5 m, entonces la longitud (z) de la pila será: $5\text{m}^3 = (1,5 \cdot 1,5 \cdot z) \Rightarrow \text{longitud} = 2,2\text{m}$

*Cada semana se aconseja hacer una pila nueva, o una continuación del largo de una misma pila. Esto es así para evitar añadir material fresco a material que ya está en la fase termófila/higienización e interrumpir el proceso.

** Para calcular la densidad del material: se toma un cubo o cubeta de volumen conocido, se pesa el cubo lleno de material sin compactar y se resta el peso del cubo. Por último, se divide este peso del material entre el volumen conocido y así se obtiene la densidad del material.

Ejemplo: Una cubeta con un volumen de 10 litros ($0,01\text{m}^3$) pesa 3,27 kg (siendo 270 g el peso de la cubeta).

$$\text{Densidad} = \frac{3\text{kg}}{0,01\text{m}^3} = 300 \text{ kg/m}^3$$

Ejemplo 5: Cálculo de las dimensiones de una pila de compostaje a partir de la necesidad de compost final

Una familia tiene un huerto de 100 m² al que quieren añadir compost. La cantidad media recomendada es 4-5 kg de compost por cada m² de huerto, por lo que se necesitarán 400-500 kg de compost.

Teniendo en cuenta que durante el proceso de descomposición se pierde hasta un 50% de material (ver apartado Tamaño de la pila o volumen en compostaje), se calcula que el material de partida debería ser el doble del material final. Para este ejemplo, se requieren 800-1000 kg de material inicial.

Partiendo de este valor, se aplican los mismos pasos que en el ejemplo anterior:

Se calcula el volumen a partir de la densidad:
1000 kg => 4 m³ (densidad de 250 kg/m³)

Se calcula el área a partir del volúmen (la pila de la Figura 15 tiene una forma más piramidal, por lo que se utiliza la fórmula del volúmen de una pirámide en lugar que un paralelepípedo, que es más apropiada para este caso)

$$4 \text{ m}^3 = \text{área triángulo} \cdot \text{longitud} = \frac{b \cdot h}{2} \times \text{longitud} \Rightarrow 4 = \frac{1,7 \times 1,2}{2} \times \text{longitud}$$

Longitud de la pila = 3,9m

Figura 15 Pila de compostaje



Fuente: CDC de Agricultura Urbana de Ciudad Sandino. Managua.

Ejemplo 6: Cálculo de las dimensiones de una pila de compostaje a partir del área disponible para realizar el compostaje

Si el limitante es el área donde realizar el compostaje, entonces el valor fijo es el área base (la longitud y ancho de la pila).

Una familia puede dedicar un área de 3 m² de su patio para hacer compost. Ésa es el área límite. Se suele dejar un 15% de área de contingencia, ya que parte del material suele rodar de la pila (por viento, lluvia, pequeños animales) y caer a los lados.

Figura 16 Área disponible para pila de compostaje

Área Patio 3m² (1,5m x 2m)



Si, por ejemplo, se estima una altura máxima de 1,5m, entonces:

$$\text{Volumen m}^3 = (1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,7) = > 3\text{m}^3$$

3m³ (Densidad: 250 kg/m³) corresponde aproximadamente a 750kg de material de partida para compostar.

4.3.1 Tareas a realizar en la formación y manejo de la pila

- Elección del área y nivelación. Esta elección se hace en función de: condiciones climáticas, distancia al área de producción de residuos, distancia al área donde se aplicará el compost final y pendiente del terreno. Es preferible un área protegida de vientos fuertes, a prudente distancia de nacimientos de agua (más de 50 metros) para evitar contaminaciones, y de poca pendiente (< 4%) para evitar problemas de lixiviados y erosión.
- Picado del material y amontonamiento. El material a compostar se pica manual o mecánicamente de preferencia en fragmentos de 10-15 cm. Se toma normalmente como unidad de tiempo la semana para amontonar material en una misma pila, antes que empiece la fase termofílica o de higienización, y así evitar la re-contaminación del material con material fresco. Otro aspecto importante aquí es la mezcla de material para alcanzar una relación C:N adecuada. Según la Universidad de Cornell (1996), la fórmula a seguir es:

Siendo Q la cantidad de material a adicionar, C y N Carbono y Nitrógeno en peso, y M la humedad en peso del material.

Para una cantidad Q1 (ejemplo: paja), se debe calcular qué cantidad de Q2 necesito (ejemplo: estiércol). Esto puede estimarse de la siguiente manera:

$$R = \frac{Q_1 \times (C_1 \times (100 - M_1) + Q_2 (C_2 \times (100 - M_2) + Q_3 (C_3 \times (100 - m_3) + \dots)}{Q_1 \times (N_1 \times (100 - M_1) + Q_2 (N_2 \times (100 - M_2) + Q_3 (N_3 \times (100 - m_3)) + \dots)}$$

Para facilitar la tarea, se puede usar una tabla básica que indique los valores de C:N de los materiales más comúnmente usados (Tabla 14) y hacer una estimación:

$$Q_2 = \frac{Q_1 \times N_1 \times \left(R - \frac{C_1}{N_1} \right) \times (100 - M_1)}{N_2 \times \left(\frac{C_2}{N_2} - R \right) \times (100 - M_2)}$$

Tabla 14 Relación C:N de algunos materiales usados en el compostaje

Nivel alto de nitrógeno 1:1 – 24:1		C:N equilibrado 25:1 – 40:1		Nivel alto de carbono 41:1 – 1000:1	
Material	C:N	Material	C:N	Material	C:N
Purines frescos	5	Estiércol vacuno	25:1	Hierba recién cortada	43:1
Gallinaza pura	7:1	Hojas de frijol	27:1	Hojas de árbol	47:1
Estiércol porcino	10:1	Crotalaria	27:1	Paja de caña de azúcar	49:1
Desperdicios de cocina	14:1	Pulpa de café	29:1	Basura urbana fresca	61:1
Gallinaza camada	18:1	Estiércol ovino/caprino	32:1	Cascarilla de arroz	66:1
		Hojas de plátano	32:1	Paja de arroz	77:1
		Restos de hortalizas	37:1	Hierba seca (gramíneas)	81:1
		Hojas de café	38:1	Bagazo de caña de azúcar	104:1
		Restos de poda	44:1	Mazorca de maíz	117:1
				Paja de maíz	312:1
				Aserrín	638:1

Fuente: Adaptado de PNUD-INFAT (2002)

El rango ideal de la relación C:N para comenzar el compostaje es de 25:1 a 35:1. Para calcularlo, se seleccionan de la Tabla 14 los materiales disponibles y se calcula la relación C:N de los materiales por separado. Se realiza un cálculo de proporcionalidad (ver ejemplo 7) y se obtiene la cantidad de cada material que se aplica a la pila.

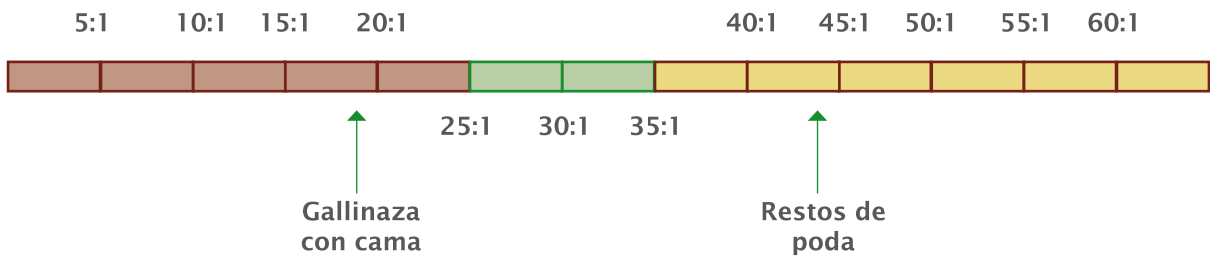
Este cálculo se puede usar como referencia pero siempre habrá un margen de error, ya que no se están realizando ajustes para la humedad del material o la disponibilidad del C o N (por ejemplo, el cartón tiene alto contenido de carbono, pero es de lenta degradación).

Ejemplo 7: Cálculo de la relación C:N en la mezcla de varios materiales.

Una finca tiene disponible gallinaza mezclada con cama de corral y restos de poda de árboles frutales.

Las relaciones C:N de ambos son:

Gallinaza con cama: 18:1 Restos de poda: 44:1



Una proporción 1:1 de ambas dará una relación cercana a 30:1, por lo cual, el operario puede hacer capas intercaladas de los dos materiales, o mezclar con una pala el material y hacer la pila.

También existen calculadoras en línea (online) para hacer los cálculos C:N de hasta tres materiales (Figura 17), como el de la Universidad de Cornell (en ésta, C/N Ratio corresponde a la relación C:N).

Figura 17 Calculadora de la relación C:N

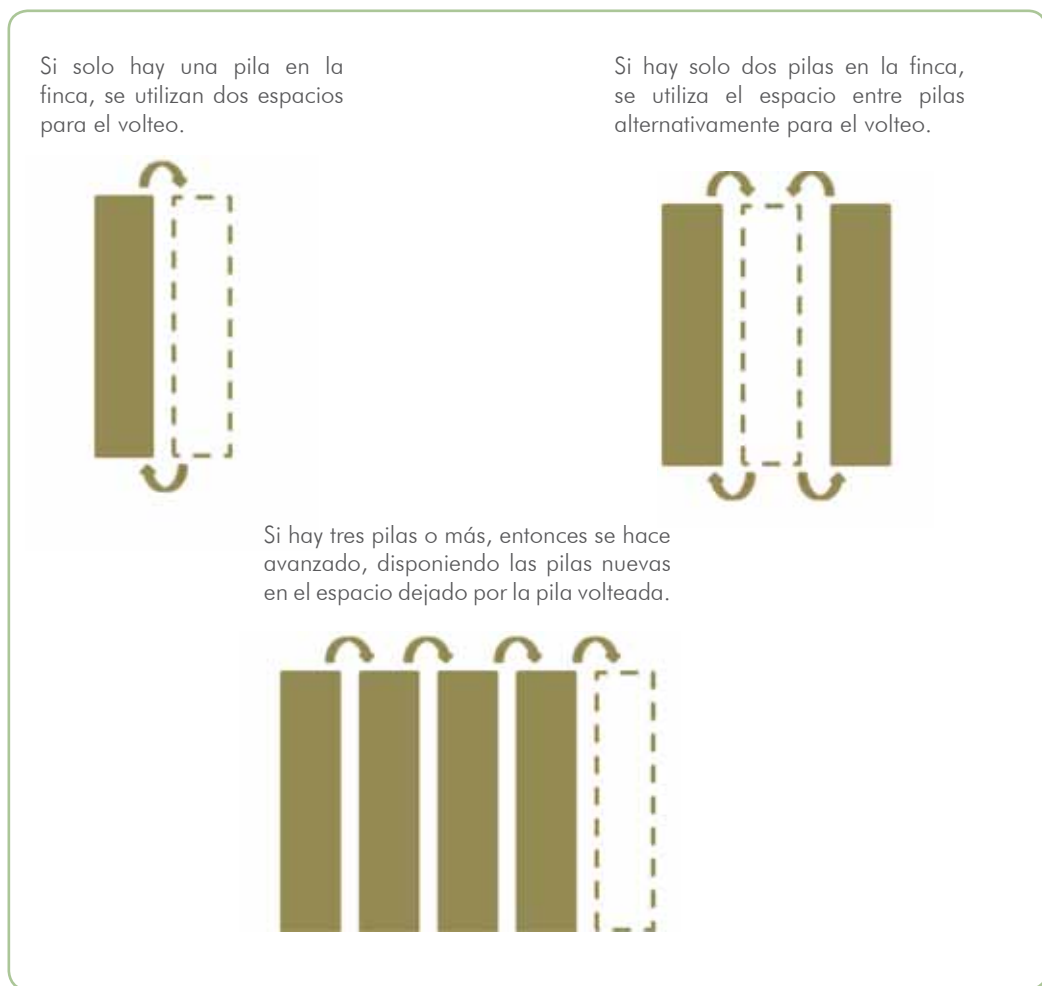
Ingredient	% H2O	Weight	% Carbon	% Nitrogen	C/N Ratio
					Result:

Fuente: Universidad de Cornell, disponible en <http://compost.css.cornell.edu/calc/2.html>

- **Volteo.** Normalmente, se hace un volteo semanal durante las 3 a 4 primeras semanas, y luego pasa a ser un volteo quincenal. Esto depende de las condiciones climáticas y de la humedad y aspecto del material que se está compostando. Se debe hacer un control de aspecto visual, olor y temperatura para decidir cuándo hacer el volteo (véase punto siguiente, control de temperatura, humedad y pH).

