

## Procedimiento para la producción de compost, a partir de residuos sólidos urbanos en Las Tunas

### Procedure for the production of compost from municipal solid waste in Las Tunas

Silverio Mantecón Licea <sup>1</sup> ([silverioml@ult.edu.cu](mailto:silverioml@ult.edu.cu)) (<https://orcid.org/0000-0003-1044-4652>)

Yuriannis Batista López <sup>2</sup> ([yuriannisbl@ult.edu.cu](mailto:yuriannisbl@ult.edu.cu)) (<https://orcid.org/0000-0001-7087-7906>)

Raxnar Monteagudo Nieves<sup>3</sup> ([raxnarmn@ult.edu.cu](mailto:raxnarmn@ult.edu.cu)) (<https://orcid.org/0000-0002-2697-0115>)

### Resumen

La gestión de los residuos sólidos ocupa un lugar primordial dentro de la gestión ambiental. Una alternativa eficaz para el manejo de los residuos sólidos urbanos es la producción de compost, lo que permite producir abono orgánico a partir de desperdicios urbanos, cuyo objetivo primordial es gestionar los residuos urbanos de una forma que sea compatible con el medio ambiente y la salud de la población. En este artículo se realiza una propuesta para el tratamiento de desechos urbanos en el relleno sanitario manual industrial, de la ciudad de Las Tunas, a partir de trincheras, considerando todas las etapas del proceso. La alternativa se fundamenta en la recogida selectiva de desechos que permitan el aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos mediante su clasificación, además, plantea aprovechar (materiales fermentables de rápida y lenta descomposición) mediante tratamiento biológico (digestión aerobia); reciclar la fracción recuperable y disminuir considerablemente la disposición directa en el relleno.

**Palabras claves:** residuos sólidos urbanos, compost, relleno sanitario, unidad de gestión ambiental.

### Abstract

Solid waste management occupies a fundamental place in environmental management. An effective alternative for the management of urban solid waste is the production of compost, which allows the production of organic fertilizer from urban waste, whose primary objective is to manage urban waste in a way that is compatible with the environment and the health of the population. In this article, a proposal is made for the treatment of urban waste in the industrial manual landfill of the city of Las Tunas, from trenches, considering all the stages of the process. The alternative is based on the selective collection of waste that allows the utilization of urban solid waste through its

<sup>1</sup> Doctor en Ciencias Pedagógicas. Licenciado en Educación, Especialidad Geografía. Profesor Titular. Departamento Geografía de la Universidad de Las Tunas, Cuba.

<sup>2</sup> Máster en Ciencias de la Educación. Licenciado en Educación, Especialidad Geografía. Instructor. Departamento Geografía de la Universidad de Las Tunas, Cuba.

<sup>3</sup> Licenciado en Educación, Especialidad Geografía. Instructor. Departamento Geografía de la Universidad de Las Tunas, Cuba.

classification, in addition, it proposes to take advantage (fermentable materials of fast and slow decomposition) through biological treatment (aerobic digestion); recycle the recoverable fraction and considerably reduce the direct disposal in the landfill.

**Key words:** municipal solid waste, compost, sanitary landfill, environmental management unit.

### **Necesidad de gestionar residuos para la producción de compost**

El objetivo del presente artículo es ofrecer a aquellas personas que tienen la responsabilidad de la gestión de los residuos, una herramienta práctica para transformar en forma equilibrada, ecológica y ambientalmente sostenible una parte importante de los desechos sólidos urbanos.

Según lo expuesto por Ojeda y Quintero (2008), el crecimiento poblacional, el desarrollo industrial, la urbanización y otros procesos y efectos del desarrollo experimentado por las ciudades en todo el mundo, registra incrementos cuantiosos en la cantidad y variedad de los residuos sólidos urbanos, como resultado de las actividades desarrolladas por el hombre. Ello se convierte por sus características, en un problema para las localidades poblacionales. En la bibliografía consultada se confirma que los residuos orgánicos ocupan en el mundo un lugar prioritario desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo, constituyen entre el 30 y el 65 % de los residuos domiciliarios (Sáez y Urdaneta, 2014).

La gestión de la limpieza pública en Las Tunas es similar a la de otras ciudades del país. La población de dicha provincia es pequeña y el espacio holgado, por lo que los residuos se arrojan en cualquier lugar. Conforme al incremento de la población, la acumulación indiscriminada de residuos se traduce como un problema de salud pública y no ambiental.

Con el triunfo de la Revolución se prioriza el barrido y la recolección, como también la administración de estos desechos sólidos urbanos, pero se utilizan vertederos abiertos en la periferia de la ciudad que rebajan la calidad del servicio de limpieza pública.