Es importante optimizar el espacio de operación y volteo. En la Figura 18 se dan algunos ejemplos de optimización del espacio.

Figura 18 Modalidades de volteo según número de pilas



Controles de temperatura, humedad y pH.

- Controles de temperatura, humedad y pH. La forma casera de realizar estos controles son;





Temperatura: si no se dispone de un termómetro, se puede utilizar una barra de metal o de madera, si no se tiene de metal, (Figura 11). La barra se introduce en distintos puntos de la pila y manualmente se comprueba un aproximado de la temperatura según la fase de compostaje y observando las temperaturas recomendadas en cada fase (Tabla 3 Parámetros de temperatura óptimos).

Humedad: se puede hacer la llamada “técnica del puño cerrado”, que consiste en introducir la mano en la pila, sacar un puñado de material y abrir la mano. El material debe quedar apelmazado pero sin escurrir agua. Si corre agua, se debe voltear y/o añadir material secante (aserrín o paja). Si el material queda suelto en la mano, entonces se debe añadir agua y/o añadir material fresco (restos de hortalizas o césped).

Acidez o pH: Hay dos modalidades de medida, una directamente en la pila y otra en un extracto de compost.

- Medida del pH en la pila: Si el compost está húmedo pero no encharcado, se puede, se puede insertar una tira indicadora de pH en el compost. Se deja reposar durante unos minutos para absorber el agua, y se lee el pH mediante la comparación del color.
- Medida del pH en solución acuosa⁴: Se toman varias muestras del compost y se colocan en recipientes con agua (volumen/volumen 1:5). Se agita y se toma la lectura, preferiblemente con pHmetro, si no se tiene pHmetro, entonces con tira indicadora.

Figura 19 Planilla de control del proceso

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12
Temperatura												
Ref temperatura	15°-40°		40°-65°			15°-40°				~T°ambiente		
pH												
Ref pH	4-6		8-9			7-8				6-8		
Humedad												
Ref humedad	variable, dependiendo de la humedad de entrada, entre 30% - 60%.											
Aspecto												
Ref aspecto visual												

Fuente: P. Roman. FAO

- Comprobación que ha finalizado el compostaje (en fase de maduración): para comprobar que el compost ha entrado en fase de maduración, el material, aun húmedo no aumenta de temperatura nuevamente a pesar de que se realice el volteo. Sin embargo, existen también otras pruebas que se realizan para comprobar esta fase:

Si se tiene acceso a un laboratorio se puede realizar una prueba de respiración o de autocalentamiento.

Si no hay esa posibilidad, se deben tomar varias muestras (mínimo 3 muestras) representativas del tamaño de la pila para analizar el aspecto y olor del material compostado. Debe estar oscuro, con olor a suelo húmedo, y cuando se realiza la prueba del puño, no debe mostrar exceso de humedad. Se puede, además, hacer un cuarteo (división de la pila en 4 partes iguales) y tomar de cada cuarto 3 muestras de 100 gramos de material compostado, introducir las en bolsas plásticas y dejarlas por dos días en un lugar fresco y seco. Si al cabo de este tiempo, la bolsa aparece hinchada (llena de aire) y con condensación de humedad puede ser indicativo de que el proceso aun no ha finalizado (el compost está inmaduro). Otra técnica es la de introducir un machete o instrumento metálico de 50 cm hacia el centro la pila. Si al cabo de 10 minutos al retirar el machete se siente caliente (no se puede tocar porque quema), quiere decir que el material aún está en proceso de descomposición. En estos casos, se debe dejar la pila para que continúe el proceso de compostaje.

- Cernido o Tamizado. Una vez se ha comprobado que el compost está maduro, se realiza un tamizado del material con el fin de eliminar los elementos gruesos y otros contaminantes (metales, vidrios, cerámicas, piedras). El tamaño del tamiz depende de la normativa del país, pero comúnmente es de 1,6 cm.

El material grueso que no pasa a través de la malla del tamiz (Figura 20) en su mayoría es material lignocelulósico (maderas) y volverá a una nueva pila de compostaje para cumplir una doble función, seguir descomponiéndose y servir como inoculante de bacterias compostadoras.

Existen numerosas alternativas artesanales a la malla metálica, como los ejemplos de la (Figura 21).

Figure 20 Tamiz usado en las labores de cernido

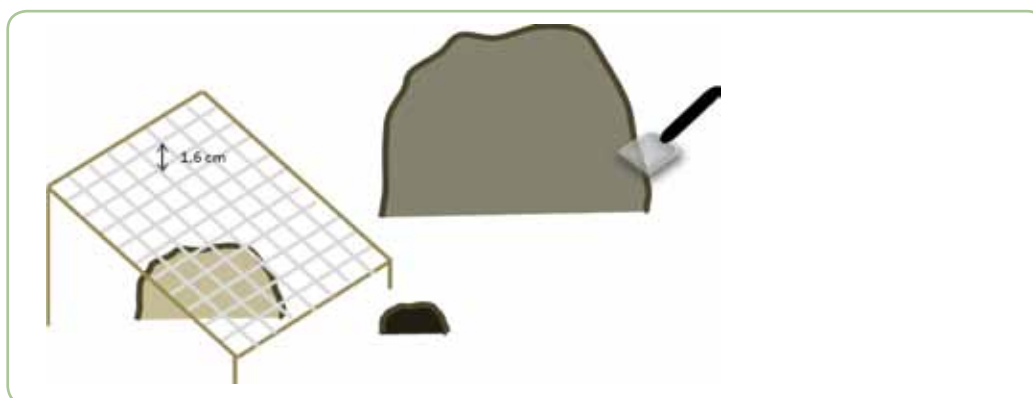


Figura 21 Instrumentos alternativos usados para tamizar



Seguimiento a las labores de campo

Para seguir las labores de compostaje en campo, es recomendable usar planillas como las indicadas en las Figura 19 y Figura 22.

Figura 22 Planilla de seguimiento de labores de compostaje

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12
Elección del lugar y nivelación												
Picado y amontonamiento del material												
Control de la temperatura y humedad												
Tamizado												

Fuente: P. Roman.

4.3.2 Experiencias de compostaje en pilas en América Latina

En áreas muy lluviosas o de clima frío, la pila se puede tapar con un plástico para favorecer la subida de la temperatura y evitar el estancamiento de agua.

Figura 23 Pila de compost tapada para evitar la bajada de temperatura y el exceso de lluvia.

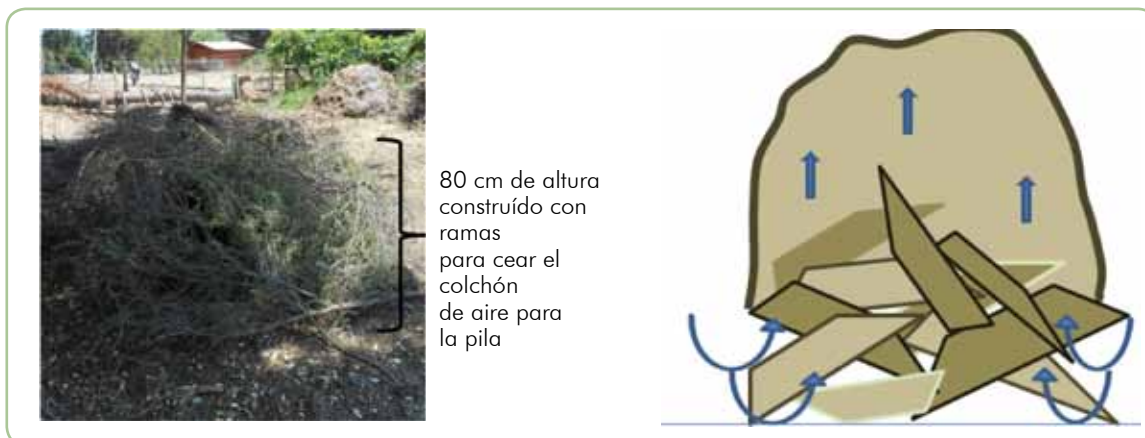


Fuente: E. Murillo. INTA-FAO, Nicaragua.

Se puede ayudar a la aireación con diferentes modalidades de aireación pasiva.

- “Colchón de aire”. Éste colchón se forma con ramas gruesas, y se coloca como una primera capa de la pila (80 cm). El compost tiende a crear bolsas anaeróbicas en la parte central inferior y este método mejora la circulación del aire de una forma homogénea.

Figura 24 Foto y dibujo explicativo de la técnica del colchón de aire.



Pila elaborada en la Finca Ecológica Fen, Chile

- Chimenea. Durante la formación de la pila es común la colocación de un madero de al menos 20 cm de diámetro y 1,5 metros de altura. Cuando la pila ya se ha formado, este palo se retira y el espacio abierto por el madero actúa como chimenea, mejorando así la circulación del aire en la pila.

Figura 25 Foto y dibujo explicativo de la técnica de la chimenea



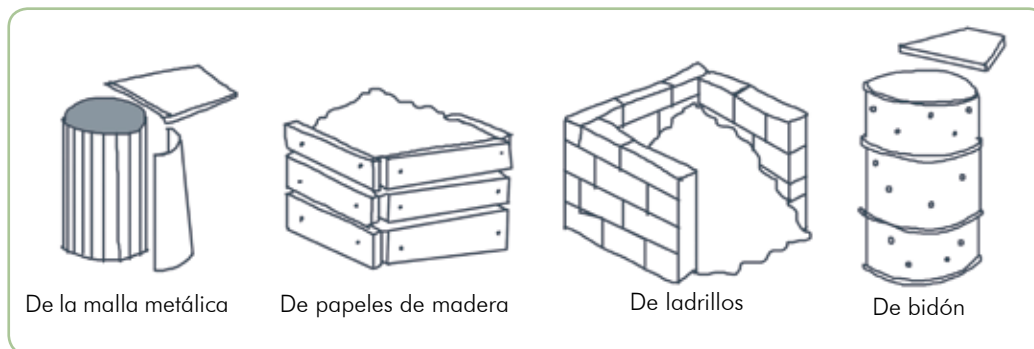
Pila elaborada en la Finca Ecológica Fen, Chile

Las dos técnicas se pueden usar conjuntamente, como se hace en la “pila sin volteo” (estudio de caso 6.3)

4.4 Sistemas cerrados o en recipiente

Este método es frecuentemente usado a nivel familiar. La técnica del recipiente tiene una serie de características que favorecen su replicación: evita la acumulación de lluvia, protege al material de vientos fuertes, facilita las labores de volteo, facilita la extracción de lixiviado, controla la invasión de vectores (ratones, aves), y evita el acceso al material en descomposición por personal no autorizado y animales de la finca. La desventaja de este método es que puede alcanzar altas temperaturas, por lo que el control de los parámetros cobra especial relevancia. En climas cálidos, se suele adicionar tierra al recipiente (hasta un 10%) que hace de regulador de la temperatura, ya que la tierra es estable y no genera calor.

Figura 26 Tipos de recipientes usados como compostera



En América Latina es común el uso de los bidones plásticos de 220 litros, éste se puede reutilizar con algunas pequeñas modificaciones, como recipiente de compostaje. El tiempo de proceso de compostaje es menor que en una pila. Dependiendo de la temperatura ambiente y del material inicial, el producto puede llegar a la fase de maduración en seis a diez semanas.

Figura 27 Volteo de una compostera horizontal



Fuente: A. Pantoja. CDC de Villanueva. Honduras

Antes de comenzar el proceso, se debe elegir un recipiente adecuado. Esta elección se basará en el tipo de bidones que haya disponible localmente, la cantidad de material del que se disponga para compostar, el área donde se colocará el recipiente (horizontal o vertical), y el tipo de proceso (estático o dinámico, que se explica a continuación).

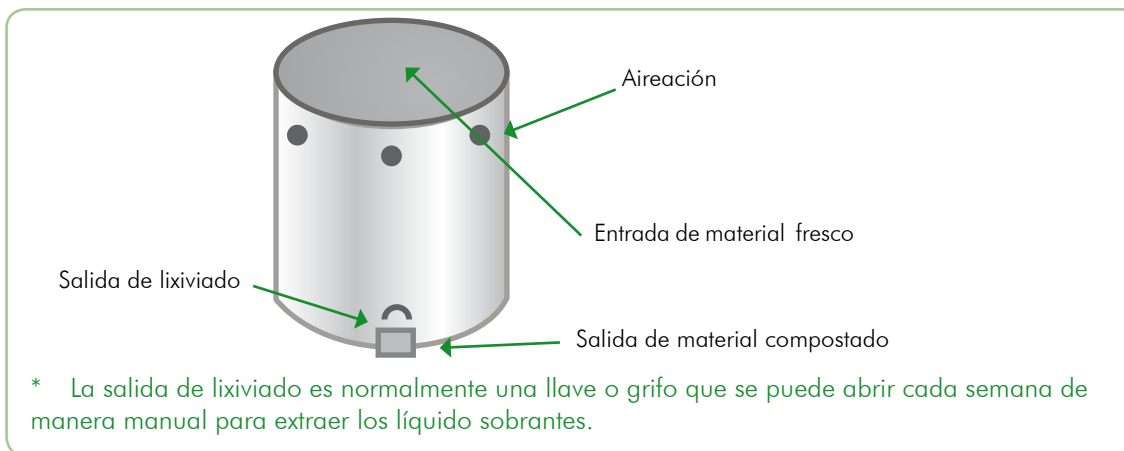
Existen numerosos materiales disponibles para usar como recipiente de compost, sin embargo, hay dos modalidades básicas de disposición del recipiente: vertical (o continuo/estático) y horizontal (o discontinuo/dinámico)

La disposición vertical es en la que el recipiente descansa sobre su base (Figura 28). El material fresco se añade por la parte superior y el material compostado se extrae usualmente por la parte inferior. Se le llama continuo porque el material fresco entra de forma continua y el producto compostado sale también continuamente por la parte inferior (si el recipiente está diseñado para que haya que voltearlo para extraer el material, entonces es una compostera discontinua, por cargas)

Las ventajas de este sistema son: fácil de manipular, necesita poca inversión, adecuado para áreas pequeñas (el diámetro de la base de un bidón de 220 litros suele ser de 60 cm) y se tiene un mejor control de los lixiviados (suele tener un pequeño grifo para extraer el lixiviado).

Dentro de las desventajas de este método, están que se necesita un área destinada al volteo. Se puede mezclar el material dentro del recipiente usando una barra, pero el resultado es heterogéneo y hay riesgos de crear bolsas anaeróbicas. El material tiende a compactarse y por tanto la distribución de la humedad no es uniforme, secándose más rápidamente la parte superior.

Figura 28 Compostera vertical o continua*

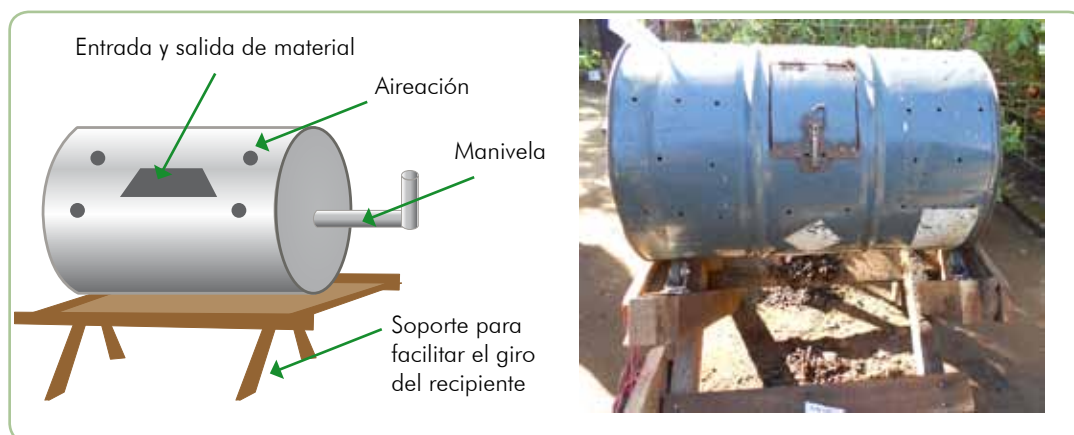


La disposición horizontal (Figura 29) es aquella en la que el recipiente descansa sobre su eje longitudinal (en un bidón de 220 litros, la longitud es de 90 cm). Se le llama discontinuo porque es un proceso "por cargas": una vez que se carga la compostera, se debe dejar que el proceso de compostaje finalice para extraer el material antes de introducir una nueva carga.

Como ventaja, este sistema tiene una mejor distribución de la humedad y de la compactación debido a su facilidad para el volteo (manivela), obteniéndose un producto homogéneo.

Entre las desventajas: este sistema requiere de mayor inversión en el recipiente que el sistema vertical, se necesitan al menos dos recipientes para la continuidad del proceso y el lixiviado puede salir por los orificios de aireación durante el volteo; para evitar esto se puede colocar un recipiente debajo.

Figura 29 Compostera horizontal o discontinua



Fuente: CDC de Managua, Nicaragua

En la Tabla 15 se presenta un resumen de las ventajas y desventajas de los sistemas cerrados.

Tabla 15 Ventajas y desventajas de cada los sistemas cerrados en compost

	Inversión	Manipulación	Espacio	Compost final
Horizontal o discontinua	Baja	Sencilla	Poco	Heterogéneo
Vertical o continua	Alta	Más compleja	Amplio	Homogéneo

4.4.1 Tareas a realizar en compostaje en recipiente

Elección del lugar y tipo de compostera. En función el espacio disponible (que sea de fácil acceso y preferiblemente cubierto y ventilado), cantidad de material a añadir y tiempo de labor que pueda dedicarse al proceso de compostaje, se elige una compostera vertical u horizontal (ver Tabla 15).

Picado del material y llenado del recipiente. Es importante que el material tenga un tamaño entre 5 y 20 cm para un proceso de descomposición óptimo,

El material debe conseguir una relación C:N de 25:1 a 35:1 para un adecuado comienzo del proceso (ver ejemplo 7 para el cálculo de la relación C:N). El recipiente puede ser llenado durante dos o tres semanas. Después de este tiempo de llenado, el recipiente se deja en reposo compostando hasta que el proceso de compostaje haya finalizado y se extraiga el compost final.

Control de la humedad y aireación, volteo, extracción del material y cernido o tamizado. Se aplican las mismas técnicas y conceptos que el compostaje en pilas (ver 4.3.1 Tareas a realizar en la formación y manejo de la pila).

Ejemplo 8: Cálculo del volumen adecuado de compostera.

Una familia con un huerto familiar de 35m² produce a la semana 20 kg de residuos verdes y de cocina. El material dentro del recipiente tiende a compactarse hasta 400kg/m³.

$$400 \text{ kg/m}^3 = \frac{20\text{kg}}{\text{m}^3}, x = > 0,05\text{m}^3 = 50 \text{ dm}^3$$

Si durante cinco semanas se añade material al recipiente, el recipiente deberá tener al menos un

volumen de 200dm³ (equivalente a 220 litros)

Un bidón de 220 litros (220 dm³) sería el adecuado para esta situación.

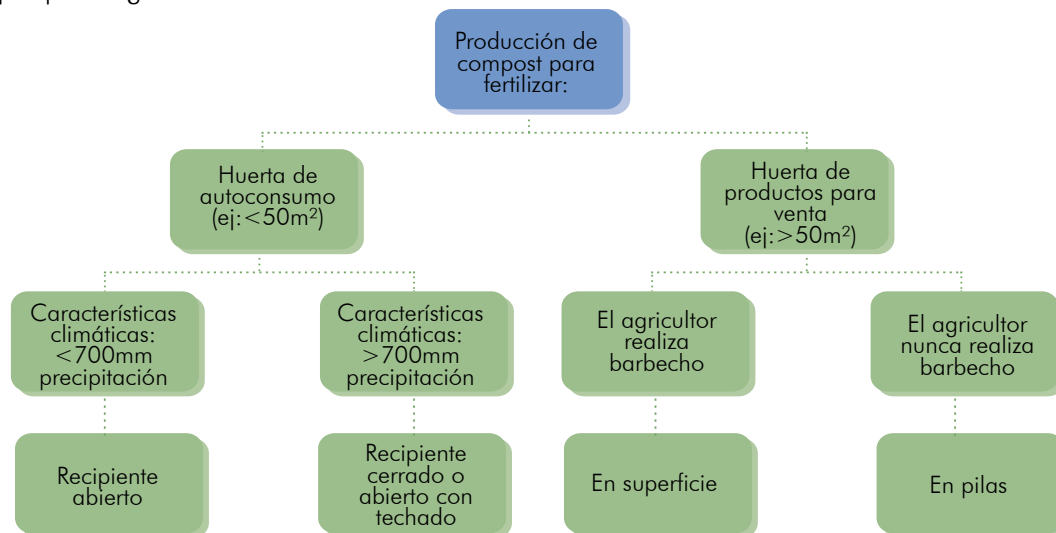
Este bidón puede usarse, y puede completarse parte del espacio libre con tierra.

4.5 Árbol de decisiones

Una buena manera de decidir qué técnica de compostaje se debe seguir es a través de un árbol de decisiones.

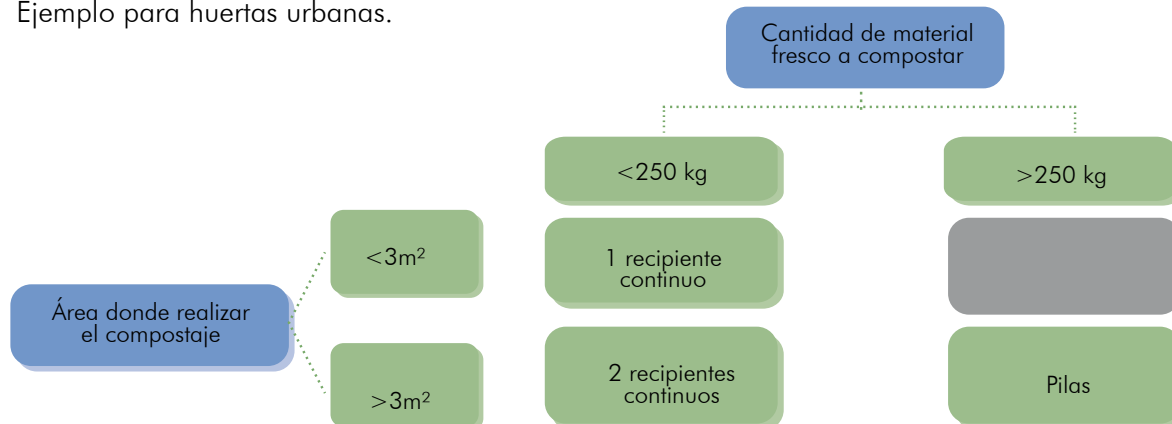
Ejemplo 9: Elección de un método de compostaje en agricultura familiar

Ejemplo para agricultores familiares.



Ejemplo 10: Elección de un método de compostaje en agricultura urbana

Ejemplo para huertas urbanas.



A photograph of a vegetable garden. In the foreground, there are several rows of young green leafy plants, likely lettuce, growing in dark brown soil. To the left, there are some taller, more established green plants. In the background, there is a long, low structure covered in white plastic, possibly a cold frame or a small greenhouse. The sky is overcast. A large, semi-transparent green rectangular box is overlaid on the right side of the image, containing white text.

5. Productos relacionados con el compost

5. Productos relacionados con el compost

5.1 Vermicompost

El vermicompost es el proceso de compostar utilizando lombrices y microorganismos. Es un proceso eólico que termina en la estabilización de la materia orgánica. Al igual que el compost maduro, el producto final es materia orgánica, pero son las lombrices quienes realizan el proceso con ayuda de los microorganismos (Lazcano, 2008).

Durante este proceso, minerales insolubles son solubilizados, quedando disponibles para las plantas cuando el vermicompost es aplicado al suelo. Igualmente, otros compuestos orgánicos complejos, como la celulosa, son parcialmente degradados a compuestos más simples por las bacterias presentes en el tracto digestivo de la lombriz, aumentando la disponibilidad de N.

Para la obtención de vermicompost, la especie de lombriz que comercialmente más se emplea es *Eisenia foetida* conocida comúnmente como la lombriz roja californiana, a pesar de ser originaria de Europa. Recibe la especie el nombre de foetida por el olor de los exudados que produce, los cuales presumiblemente son una adaptación antipredadores.

Esta especie de lombriz, es muy hábil en su alimentación, de forma que cada 24 horas consume alimento correspondiente a su propio peso al día. La lombriz obtiene su alimento a partir de materiales orgánicos vegetales, animales o mixtos, frescos o en diferente estado de descomposición, para producir más biomasa de lombriz (crecimiento y nuevas lombrices) y estiércol.