Los problemas ocasionados por un inadecuado manejo de estos residuos están afectando, tanto a las grandes ciudades y sus zonas marginales, como a las poblaciones y localidades rurales. La cantidad de basura generada es función directa del tamaño, tasa de crecimiento y nivel de ingreso de la población, de los patrones de consumo, del tipo y cantidad de los recursos económicos y tecnológicos con que se cuenta para manejarla, reciclarla, tratarla y aprovecharla.

Es por esta razón que en el futuro se aspira continuar mejorando, especialmente la de disposición final en las ciudades, pero paralelamente se deberán capacitar más especialistas en la elaboración de planes nacionales y provinciales, ya sean estatales o provinciales y sobre todo en la ejecución de estos. Con un fuerte ingrediente de asesoría desde la Universidad de Las Tunas a criterio de sus especialistas para los encargados municipales de los servicios.

El resultado de estos fenómenos favorece la proliferación de vectores como (insectos, roedores), el agua infiltrada en la masa de residuos arrastra componentes orgánicos no estabilizados y otras sustancias. Algunos compuestos orgánicos volátiles presentes son altamente tóxicos, estas sustancias arrastradas por el lixiviado, pueden contaminar los terrenos circundantes y las aguas superficiales y subterráneas. También se puede significar que el calor puede provocar incendios por combustión espontánea del residuo.

El manejo inadecuado de los residuos sólidos urbanos en Las Tunas es un desafío para la sociedad, lo cual atenta contra la calidad de vida de las personas y el espacio geográfico donde habitan, de ahí que resulta impostergable su tratamiento ambiental y socialmente sostenible. Dar una respuesta a los residuos sólidos urbanos en Las Tunas, significa reducir sustancialmente el volumen de lo que consideramos basura, la fracción orgánica de estos será materia prima de los procesos de compostaje.

El compost es un material al que se llega por biotecnologías de bajo costo, que nos permite mantener la materia orgánica dentro del ciclo natural, como sería el caso de los rellenos sanitarios (Noguera y Olivero, 2015). Es un mejorador de suelos, sumamente útil en el combate a la erosión, en la mejora de los cultivos en cuanto a cantidad y calidad de estos según Hernández, Benítez y Bermúdez (2018). Su producción trae beneficios directos e indirectos en la producción, la mano de obra que ocupa su procesamiento, las posibilidades de obtener producciones ambientalmente sanas, la disminución de materia a eliminar y su valor como elemento formativo ambiental.

En el proceso de compostaje, los responsables o agentes de la transformación son los seres vivos, por lo que todos aquellos factores que puedan limitar su vida y desarrollo, limitarán también el propio proceso (Martínez, 2003).

En las políticas de gestión de los residuos sólidos urbanos, la educación ambiental juega un papel significativo en su manejo, por parte de quien lo genera, por lo que la sensibilización, la educación, la capacitación y la creación de estrategias de intervención deben estar dirigidas a los responsables con la generación de espacios de gestión (Ortega, 2011; Barrera, 2013).

Una de las formas básicas más habituales de disposición final de residuos hoy en nuestra provincia es el de los rellenos sanitarios, el cual presenta menores problemas ambientales y permite la recuperación de energía mediante el aprovechamiento de la descomposición de los residuos. Ello se basa en retirar materias del sistema, lo cual es sorprendente al tener en cuenta cualquier ecobalance y considerar lo limitado de los recursos disponibles.

De ahí que, en este estudio de caso se propone una alternativa para el tratamiento de los residuales sólidos urbanos que llegan al relleno sanitario manual en la zona industrial de la ciudad de Las Tunas, basada en la clasificación de las fracciones residuos orgánicos que forman parte de la basura. Ello permite volver a incorporarlos a su ciclo natural a través del producto final de este proceso: el compost, que puede ser

utilizado como nutriente y estabilizante del suelo, ya que ayuda a remediar la carencia de materia orgánica de estos y contribuye físicamente a su fijación.

### **Procedimiento para la producción de compostaje**

Para lograr la articulación del procedimiento se empleó la combinación de varios métodos de investigación, tales como el cartográfico, el trabajo de campo y las entrevistas a gestores claves. De lo que se trata en esta investigación es de proponer una alternativa para la producción de compost basadas en las condiciones socioambientales de la ciudad de Las Tunas.

Se propone entender en términos generales el compost como la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes. La producción de compost constituye una alternativa para el tratamiento de residuales sólidos urbanos, a partir de fracciones orgánicas de desperdicios y puede ser conseguida siguiendo métodos diversos, en este caso proponemos el empleo de trincheras.

### **Diagnóstico**

Se realizó un diagnóstico para la elección del área, la cual se localiza en la porción central de la unidad de paisaje Llanura Interior Centro-sur Este, como se muestra en el mapa. Presenta un relieve llano, formada por procesos predominantemente abrasivo-erosivos y abrasivo-denudativos, con un marcado intemperismo de origen predominantemente pluvial y fluvial, con influencia eólica y antrópica. Además, su litología está constituida por la formación San Nicolás, del Eoceno Medio (P22), con areniscas, limonitas. Formada por suelos fersialítico pardo rojizo típico: saturado, profundo, humificado (4 a 6 %).

Esta unidad se encuentra entre las más antropizadas de toda la provincia, dado al crecimiento poblacional. En ella predominan matorrales de marabú (*Dichrostachys cinerea*).



Gráfico 1. Diagnóstico de la unidad de gestión ambiental de Las Tunas.

También se evaluaron las condiciones climáticas, ya que el área posee condiciones físico geográficas que le permiten la protección de fuertes vientos, lo que contribuye a evitar contaminaciones, la distancia al área de producción de residuos es adecuada se realiza por tracción animal y el terreno que se escogió es de poca pendiente (< 4%). Todo ello contribuye a evitar los problemas de lixiviados y la erosión.

### Preprocesamiento de los residuos

La composición de los residuos sólidos urbanos es muy variada debido fundamentalmente a los diferentes factores relacionados con la actividad humana (Hernández, Benítez y Bermúdez, 2018). En sentido general, la composición de los residuos sólidos urbanos puede estar determinada por los siguientes factores, según señala el Centro de Estudios Garrigues (2003):

- Las características de la población que los genera: por ejemplo, difieren grandemente según las particularidades poblacionales de las distintas áreas en las que se generan, como la urbana.
- La época del año en que se generan: la influencia de las variaciones del clima en la agricultura, los cambios de actividad en períodos vacacionales, entre otros, inciden en la composición de los residuos.
- Estar determinada por el nivel cultural y económico de la población que los genera: relacionado con las características de los productos del primer grupo. Las características de los productos dependen de los hábitos de consumo y generación de residuos de los habitantes de las determinadas zonas.

Esencialmente, el proceso del compost se inicia a través de un preprocesamiento de los residuos, la clasificación, consistente en la recepción, retiro del material inorgánico/no degradable que puede estar mezclado, con el objeto de obtener un producto de buena calidad, reducción de tamaño y ajuste de las propiedades del residuo orgánico remanente.

A pesar de que la gran mayoría de los materiales orgánicos son compostables, se recomienda la relación de los materiales siguientes:

- Restos de plantas de jardín, ramas trituradas o troceadas procedentes de podas, hojas caídas de árboles y arbustos.
- Hierva de césped o pasto (preferiblemente en capas finas y previamente desecadas).
- Restos orgánicos de cocina en general (frutas y hortalizas).
- Cáscaras de huevo (preferible trituradas).
- Restos de café, de té e infusiones.
- Cáscaras de frutos secos.
- Cáscaras de naranja, cítricos o piña (pocos y troceadas).
- Virutas de aserrín (en capas finas).
- Servilletas, pañuelos de papel, papel y cartón (no impresos ni coloreados, ni mezclados con plástico).

#### *Tamaño de partícula*

Posteriormente se efectuó la picada del material y su amontonamiento. El material a compostar se pica de forma manual. Se toma normalmente como unidad de tiempo la semana para amontonar material en una misma trinchera, antes que empiece la fase termofílica, y así evitar la recontaminación del material con material fresco.

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 trinchera o la retención de humedad, están estrechamente relacionados con el tamaño de la partícula, siendo la densidad aproximadamente 150-250 kg/m<sup>3</sup>, conforme avanza el proceso de compostaje, el tamaño disminuye y, por tanto, la densidad aumenta, 600-700 kg/m<sup>3</sup>.

#### *Tamaño de la trinchera o volumen en compostaje*

En el momento de estimar las dimensiones de la trinchera de compostaje, se debe tener en cuenta que, durante el proceso de compostaje, el material depositado en la

trinchera disminuye hasta un 50% en volumen debido en parte a la compactación y en parte a la pérdida de carbono en forma de CO<sub>2</sub>. Se recomienda que el ancho sea de 1,5 0 2,0 m y la una profundidad de 1 a 1.5 m.

### *Descripción del proceso por fases*

Las fases del compostaje se dividen según la temperatura, en:

Una primera 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 carbono (C) y nitrógeno (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).

La segunda fase termófila, 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. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y lugar, y otros factores. En esta fase, el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. Igualmente, eliminan los quistes y huevos de helminto.

La tercera fase de enfriamiento o mesófila II, cuando son agotadas las fuentes de carbono y en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45 °C, en esta continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista, 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.