Esta especie requiere de altas concentraciones de materia orgánica para su alimentación, y de igual forma requiere de ciertas condiciones ambientales como una temperatura óptima de 19-25°C, con humedad del 80%, pH de 6,5-7,5 y baja luminosidad. La supervivencia de la lombriz depende de la cantidad de materia orgánica en el medio, disminuyendo la supervivencia según baja el porcentaje de materia orgánica.

El cuerpo de la lombriz parece una cadena formada de anillos, destacándose un anillo más grande, que contiene los órganos reproductivos, denominada clitelo. La lombriz es hermafrodita, es decir que en un mismo individuo tiene los dos sexos, pero para la reproducción se requiere de dos individuos. La fertilización cruzada, se realiza por la unión de los clitelos de dos individuos, donde se realiza la cópula, cada 7-10 días. Los dos individuos producen huevos, llamados Cocos, Cocun o Capullos. Los huevos tienen forma de limón y apariencia amarilla-transparente al inicio, siendo más café a medida que progresa el desarrollo de la lombriz (Figura 30). Los

Figura 30 Capullo de lombriz roja californiana



Fuente: M. M. Martínez. CATA-USM, Chile

capullos son visibles a simple vista. Cada capullo contiene de 2 a 12 lombrices que emergen a los 21 días de ser depositadas. La lombriz recién eclosionada mide 1mm de longitud.

Los individuos juveniles inician el periodo reproductivo a los 3-4 meses, cuando pasan a ser adultos y están sexualmente maduros. Para este momento alcanzan mas o menos 3 cm. Finalmente a los 7 meses, alcanzan su peso y tamaño final de 1 g y 7-8 cm de largo. Viven en promedio 10 años (Figura 31). Para obtener el vermicompost es necesario contar con un contenedor o cama, el alimento, el pie de lombriz y por su puesto las condiciones ambientales.

Figura 31 Ciclo de vida de la lombriz



Fuente: M. M. Martinez. CATA-USM, Chile

Requerimientos para el cultivo de lombrices

Contenedor o cama: existen diferentes opciones, tamaños y calidad de contenedores para cultivar lombrices, lo importante es que sean recipientes abiertos para que se facilite la alimentación y la visualización, normalmente estos contenedores son de madera. Las lombrices normalmente profundizan en el sustrato buscando alimento, pero no lo hacen más allá de 40 cm (Schuldt *et al.*, 2007), por lo que la cama debe tener una profundidad de 50-60 cm y 1 m de ancho, siendo el largo en función del área disponible en la finca. La cama debe estar protegida de la lluvia, la luz del sol y temperaturas extremas en tiempos de heladas o invierno.

Figura 32 Vermicompostera en huerto escolar. Tegucigalpa (Honduras)



Figura 33 Vermicompostera en huerto familiar. Managua (Nicaragua)



Figura 34 Vermicompostera en agricultura periurbana. Asunción (Paraguay)



Figura 35 Vermicompost en agricultura familiar. Neiva (Colombia)



Fuente: P. Roman, FAO

Sustrato: normalmente se emplea una mezcla de suelo con material orgánico fresco (restos de vegetales, estiércol, etc) en una proporción de 3:1, o material orgánico compostado con material fresco en proporción 2:1 respectivamente.

Pie de cría-lombriz: El pie de cría se obtiene comercialmente. La recomendación más común es un kilo de lombriz comercial por metro cuadrado de lecho. También se puede obtener el pie de cría a partir de las camas. Dependiendo del país, un kilogramo de lombriz puede costar entre USD50-100.

Tabla 16 Condiciones ambientales:

Parámetro	Rango ideal
Humedad	70%-80%, ésta es la humedad máxima, ya que la lombriz respira por la piel, y una humedad mas alta impediría su respiración.
Temperatura	20-30°C
pH	5-8,5. Se debiera verificar con una cinta indicadora el pH antes de alimentar la lombriz
Luz	La lombriz es fotosensible, por lo que siempre preferirá ambientes oscuros.

Los siguientes materiales se pueden añadir al vermicompost:

Estiércol, papel, cartón sin pintura, frutas, vegetales, cáscara de huevo, poda o corte de pasto, paja, residuo de cosecha, pulpa de café, granos de cereales. También se puede aplicar los biosólidos procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas (Lotzof, 2012).

Cosecha de vermicompost

El vermicompuesto final, se cosecha dependiendo el sistema de producción y el tamaño. A pequeña escala, se utiliza el sistema de trampeo de lombrices que consiste en dejar de alimentar a las lombrices por 8-10 días. Posteriormente se coloca "alimento fresco" en un extremo de la cama o sobre el material en el mismo contenedor para atraer las lombrices. De esta forma la lombriz se mueve al material fresco en busca de alimento y pueden ser colectadas de allí.

En esta labor, las lombrices recién nacidas y los nuevos coccon quedan en el vermicompost cosechado; o sea que no son recuperados. El vermicompost es un material mas estable que el compost y contiene mas proporción de acidos húmicos y fulvicos (ver anexo 7.4)

El material obtenido puede ser tamizado para homogenizar el tamaño, o secado (Figura 36) para ser almacenado y posteriormente aplicado a suelo. Igualmente se emplea como base para la producción de té de vermicompost.

Figura 36 Secadero de vermicompost



Fuente: Martínez M., Fusagasugá, Colombia (2008)

Al igual que el compost, el vermicompost mejora la estructura de suelo, aumenta la retención de agua, aporta microorganismos benéficos, además de enzimas y otros metabolitos que participan en la transformación de la materia orgánica.

5.2 Té de compost

El té de compost es el extracto soluble en agua obtenido a partir del compost. Se trata de un sistema para extraer del compost los compuestos que sean solubles en agua y adicionalmente microorganismos. Este sistema es similar al que se emplea para hacer una infusión de hierbas o un té para tomar, solo que se emplea agua fría, y aunque limpia, no necesariamente potable.

El proceso de producción de té de compost tiene como fin aumentar la carga microbiana del compost, para lo cual al proceso se pueden incorporar aditivos que actúan como catalizadores para inducir el metabolismo microbiano y con ello aumentar las poblaciones más rápida y eficientemente (Scheuerell, 2004; Angulo *et al.*, 2011).

El té de compost debe diferenciarse de otros productos como el lixiviado del compost, el te de estiércol y el extracto de compost:

1. Lixiviado del compost: corresponde al agua que drena, por la sobresaturación (exceso de humedad) del material, durante el proceso de compostaje. Este exceso de agua, sale del compost y puede colectarse. Contiene también nutrientes solubles y algunos microorganismos. Sin embargo, cuando el compost tiene exceso de agua, y aun está inmaduro, se generan zonas anaeróbicas, donde se producen compuestos como azúcares que pueden dar lugar a ácidos y otros compuestos que pueden resultar tóxicos para las plantas (fitotóxicos). Cuando el lixiviado procede de compost fresco, generalmente el líquido tiene aspecto oscuro, pH ácido y tiene mal olor (Figura 37).

Figura 37 Lixiviado de compost fresco. Compost vegetal, Funza, Colombia



Fuente: M. M. Martínez. CATA-USM, Chile.

2. Extracto de compost: es el producto de hacer pasar agua a través del compost. Esta agua contiene nutrientes solubles también y microorganismos, pero por el tiempo de contacto del agua con el material, la recuperación es menor. Algunos productores reciclan este líquido sobre las mismas pilas de compost, y pueden recuperarse más microorganismos, aunque la labor es costosa y muchas veces la recuperación no es significativa.

3. Té de estiércol: es el extracto acuoso del estiércol, contiene elementos solubles y según la madurez del mismo, es una fuente de Nitrógeno, bien sea como nitratos (maduro) o como amonio (fresco). Igualmente contiene fósforo y potasio soluble, alto número de bacterias, y como no ha tenido proceso de maduración, también puede contener otros elementos no deseados, como por ejemplo antibióticos o residuos de medicamentos. Microbiológicamente, puede contener patógenos, como huevos y quistes de protozoarios y otros nematodos fitopatogenos. La calidad del té de compost, depende del compost del que provenga.

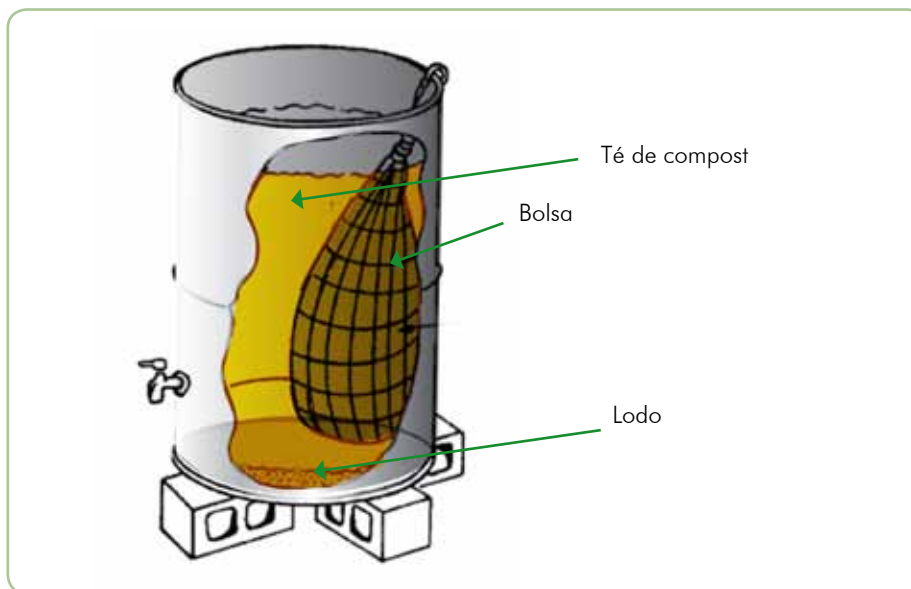
4. Obtención del Té de compost

El té de compost se obtiene a partir de compost terminado y maduro, aunque también hay quienes hacen té a partir de estiércol fresco o medianamente compostado. Debe tenerse en cuenta que según la calidad y composición de la materia prima, será la calidad y contenido de sustancias en el extracto acuoso.

Una vez obtenido el compost se realiza la extracción. Para ello se requiere de:

- Un tanque plástico ubicado en un lugar fresco, limpio y protegido del sol directo y la lluvia. Temperatura ambiente.
- Una malla, saco o recipiente poroso que contenga el compost
- Un motor y tubería adaptada al interior del tanque para mantener la aireación
- Agua limpia y preferiblemente potable.

Figura 38 Tanque para la obtención de té de compost



A nivel comercial, existen tanques que han sido diseñados con dispositivos para facilitar una aireación permanente y homogénea.

Forma de preparación:

- El compost se introduce en la malla o saco poroso en una relación correspondiente a aproximadamente el 10% (peso/volumen) del volumen de agua del tanque.
- El saco o malla se cuelga del borde del tanque asegurando que el material solido entre en contacto con el agua. Esto de manera similar a una bolsa de infusión o té de hierbas en una taza.
- Se conecta el motor y se inicia el proceso de aireación continua y mecánica, por espacio de 18-30 horas. El motor se puede programar para trabajar 2 horas y 1 hora de descanso (2x1)
- Cumplido el tiempo, se retira la malla con el compost húmedo, y este material puede regresar a una pila de compostaje en su fase inicial.
- El líquido cambia a color caramelo (más claro o más oscuro según el material de origen). Si procede de estiércol fresco, la tonalidad es verde, si procede de vermicompost o humus, el color es café oscuro.
- Durante el proceso, es necesario verificar que el proceso se está llevando a cabo de manera correcta. Una manera sencilla de control es el olor, ya que olores desagradables se emiten cuando la condición de oxígeno es insuficiente; un proceso aeróbico no debe emitir malos olores.

Aplicación del té de compost

El té de compost se puede aplicar a nivel foliar pulverizándolo sobre la superficie de la hoja, o puede aplicarse directamente en el suelo junto con el agua de riego o fertirriego.

Compuestos presentes en el té de compost

Los compuestos presentes en el té de compost incluyen sustancias orgánicas que han sido producidas por los microorganismos durante el proceso de elaboración del té. Esto es por ejemplo, ácidos orgánicos, aminoácidos y azúcares, entre otros.

Igualmente contiene elementos inorgánicos solubles como N, P, K, entre otros, que contribuyen a la nutrición de los microorganismos y de las plantas una vez sea aplicado en un sistema agrícola (Anexo 7.5)

Así mismo, contiene una alta concentración y variedad de microorganismos benéficos del grupo de las bacterias, hongos y nematodos que en los sistemas agrícolas, contribuyen a prevenir enfermedades, aumentar la disponibilidad de elementos nutricionales y estimular el crecimiento vegetal.

Calidad del té de compost

La calidad del Té de compost depende de la calidad del compost o del material de donde proceda. Si se trata de un compost que ha pasado por las diferentes etapas térmicas hasta llegar a la madurez, probablemente se tendrá mayor seguridad de haber eliminado patógenos, semillas, nematodos y otros fitopatógenos.

Por el contrario, si en el proceso de compostaje no se alcanza la temperatura y tiempo suficientes, o si bien los materiales están crudos, es altamente posible encontrar, tanto en el material o "compost", como en el té, bacterias como *Salmonella* spp., *E. coli* y *Clostridium* spp., así como virus como Enterovirus, Hepatitis A y Adenovirus, además de parásitos como *Taenia* sp. y *Ascaris lumbricoides*, que pueden ocasionar problemas de salud tanto al agricultor como al consumidor. Por lo que se tienen que tener cuenta estas medidas de seguridad antes de su aplicación.



6. Experiencias en América Latina

6. Experiencias en América Latina

6.1 Producción de compost a partir del sistema de crianza de porcino en cama profunda ⁵

Localización: Predio Monte Heliconia, ubicado en la cuenca Hidrográfica del Río Las Ceibas, Colombia. Predio con una temperatura promedio de 25 °C, y una precipitación anual de 1.300 mm. El predio está situado a una altitud de 780 msnm, en un sistema ecológico clasificado como Bosque Seco Tropical.

Antecedentes del proyecto: El sistema productivo de engorde de cerdos en cama profunda fue introducido en 40 fincas de la zona con muy buenos resultados (Figura 39). La mayor ventaja de este sistema es el ahorro considerable de agua al no necesitarse realizar el lavado de las chiqueras que de manera tradicional se venía realizando con un gasto aproximado de 2 m³ de agua por cerdo y mes. Otra de las ventajas importantes de este sistema es la producción de abono orgánico, a partir del compostaje aerobio de las excretas, y minimizando las posibilidades de contaminación.

Figura 39 Ceba de cerdos en cama profunda, finca Monte Heliconia



Descripción del proceso: Este ejemplo corresponde a la recolección de los residuos orgánicos (excretas y cama) de 20 cerdos de engorde, alojados en un corral de 4m x 10 m (área: 40 m²).

El ciclo productivo (levante y ceba) tiene una duración de cinco meses, periodo en el cual cada animal produce 450 kgs de excretas (heces más orina) en promedio. En el presente estudio el total de excretas recogidas al final del ciclo con 20 cerdos fue de 9.000 kg y 1.200 kg de cama (cascarilla de arroz), que hizo un total de 10.200 Kg de material orgánico recogido, que pasa a la fase siguiente de compostaje

La cama profunda tiene los siguientes componentes:

Cascarilla de arroz: Esta cascarilla tiene una gran capacidad como material secante, siendo esta propiedad la que potencia su utilización como cama profunda en la ceba de cerdos, para realizar el secado de las excretas.

Estiércol y orina de cerdo: Son el mayor componente de la cama equivalente a un 88% del total de esta.

5. Experiencia del proyecto FAO: Plan de Ordenación de la Cuenca Hidrográfica del Río Las Ceibas. UTF/COL/030/COL

Las labores que se realizan en el sistema de cama profunda para la obtención de compost son:

Puesta de la cama:

El piso de la chiquera es de tierra compactada y con drenajes perimetrales para evitar la entrada de agua de escorrentía. La cama debe tener 40 cm de profundidad para una buena absorción y secado del material orgánico (Figura 40). Para el ejemplo actual, se utilizaron 750 kg de cascarilla de arroz para los 40m² de chiquera.

Figura 40 Preparación de la cama con cascarilla de arroz



Por su comportamiento natural los cerdos realizan un proceso de hociqueo permanente, volteando de esta manera la cama, lo que permite el rápido secado o deshidratado de las excretas (Figura 41) en este sitio se inicia la etapa de compostaje con la elevación de la temperatura hasta 15 °C por encima de la temperatura ambiente alcanzando los 40°C, consiguiéndose además con este aumento de temperatura disminuir la presencia de malos olores y alterar el ciclo de vida de la mosca doméstica.

Figura 41 Cerdos hociqueando permanentemente en la cama



Recolección y transporte de la cama:

Una vez que se cumple el ciclo de ceba de los cerdos (5 meses), estos salen para el mercado, inmediatamente se inicia la recolección de la cama y traslado de ésta (Figura 42) a un sitio plano de 100 m², completamente techado y con piso de tierra donde se deposita la totalidad del material, aproximadamente 10 toneladas, el cual es acomodado en una pila en forma de hilera de un metro de altura.

Figura 42 Recolección de la cama y formación de la pila de compost



Manejo del compostaje:

Luego de ubicado el material en el área techada, se inicia el control de las tres variables más importantes en este proceso de compostación aeróbica, como son:

Aireación: De manera manual y con la utilización de palas se procede a realizar el volteo total del material ubicado en la hilera (Figura 43). Con este procedimiento se busca en primer lugar mejorar las condiciones aerobias del sustrato, lo mismo que favorecer la homogenización de la mezcla y lograr un proceso de estabilización. Este procedimiento se realiza cada dos meses, siendo un total de 3 volteos durante los seis meses.

Figura 43 Volteo periódico de la pila de compost



En el presente estudio de caso, el proceso de compostaje tuvo una duración de 6 meses, más por decisión puntual del responsable de este manejo. Bajo otras condiciones de manejo como por ejemplo mayor número de volteos, el producto final se puede obtener en menor tiempo, sumándose a esto que el producto en el corral de los cerdos ya ha iniciado el proceso favorecido por el hociqueo de los animales, la temperatura de la cama y la deshidratación de las excretas.

Humedad: En la medida que se realiza los volteos se va adicionando agua en forma de aspersión (Figura 44), tratando de lograr aproximadamente un 65% de humedad en el material, para lo cual se realiza la prueba del puño.

Figura 44 Aplicación de agua a la pila de compost



Temperatura: Se debe controlar semanalmente la temperatura con la utilización de un termómetro, haciendo registros en varios puntos de la pila.

El producto final obtenido (Figura 45) debe tener un agradable olor a tierra, color marrón oscuro y una textura homogénea de grano pequeño⁶.

6. Puede haber una alta concentración de cobre, ya que este elemento está presente en los purines de cerdo. Por ello hay que regular bien la cantidad de material secante que se añade.

Figura 45 Empaque y Producto final



Usos:

Este material orgánico se está utilizando en aplicaciones para la fertilización de gramíneas, que se utilizan como coberturas en obras de bioingeniería para el control de procesos erosivos (Figura 46).

Figura 46 Compost en bioingeniería. Colombia



Fuente: Control de la Erosión. Cuenca de Las Ceibas, Colombia

Igualmente se ha utilizado en fincas vecinas como mejorador de suelos en cultivos como cacao, cítricos y maracuyá, cultivos que han ofrecido visualmente un buen crecimiento, desarrollo y color de sus hojas.

6.2 Pila de compostaje en agricultura Peri-urbana ⁷

Localización: CDC de los municipios de J. A. Saldivar y Nueva Italia, Asunción, Paraguay. El clima de la zona es subtropical con un invierno seco (julio), la precipitación anual es de 1.400mm a una altitud de 40 msnm.

Descripción del proceso: En primer lugar, se delimita y limpia una superficie de aproximadamente 2m x 1m (Figura 46), se coloca una cama de ramas cruzadas para favorecer el drenaje y aireación de la pila. Se emplaza en el centro una vara de unos 2,50 m de altura (ver capítulo 4.3.2).

Figura 47 Limpieza del lugar para construir la pila



Fuente: CDC J.A Saldivar. Paraguay

A continuación, se disponen capas de aproximadamente 15-20 cm de residuos orgánicos, intercalando restos de cosechas de huerta y cama de gallina. Cada cuatro capas, se puede distribuir una fina capa de tierra (2 cm) como amortiguador en la subida de las temperaturas y también como inoculante de microorganismos. Se repite el proceso hasta que la pila alcance 1,5 metros de altura. Durante el proceso de apilamiento del material, si los materiales están muy secos, es conveniente humedecer las capas.

Realizar los controles de humedad y temperatura según capítulo 4.3.1. El proceso de compostaje dura 12 semanas en verano y hasta 24 semanas en invierno. El producto final tiene un agradable olor a tierra y es de color marrón oscuro.

Usos:

Este material orgánico se está utilizando en aplicaciones para la fertilización de los tablones para la producción de hortalizas de hojas en el CDC, con una aplicación de 3 a 5 kg/m² en el suelo a cultivar.

7. Experiencia del proyecto FAO: Fortalecimiento de las cadenas productivas de la agricultura familiar para una inserción social y económica sostenible en zonas peri urbanas del Departamento Central de Paraguay. TCP/PAR/3303

6.3 Pila sin volteo

Localización: Finca Ecológica FEN, Sector Alhué. Chile. Zona con una temperatura promedio de 15°C y una precipitación anual de 312 mm. Está situado en una zona de clima templado mediterráneo.

Descripción del proceso: Con la finalidad de facilitar las labores de la formación de la pila, se aconseja, si se dispone del área en terreno, de amontonar los materiales de manera separada (Figura 48). Esto facilita la tarea a la hora de organizar la pila con capas de diferentes materiales.

Figura 48 Material segregado por tipo para facilitar la formación de la pila



Fuente: Finca FEN. Chile

El primer paso es la formación de un colchón de aire de 80 cm de altura. El colchón se forma con ramas gruesas con un grosor de hasta 2 cm. El colchón se dispone a lo largo del área que vaya a ocupar la pila (Figura 49).

Figura 49 Ramas gruesas dispuestas formando un colchón de aire



Fuente: Finca FEN. Chile

A continuación se dispone el material formando capas, intercalando el material rico en carbono (hojas secas y ramas) y el rico en nitrógeno (material verde, estiércol y gallinaza). En la figura 51 se observan las diferentes capas, estas tienen un espesor aproximado de 10-15 cm. En la estación seca, es conveniente humedecer la pila mientras se va formando, por lo que se recomienda colocar sobre la pila, a una altura de 2.5 m, una manguera con dos micro-aspersores que se mantendrán funcionando mientras dure el proceso de formación de la pila, y se apagarán cuando hayamos terminado y vayamos a cubrir la pila con paja.

Ya que este sistema no necesita volteo, es necesario crear una chimenea para ayudar a la aireación de la pila (ver capítulo 4.3.2). Para la formación de la chimenea, se coloca transitoriamente un poste de unos 2 m de altura y un diámetro de aproximadamente 10 - 12 cm, en el centro de la pila, mientras se forman las capas de materiales, y al terminar la formación de la pila, este poste se retira (Figura 50).

Durante la formación de la pila, las capas de material mas seco debieran quedar en los primeros centímetros de la pila, ya que en esa zona se tiende a acumular la humedad de la pila.

Figura 50 Capas alternas de material rico en carbono y nitrógeno



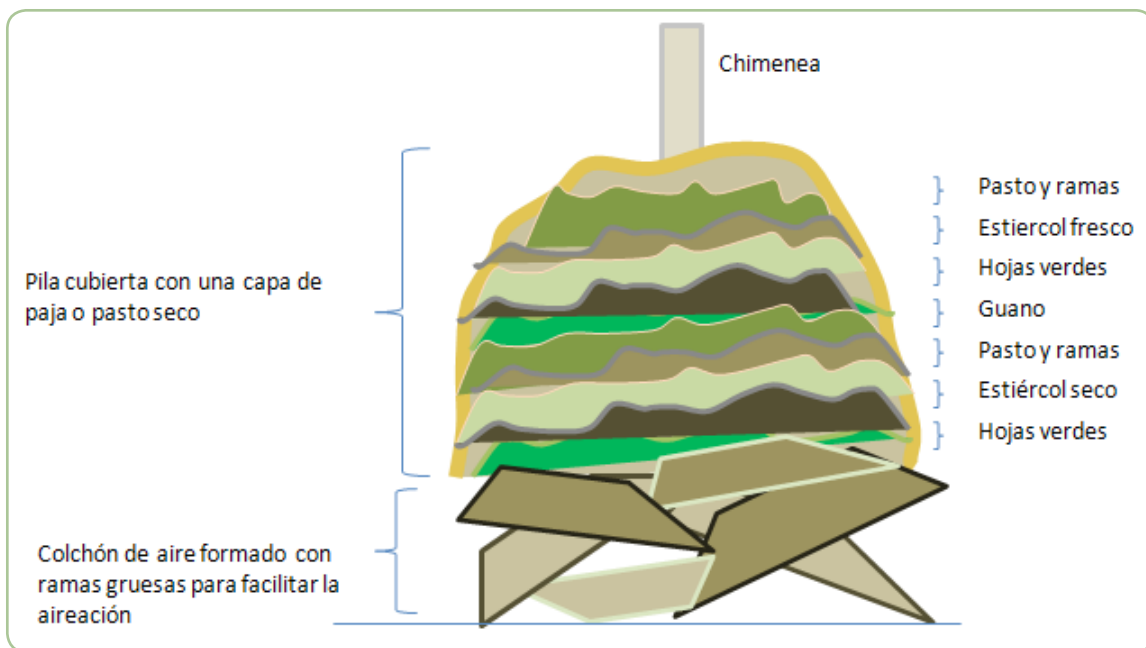
Fuente: Finca FEN. Chile

La pila debe alcanzar una altura adecuada para que una persona pueda manejarla, aproximadamente 2 metros, en las siguientes semanas la pila irá reduciendo su tamaño hasta la mitad.