La cuarta 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 de carbono para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.

### *Monitoreo durante el proceso de formación del compost*

Para que se cumpla con éxito el proceso de formación del compost, es de vital importancia el monitoreo, ya que, al ser un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos, se deben tener en cuenta los parámetros que interactúan y pueden afectar su crecimiento y reproducción. Es así que se hace necesario el control del oxígeno, la humedad de sustrato, la temperatura, el pH y la relación C:N.

El oxígeno en 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 ( $\text{CO}_2$ ) a la atmosfera. Asimismo, 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.

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.

Par ayudar a la aireación se recomienda que se empleen las modalidades de aireación pasiva como el "Colchón de aire", el cual se forma con ramas gruesas, y se coloca como una primera capa en la trinchera que no excederá los (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.

También se sugiere la modalidad de chimenea donde es común la colocación de un madero de al menos 20 cm de diámetro y 1,5 m de altura. Cuando la trinchera ya se ha formado, este palo se retira y el espacio abierto por el madero actúa como chimenea, lo que mejora la circulación del aire en la trinchera.

El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) como en todo proceso 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 (sustrato o alimentos) en combustible. Durante el compostaje, el  $\text{CO}_2$  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

Otro aspecto importante aquí es la mezcla de material para alcanzar una relación C:N adecuada. 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. El rango ideal de la relación C:N para comenzar el compostaje es de 25:1 a 35:1.

Son importantes los controles de temperatura si no se dispone de un termómetro, se recomienda el uso de una barra de metal o de madera, la que introduce en distintos puntos de la trinchera y manualmente se comprueba un aproximado de la temperatura.

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 amoniaco, 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.

Para la 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.

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

Un aspecto importante es la comprobación para determinar si ha finalizado el compost (en fase de maduración), el material, aun húmedo no aumenta de temperatura nuevamente a pesar de que se realice el volteo.

Una vez que se ha comprobado que el compost está maduro, se realiza un cernido o 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.

Es preciso señalar que 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 siempre dentro de un rango óptimo.

### **Herramientas recomendadas a emplear**

Es importante contar con un grupo de herramientas para su uso en el proceso de elaboración del compost entre las que recomiendan:

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

- Termómetro para la medición de temperaturas del material en compostaje, 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 aún no se han descompuesto.
- Papel de pH (opcional): para el control de la acidez durante el proceso.

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

### Consideraciones finales

El sistema actual de manejo de residuos sólidos urbanos de la ciudad de Las Tunas no satisface las necesidades ambientales y sanitarias de la población, solo se limita a la recogida y disposición de los residuos en los vertederos urbanos, al igual que en el relleno sanitario manual de la zona industrial de la ciudad.

En el proceso de caracterización de los residuales que se vierten en él, se evidenció la existencia de volúmenes de residuos orgánicos, superior al 50 %, que es favorable para la producción de compostaje.

A partir de estos volúmenes de desechos, se propone un procedimiento basado en trinchera, para la obtención de compost como parte del manejo integral de los desechos sólidos urbanos, en este sector de la ciudad. Dicho producto final es un fertilizante para su uso en la agricultura y jardinería, además, se puede emplear como acondicionador de terrenos.

### Referencias

- Barrera, S. (2013). El análisis del paisaje como herramienta y puente teórico-metodológico para la gestión socio-ambiental del territorio. *Estudios Geográficos*, (9), 15-34.
- Centro de Estudios Garrigues (2003). *Manual para la gestión de los residuos urbanos*. Madrid: El Consultor.
- Hernández, L., Benítez, M. y Bermúdez, J. M. (2018). Caracterización físico-química de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos del vertedero controlado en el Centro Urbano Abel Santamaría de Santiago de Cuba. *RTQ*, 38(2), 1-10.
- Martínez, E. (2003). *Prefactibilidad de una planta de compost de 100 t/día en ciudad de La Habana*. La Habana: Citma.
- Noguera, K. y Olivero, J. T. (2015). Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: caso colombiano. *Revista Acad. Colomb. Ciencia*, 34(132), 347-356.
- Ojeda, L. y Quintero, W. (2008). *Generación de residuos sólidos domiciliarios por periodo estacional: el caso de una ciudad mexicana*. Trabajo presentado en el Simposio Iberoamericano de Ingeniería de residuos. Castellón.

- Ortega, R. (2011). *Manejo Integrado de la nutrición en cultivos, importancia de la materia orgánica*. Trabajo presentado en Proceedings: II International Symposium, Organic Matter and Climate Change. Universidad Federico Santa Maria. Santiago, Chile.
- Sáez, A. y Urdaneta, J. A. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*, 20(3), 121 – 135.