La última operación de formación de la pila, es la de extracción del poste y colocación de una gruesa capa de paja o pasto seco que, permitiendo el intercambio gaseoso de la pila con el exterior, también protegerá a la pila del viento, del sol y de las oscilaciones de la temperatura exterior (Figura 51).

Semanalmente, se realiza el control de parámetros y se riega según los requerimientos (capítulo 4.3.1). Al cabo de 4-6 meses la pila habrá reducido su tamaño a la mitad y el material estará listo para ser cernido y usado como fertilizante.

Figura 51 Esquema de la pila sin volteo



Fuente: P. Roman, FAO

Mensaje del agricultor. Finca FEN Biodinámica.

Anotaciones del productor Francisco Valenzuela

¿Qué es el Compost?

A veces se dice simplemente que es un tipo de fertilizante que recupera la calidad de los suelos y se obtiene a través de un proceso natural.

Sin embargo, podríamos decir mucho más, pues el compost es en sí un organismo que contiene fuerzas de vida.

Compost viene de componer, de reunir en forma armónica la participación de diferentes elementos. Hacerlo bien, es una arte, que se refleja en la fertilidad de los suelos que lo reciben. Ello implica mantener una relación personal con este organismo en todo su proceso, desde el inicio de su formación hasta su término.

Quien hace un compost, da las condiciones para que algo nuevo surja, algo que no existía previamente. Y esto es posible gracias a su intensa actividad interior, que en cierta medida es autónoma. Esta vida interior se refleja ya inicialmente por la temperatura que se autogenera, alrededor de 60°C en lo ideal. Pero en una observación más detenida a lo largo de su proceso de transformación, podemos ver que también están además del fuego, el aire, el agua y la tierra, esos cuatro elementos presentes en un organismo. Podemos vincularlos a los cuatro estados de la materia, lo sólido, lo líquido, lo aéreo y lo calórico.

Estos cuatro elementos marcan también cuatro fases o etapas en la vida de la pila, las cuales están ligadas íntimamente entre ellas gracias a las fuerzas subyacentes en las sustancias que la componen. Desde la fuerza calórica que inicia el proceso vital y que debería mantenerse en su interior suavemente en la etapa siguiente. En su segunda fase van surgiendo los gases (dióxido de carbono, gases de metano y amoníaco), generando un espacio interior si logramos controlar las temperaturas desde el principio, para que los gases amoniacales no escapen al exterior. Si el proceso se acelera demasiado puede perderse hasta 2/3 del volumen inicial de la pila. En la fase siguiente ya están las condiciones para que se generen líquidos que provienen de los tejidos celulares en desagregación. De esta forma, los materiales iniciales se ablandan y tienden a homogeneizarse.

Esta es la base para la etapa siguiente: la formación de una sustancia humífera, en cuya composición encontramos carbono, oxígeno, nitrógeno, hidrógeno y azufre, base de la fertilidad de los suelos.

El compost reúne muchos componentes en forma proporcionada y bajo ciertas condiciones bastante precisas, logrando obtener un producto profundamente transformado, que ha sabido conservar el hilo de la vida. Que ha sabido captar que en los residuos (o “desechos” condenados a perderse inútilmente), estaban presentes recursos de gran valor para mantener la vida, pues eran portadores de las fuerzas vitales que subsistían en los organismos de los cuales procedían.

Un compost correctamente elaborado es una fuente de nutrientes para las plantas y por ende, para animales y seres humanos. Al hacer posible que los residuos vuelvan a nuevos ciclos, que de otra forma podrían estar contaminando el medio ambiente, el compost cumple una maravillosa función en los ciclos de la vida.

El compost es también la forma de devolver a la tierra en nutrientes lo que ella nos ha aportado en alimentos. De no hacer compost estaríamos despilfarrando preciosos recursos y dejando que nuestras tierras se empobrezcan.

Para potenciar las capacidades y atributos del compost, en agricultura biológica dinámica se introducen seis preparados biodinámicos una vez que se ha armado la pila. Estos regulan y equilibran todo el proceso, lo cual ha sido demostrado desde hace décadas en las diferentes investigaciones realizadas sobre los compost y el obrar de los preparados en ellos.

Estos preparados se elaboran a partir de extractos de plantas (milenrama, manzanilla, diente de león, corteza de roble, ortiga dioica y valeriana) y para algunos de ellos, son llevados al seno de la tierra dentro de una envoltura de origen animal en determinadas épocas del año. De esta forma quedan expuestos a fuerzas provenientes del cosmos que son retenidas dentro de esas envolturas. Estas fuerzas logran potenciar las sustancias allí contenidas al punto que dentro de la pila de compost se comportan como fuerzas radiantes en su interior, confiriéndole a la pila de compost cualidades que le permiten llegar a buen término y entregar al suelo esa capacidad vivificante, que dará plantas más sanas y vitales.

De aquí surgirá entonces un suelo más fértil, donde las plantas crecerán sanas y armoniosas que darán mejores cosechas, con mejor sabor y aromas en los alimentos para el ser humano y para los animales.

6.4 Compostera metálica horizontal en Agricultura Urbana⁸

Localización: CDC de Agricultura Urbana en Los Laureles, Managua, Nicaragua. Managua es una de las capitales más cálidas de Centroamérica con una temperatura promedio de 27°C. La precipitación anual de 1.100 mm y la ciudad está situada a una altitud de 35 msnm.

Descripción del proceso: El Centro Demostrativo utiliza una compostera construida con materiales locales, tales como un barril metálico de 200 litros de capacidad apoyado sobre una infraestructura de madera y ruedas para facilitar la tarea de volteo (Figura 52). La compostera se sitúa en un área con sombra.

Figura 52 Compostera metálica horizontal



Fuente: CDC de Managua. Nicaragua

El material empleado para el compostaje proviene del mismo centro de capacitación, como son restos de frutas y verduras y hojas secas o verdes de los cultivos. Se utiliza estiércol fresco y seco de centros cercanos, y se enriquece la mezcla con ceniza de origen vegetal (micronutrientes). Es común añadir melaza como fuente de energía (C) para los microorganismos y suero de leche como inoculante de microorganismos.

La mezcla de estos materiales da una densidad aproximada de 500 kg/m³, por lo que un bidón de 0,2 m³ tiene una capacidad de 100 kg de esta mezcla.

8. Experiencia del proyecto FAO: Implementación de Agricultura Urbana y Periurbana en la Alcaldía Municipal de Ciudad Sandino y el Barrio Los Laureles Sur. GCP/NIC/038/SPA

Tabla 17 Material a compostar en barril

Tipo de Material	kg
Desperdicios de frutas y verduras	40
Hojas verdes	20
Hojas secas	5
Estiercol fresco (bovino)	20
Estiercol seco (bovino)	10
Ceniza	5

Si se adiciona melaza y suero de leche, se echa 1 litro de cada producto al comienzo del proceso.

Los materiales de la tabla se mezclan y se depositan en el barril, y se hacen controles periódicos de temperatura y humedad. El proceso en las condiciones locales y con los materiales de la Tabla 16 dura 8 semanas, después de este tiempo, el material pasa a la fase de maduración y está listo para utilizar.

6.5 Compostera de plástico horizontal en Agricultura Familiar⁹

Localización: Finca de la productora Alcira Arzamendia, en el municipio de Nueva Italia, Asunción, Paraguay. El clima de la zona es subtropical con un invierno seco (julio), la precipitación anual es de 1.400mm y la finca está a una altitud de 42 msnm.

Descripción del proceso: El material empleado para el compostaje proviene de la misma finca de los productores, como restos de frutas y verduras, hojas secas verdes de los cultivos. También se utilizó estiércol vacuno, gallinaza y mezcla de ceniza de origen vegetal (como fuente de micronutrientes).

Figura 53 Preparación del tambor de compostaje con el material de los productores locales



9. Experiencia del proyecto FAO: Implementación de Agricultura Urbana y Periurbana en la Alcaldía Municipal de Ciudad Sandino y el Barrio Los Laureles Sur. GCP/NIC/038/SPA

Los materiales empleados para la construcción de la compostera son 1 tambor de plástico (Figura 54) de 200 litros ($0,2 \text{ m}^3$) con tapa; y 3 varas de 1,50 metros y con un diámetro de $\frac{3}{4}$ de pulgada (2 cm) para ayudar a la mezcla de los materiales.

El material de llenado de la compostera es:

Tabla 18 Material de llenado de compostera

Tipo de Material	%
Pasto cortado, hojas secas, cascara de frutas	70%
Estiércol seco de ganado vacuno	20%
Gallinaza (cama de gallina con cascarilla de arroz)	10%
Urea	0.1%

La mezcla de estos materiales tiene una densidad aproximada de 500 kg/m^3 , por lo que un bidón de $0,2 \text{ m}^3$ tiene una capacidad de 100 kg de esta mezcla.

Se utilizan 10 litros de agua para mantener la humedad óptima de la mezcla. Se hace rodar el tambor diariamente (dos vueltas) para facilitar la homogeneidad de la mezcla, al cabo de 8-10 semanas, el material presenta un color marrón y olor agradable y está listo para su uso.

6.6 Producción de compost a partir de residuos de hortalizas

Localización: Hortícola de Hoy, Funza, Cundinamarca, Colombia. Temperatura media de 15°C. Pluviosidad media 600 mm/año

Descripción del Proceso: la explotación tiene 2 hectáreas de producción intensiva de hortalizas (Figura 54). La producción de hortalizas se realiza tanto bajo invernadero como a campo abierto y el cultivo principal es la lechuga (*Lactuca sativa*). Antes de realizar la siembra, el terreno se prepara eliminando raíces y residuos de hojas o plantas no cosechadas. Posteriormente se alista incorporando materia orgánica (compost) y cascarilla de arroz.

Figura 54 Fertilización de lechuga con compost



Fuente: Gutiérrez & Fernández. 2008

Descripción del proceso: El material de partida para el proceso de compostaje es el residuo de lechuga (Figura 55), y adicionalmente cascarilla de arroz y poda de pastura kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) para formar la pila en proporción 50:40:10 v/v.

El terreno se preparó apisonando el suelo, y colocando una capa de mezcla arena-grava-arcilla en relación 30:20:50 para dar aislamiento a los lixiviados. Debido a que la lechuga es un 85% de agua con bajo contenido de C y de N, es importante compensar la humedad haciendo mezclas con materiales secos pero que aporten no solamente C sino también N.

En este caso particular, se establecieron pilas de base 2m x 3 m², iniciando con una capa de 5 cm de cascarilla de arroz, y haciendo una mezcla del residuo de la cosecha y deshierbe, para luego cubrirlo con corte de pasto. Posteriormente se adicionó nuevamente 3-4 cm cascarilla de arroz y así se continuó el proceso de armado de pila, hasta alcanzar la altura de 1,50 m.

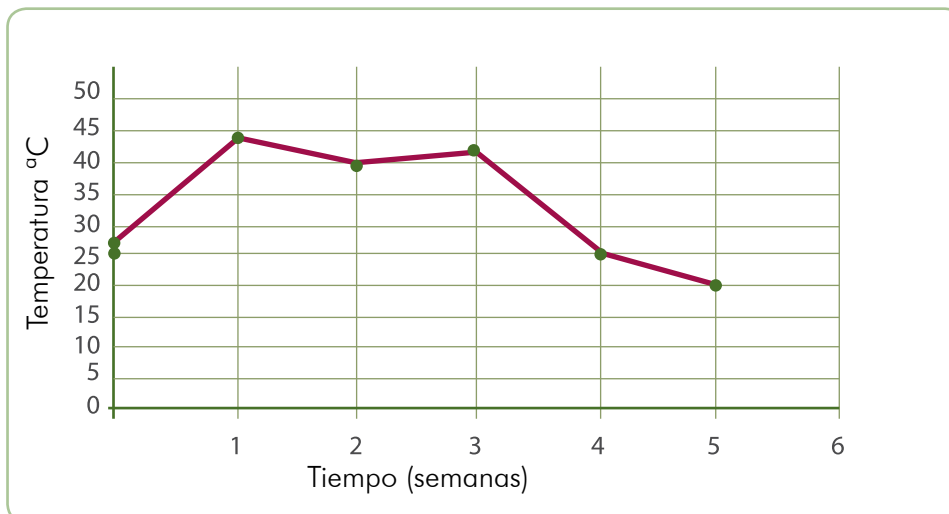
Figura 55 Material fresco a compostar



Fuente: Martínez M. 2008

La fase termofílica se inicia el día 4 del proceso, alcanzando los 44°C en la primera semana, permaneciendo así durante 3 semanas. Se realizan volteos manuales cada 4 días. A partir de la semana 4 la temperatura disminuye hasta ser temperatura ambiente. El proceso de maduración dura hasta la semana 8, en la que se hace volteos semanales únicamente. Las temperaturas registradas en la fase de proceso se observan en la Figura 56.

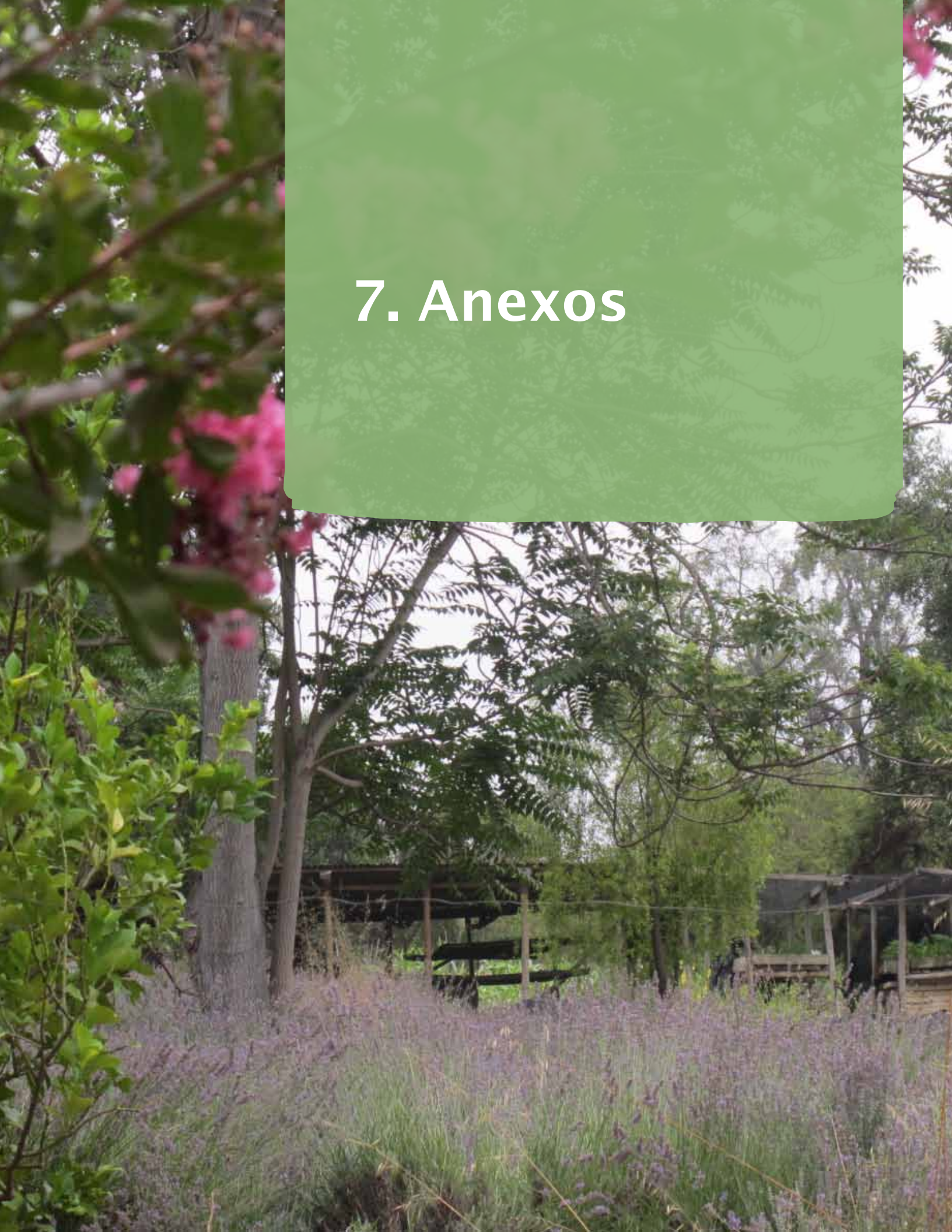
Figura 56 Temperaturas registradas durante el proceso



Fuente: Barrera, Charry y Martínez, 2008

El compost obtenido al cabo de 8 semanas, presenta un aspecto suelto, como de suelo, con olor agradable a tierra húmeda. Se observaron las partículas de cascarilla impregnadas de materia orgánica descompuesta.

7. Anexos



7. Anexos

7.1 Factores de conversión

Distancia

1 metro = 1,09 yardas = 3,28 pies = 39,37 pulgadas

1 yarda = 3 pies = 0,91 metros

1 pie = 12 pulgadas = 0,3 metros

Área

1 hectárea = 10.000 metro cuadrados = 2,47 acres

1 acre = 4,48 yardas cuadradas = 0,4 hectáreas

Peso

1 kilogramo = 1.000 gramos = 2,2 libras

1 tonelada métrica = 2.204 libras

1 libra = 0,45 kilogramos

1 kg/ha = 0,89 libra/acre

1 libra/acre = 1,12 kg/ha

7.2 Análisis en campo de la necesidad de fertilizantes

Si las plantas no logran absorber suficiente cantidad de un nutriente determinado, los síntomas de la carencia aparecen en la plantas en su aspecto visual. Así pues, es posible determinar la necesidad de un cultivo de un determinado nutriente. Los síntomas claros se darán solo en casos de carencia extrema.

Tabla 19 Síntomas de carencia en las plantas

Nutriente	Signo de deficiencia en la planta
Nitrógeno	Plantas de crecimiento retrasado, decoloración amarillenta de las hojas a partir de la punta (clorosis). Las hojas más bajas pueden morir prematuramente mientras la cima de la planta permanece verde.
Potasio	Crecimiento reducido, enanismo. Bordes exteriores de las hojas oscuros (necrosis de los bordes); hojas marchitas. Frutos pequeños. Encamado.
Fósforo	Crecimiento retrasado. Hojas oscuras azuladas y moradas a partir de la punta. Los frutos aparecen deformados y los granos vacíos

7.3 Análisis de la inocuidad del compost

Los análisis microbiológicos constituyen un aspecto importante para determinar la calidad sanitaria del compost. Para ello se utilizan grupos indicadores y patógenos.

Coliformes termotolerantes (denominados también fecales)

Se denominan coliformes termotolerantes a un grupo de bacterias Gram negativas perteneciente a las enterobacterias capaces de fermentar lactosa y producir indol a 44,5°C. De acuerdo a la EPA¹⁰ la presencia de este grupo en un alto número es un posible indicador de la presencia de bacterias patógenas como *Salmonella*, *Shigella* y *E. coli* verotoxigénicas. También su presencia en concentraciones altas en un compost o material orgánico indica que el proceso térmico ha sido insuficiente o deficiente. Es decir, el compost no alcanzó las temperaturas adecuadas o que se alcanzaron pero por periodos de tiempo muy cortos o que se presentó una contaminación posterior con agua durante las etapas de enfriamiento. Se ha establecido que recuentos por debajo de 1.000ufc por gramo de peso seco del compost significa que los patógenos entéricos han sido destruidos.

Bacterias patógenas

En materias primas como los estiércoles pueden encontrarse bacterias patógenas para humanos y animales, siendo de especial interés la presencia de *Salmonella* spp. Este microorganismo es uno de los principales agentes de enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) y puede ser habitante normal del tracto digestivo de animales que incluyen aves (siendo el pollo un importante reservorio), bovinos, porcino entre otros (Carrascal, 2011).

Igualmente es de interés *E. coli* O157:H7, que se ha asociado enfermedades causadas por consumo de frutas y vegetales crudos o sus productos no pasteurizados (Islam 2005). Tiene como reservorios animales como el ganado vacuno, ciervos y ovejas, y puede sobrevivir hasta 70 días en el estiércol, dependiendo de la concentración y la temperatura. Otros patógenos que se han encontrado en compost y que podrían llegar al hombre por el consumo de alimentos contaminados incluyen: *Clostridium perfringens*, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus* y *Cryptosporidium parvum* (Beuchat 2006).

Tabla 20 Límites microbiológicos según diferentes normas

Microorganismo	Limite de Tolerancia				
	Chile NCh 2880/04		EU European Union	Colombia 5167/04	Mexico NTEA-006-SMA- RS-2006.
	A	B			
Coliformes fecales	<1000 NMP/g	<2000 NMP/g	< 1 x 10 ³ NMP/g	<1000 ufc/g enterobacterias totales	<1000 NMP/g
<i>Salmonella spp.</i>	Ausente en 25 g de producto	Ausente en 25 g de producto	Ausente en 25 g de producto	Ausente en 25 g de producto	<3 /g en bs
<i>Enterococcus faecalis</i>	-	-	1000 NMP/g	ND	-
Huevos viables de Helminto / <i>Ascaris</i>	Ausente en 1 g	Hasta 1 en 1g	Ausente en 1 g	ND	<10 /g bs
Hongos fitopatogenos	-	-	Algunos paises incluyen <i>Plasmodiophora brasiccae</i>	Ausente segun especie vegetal	Ausente

NMP= Número mas probable, ufc= unidades formadoras de colonias, bs= base seca

Metales pesados

Los metales pesados constituyen un grupo de elementos químicos que se convierten en no deseados, porque no se descomponen (solo cambian de estado de oxidación). Tienen efectos negativos en la salud humana, y un impacto en la cadena trófica a nivel terrestre y acuático. Aunque se encuentran en la naturaleza, cuando la concentración supera límites definidos, puede haber problemas de acumulación en tejidos vegetales (fruta, raíz) o en órganos vitales (hígado, cerebro, tejido graso) con efectos generalmente a largo plazo (crónicos).

En compost, estos materiales, junto con la presencia de patógenos, son considerados para definir la calidad del material. Los límites varían según los países, aunque se tiene como referente el marco de normativa propuesto por la EPA y por la Unión Europea (EU)

7.4 Vermicompost

Tabla 21 Propiedades químicas del vermicompost

Acidos fúlvicos	14 - 30%
Acidos húmicos	2,8 - 5,8%
Sodio	0,02%
Cobre	0,05%
Hierro	0,02%
Manganesio	0,006%
Relación C/N	10 - 11%

7.5 Beneficios del té de compost

Salud de la planta: El té de compost, al contener nutrientes y microorganismos que se han multiplicado en los tanques de preparación, puede contener agentes biológicos para el control de enfermedades. Estos microorganismos como *Trichoderma*, *Pseudomonas*, o *Pantoea spp.*, están presentes en el compost y son capaces de multiplicarse en el té de compost, y realizar procesos de supresión de enfermedades. Esta supresión está asociada a sustancias que se producen durante el proceso de maduración del compost, y dependen de las características biológicas y fisicoquímicas (Temorshuizen *et al.*, 2006).

Fijación biológica de nitrógeno y biofertilización: Igualmente, como el compost, el té de compost puede contener (normalmente en menor proporción) bacterias asociadas a la fertilización de cultivos. Estas son las fijadoras de nitrógeno (*Azotobacter sp.*, o *Rhizobium sp.*, *Klebsiella sp.*) y a la solubilización de fosfatos (Dubeikovsky *et al.*, 1993)

Mejoramiento del contenido de carbono en suelos: por ser el extracto soluble del compost, el té de compost contiene también carbono soluble en agua. Este carbono afecta positivamente las poblaciones nativas del suelo, al ser fuente de energía para los microorganismos presentes en la zona de las raíces (rizosférica) o de las hojas (filosférica) de la planta. Igualmente este carbono soluble puede ser usado en el suelo por microorganismos para construir microagregados mejorando la estructura y la capacidad de retención de agua (Ha *et al.*, 2008).

Incremento del número de los microorganismos del compost: El té de compost emplea diferentes productos para ayudar a los microorganismos en su multiplicación durante el tiempo de preparación. Estos productos llamados catalizadores, favorecen el paso de los microorganismos desde el compost hasta el agua, y sirven también como fuente de nutrientes. Se usa azúcar, melazas, emulsión de pescado y roca fosfórica como sustratos efectivos en este proceso catalítico (Ingham, 2005, Shrestha *et al.*, 2011).

The background of the slide is a photograph of lush green foliage. A large, prominent leaf in the center has a distinct, wavy, ribbed texture. To its left, a smaller, lighter green leaf is visible. The scene is filled with various shades of green and some brown stems, suggesting a natural, outdoor setting. Overlaid on the right side of the image is a semi-transparent green rectangular box with a slightly irregular, hand-drawn edge. Inside this box, the text '8. Bibliografía' is written in a clean, white, sans-serif font.

8. Bibliografía

8. Referencias Bibliográficas

Angulo, J., Alfonso, A., Martínez, M., García, A. 2011. Estimación de la transferencia de E.coli desde compost a té de compost durante el proceso de elaboración. Congreso Agronómico de Chile. Antofagasta, Chile.

Antonio, G.F., Carlos, C.R., Reiner, R.R., Miguel, A.A., Angela, O.L.M., Cruz, M.J.G., Dendooven, L., 2008. Formulation of a liquid fertiliser for sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) using vermicompost leachate. *Bioresour. Technol.* 99, 6174–6180.

Avery LM, Booth P, Campbell C, Tompkins D, Hough RL. 2012. Prevalence and survival of potential pathogens in source-segregated green waste compost. *Science of The Total Environment*. 2012 8/1/;431(0):128-38.

Bengtsson G., P. Bengtsson y K.F. Mansson; "Gross nitrogen mineralization and nitrification rates as a function of soil C:N ratio and microbial activity". *Soil Biology and Biochemistry* 35 (1), 143-154 (2003).

Bernal MP, Albuquerque JA, Moral R. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresour. Technol.* 2009 11//;100(22):5444-53.

Beuchat L. 2006. Vectors and conditions for preharvest contamination of fruits and vegetables with pathogens capable of causing enteric diseases. *British Food Journal*, 2006;138:38-53.

Bot A, Benites, J. The importance of soil organic matter, key to drought-resistance soil and sustained food production. Rome.: FAO Soils Bulletin 80; 2005.

Cárdenas B., Revah S., Gutierrez V., Hernández S. 2003. Tratamiento biológico de compuestos orgánicos volátiles de fuentes fijas. Instituto Nacional de Ecología, INE-SEMARNAT, México, 2003

Carrascal A K, Castañeda R, Pulido A. 2011. Perfil de riesgo *Salmonella spp* en pollo entero y en piezas. In: Salud INd, editor. Bogotá2011. p. 1-138.

Cheng Y, Chefetz B, Heemest J, Romaine P, Hatcher P. Chemical nature and composition of compost during mushrooms growth. *Compost Science and Utilization*. 2000;8(4):347.

Cornell University. T. Richard, N. Trautmann. "C:N Ratio" http://compost.css.cornell.edu/calc/cn_ratio.html

Dubeikovsky, A.N., Mordukhova, E.A., Kochetkov, V.V., Polikarpova, F.Y., Boronin, A.M., 1993. Growth promotion of blackcurrant softwood cuttings by recombinant strain *Pseudomonas fluorescens* BSP53a synthesizing an increased amount of indole-3-acetic acid. *Soil Biol. Biochem.* 25, 1277–1281.

Dukare A- S., Prasanna R., Dubey S-C., Nain L., Chaudhary V., Singh R., Saxena A-K.

2011. Evaluating novel microbe amended composts as biocontrol agents in tomato. *Crop Protection* 30 (2011) 436-442

Environmental Protection Agency, EPA. 1998. An analysis of composting as an environmental remediation technology. EPA530-R-98-008. USA. P.15.

FAO 2002 "Los fertilizantes y su uso" <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/006/x4781s/x4781s00.pdf>

FAO 2003 "On-farm Composting Methods" FAO, Rome.

FAO 2011 "El Estado de los Recursos de Tierras y Aguas del Mundo para la Alimentación y la Agricultura"

FAO 2012 "FAO-Adapt. Programa marco de la FAO sobre adaptación al Cambio Climático"

FAO, 2000. Inocuidad y calidad de los alimentos en relación con la agricultura orgánica. XXII Conferencia Regional de la FAO para Europa; 2000; Oporto.

FAOTERM – Organic Agriculture <http://termportal.fao.org/faooa/main/start.do>

Ferruzzi C. 1987. Manual de Lombricultura. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 138p.

Gaceta Oficial. Estado de Mexico. NTEA-006-SMA-RS-2006. Que establece los requisitos para la producción de los mejoradores de suelos elaborados a partir de residuos orgánicos. Octubre 9 de 2006.

Golakoti, T., Yoshida, W.Y., Chaganty, S., Moore, R.E., 2000. Isolation and structures of nostopeptolides A1, A2 and A3 from the cyanobacterium *Nostoc* sp. GSV224. *Tetrahedron* 56, 9093-9102.

Gong C-m. Microbial safety control of compost material with cow dung by heat treatment. *Journal of Environmental Sciences*. 2007 //;19(8):1014-9.

HA, K.V., Marschner, P., Bunemann, E.K., 2008. Dynamics of C, N, P and microbial community composition in particulate soil organic matter during residue decomposition. *Plant Soil* 303, 253–264.

Ingram, D. 2009. Assessment of foodborne pathogen survival during production and pre-harvest application of compost and compost tea. Dissertation submitted to the Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, College Park. 200 p.

Islam M, Doyle MP, Phatak SC, Millner P, Jiang X. 2005. Survival of *Escherichia coli* O157:H7 in soil and on carrots and onions grown in fields treated with contaminated manure composts or irrigation water. *Food Microbiology*. 2005 1//;22(1):63-70.

Jacob, A., Uexkull, H. 1961. Fertilización. Nutrición y abonado de los cultivos tropicales y subtropicales. Internationales Handelmaatschappij voor Meststoffen, Amesterdam.

Jones P, Martin M. 2003. A review of the literature on the occurrence and survival of pathogens of animals and humans in green compost. In: Health IfA, editor. Oxon, UK2003. p. 33.

Kenney SJ, Anderson GL, Williams PL, Millner PD, Beuchat LR. 2006 Migration of *Caenorhabditis elegans* to manure and manure compost and potential for transport of *Salmonella* newport to fruits and vegetables. International Journal of Food Microbiology. 2006 1/15/;106(1):61-8.

Kone, S. Dionne, A. Tweddell, R. Antoun, H. Avis, T. 2009. Suppressive effect of non-aerated compost teas on foliar fungal pathogens of tomatoe. Biological Control 52. Pp 167–173.

Lasaridi K, Protopapa I, Kotsou M, Pilidis G, Manios T, Kyriacou A. 2006. Quality assessment of composts in the Greek market: The need for standards and quality assurance. Journal of Environmental Management. 2006 7//;80(1):58-65.

Lazcano C., Gómez-Brandón M., Domínguez J. 2008. Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. Chemosphere 72:1013-1019

Lindquist S, Craig E.A. 1998. The heat shock proteins. Annu Rev Genet. 1998;22:631 – 77.

Lotzof M. 2012. Very Large scale vermiculture in sludge stabilization. Vermitech Pty Limited. Australia.

Martinez M., Gutierrez V., Novo R. 2011. Microbiología aplicada al anejo sustentable de suelos y cultivos. Ed. USM. Universidad Federico Santa Maria, Chile. 235p.

Magdoff F, Weil, R. Soil Organic Matter Management Strategies. In: Magdoff F, Weil, R, editor. Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture. Boca Raton, Fl: CRC Press LLC; 2004. p. 59-84.

Minnich J. The Earthworm Book: How to Raise and Use Earthworms in Your Farm and Garden. Rodale Press, Emmaus. PA.

Novo R. La Vida Microbiana en el suelo. La Habana, Cuba: Escuela Superior de Ciencias Agrarias; 1983.

Okur, N., 2002. Response of soil biological and biochemical activity to salination. The Journal of Agricultural Faculty of Ege University 39, 87–93.

Oliveira M, Usall J, Viñas I, Solsona C, Abadias M. 2011. Transfer of *Listeria innocua* from contaminated compost and irrigation water to lettuce leaves. Food Microbiology. 2011 5//;28(3):590-6.

Ortega R., 2011. Manejo Integrado de la nutrición en cultivos, importancia de la materia orgánica. Proceedings: II International Symposium, Organic Matter and Climate Change. Universidad Federico Santa María. Santiago, Chile.

Pavlou GC, Ehaliotis CD, Kavvadias VA. Effect of organic and inorganic fertilizers applied during successive crop seasons on growth and nitrate accumulation in lettuce. *Scientia Horticulturae*. 2007 2/16/;111(4):319-25.

Pennsylvania State University, 1994. Agricultural Alternatives: Earthworm Production. College of Agricultural Sciences, Cooperative Extension. PennState. 1-4.

PNUD-INIFAT 2002, "Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana"

Porta J, López, M., Roquero de la Laburu, C. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. *Mundiprensa*. 1194:125.

Prasanna, R., Lata, Tripathi, R., Gupta, V., Middha, S., Joshi, M., Ancha, R., Kaushik, B.D., 2008. Evaluation of fungicidal activity of extracellular filtrate of cyanobacteria-possible role of hydrolytic enzymes. *J. Basic Microbiol.* 48, 186-191.

Reineke S. & Reineke A. 2007. The impact of organophosphate pesticides in orchards on earthworms in the Western Cape, South Africa. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 66(2): 244-251.

Rodríguez R. Casos de éxito en la biorremediación de sitios contaminados. En *Alternativas Tecnológicas para el Tratamiento del Suelo*. CIDITEC- CONACYT, México. P.34-47

Rosal, P. Perez, M. Arcos, M. Dios. "La Incidencia de Metales Pesados en Compost de Residuos Sólidos Urbanos y en su uso Agronómico en España" *Información Tecnológica* – Vol. 18 N° 6, 75–82 (2007)

Sauri M. y Castillo E. 2002 Utilización de la composta en procesos para la remoción de contaminantes. *Ingeniería* 6-3: 55-60

Scheuerell, S. 2004. Compost tea production practices, microbial properties, and plant disease suppression. *International Conference SOIL AND COMPOST ECO-BIOLOGY*. Pp 41-51.

Schuldt M. 2006. Peso o número de ejemplares, siembras de baja densidad y manejo. Argentina. www.manualdelombricultura.com

Schuldt M., Chistiansen R., Scatturice L.A., Mayo J.P. 2007. Lombricultura. Desarrollo y adaptación a diferentes condiciones de temperie. *RedVet VIII(8)*:1-10.

Schuldt M., Guarrera L., Freyre L. 1987. Expansion de una población de *Eisenia foetida* en el ámbito bonaerense. Una experiencia piloto. *Rev. Asoc. Arg. Prod. Animal*. 17(1):49-56.

Semple K., Reid B., and Fermor T. 2001. Impact of composting strategies on the treatment of soil contaminated with organic pollutants. *Environmental Pollution*. Elsevier. 112:269-283

Shrestha K., Shrestha P., Walsh K.B, Harrower K.M, Midmore D.J. 2011. Microbial enhancement of compost extracts based on cattle rumen content. *compost – Characterization of a system*. *Bioresource Technology*. 102:8027–8034.

Sommer S., Dahl P., Rom H. Muller H. Emission of ammonia, nitrous dioxide, methane and carbón dioxide during composting of deep liter. *Proceedings RAMIRAM Conference* <http://www.ramiran.net/doc98/FIN-ORAL/SOMMER.pdf>

Sori S, Mahieu, N., Arah, J., Powlson, D., Madari, B., Gaunt, J. A Procedure for Isolating Soil Organic Matter Fractions Suitable for Modeling. *Soil Science Society of American Journal*. 2001;65:1121-8.

World Bank. *Agricultural Production Statistics*. <http://data.worldbank.org/data-catalog/commodity-price-data>, <http://data.worldbank.org/topic/agriculture-and-rural-development>

Anotaciones

A large, rounded rectangular box with a thin green border, containing 25 horizontal lines for writing notes. The lines are evenly spaced and extend across the width of the box. The box is positioned centrally on the page, below the title 'Anotaciones'.

A large, vertically oriented rounded rectangle with a thin green border. Inside the rectangle, there are 25 horizontal green lines spaced evenly, providing a template for writing. The lines are contained within the rounded corners of the box.





ISBN 978-92-5-307844-8



9 789253 078448

I3388S/1/07.13