

Guía de Compostaje Municipal



Guía de Compostaje Municipal



Con el apoyo de la Coalición de Clima y Aire Limpio (CCAC) y sustentado por el Programa de Mejora de la Acción Climática (CAEP) de la Asociación NDC

2021

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales

Departamento de Mitigación al Cambio Climático

7 Avenida 03-67 Zona 13, Edificio MARN.

Ciudad de Guatemala.

PBX (502) 24230500

www.marn.gob.gt

Con el apoyo de:



Coalición de Clima y Aire Limpio (CCAC), Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente

ONU-Ambiente en el marco del Paquete de Mejora de la Acción Climática (CAEP) de la Asociación NDC

Desarrollo de la Guía: CEGESTI, 2021



Diseño e impresión:

Serviprensa S. A.

Autoridades

Dr. Alejandro Eduardo Giammattei Falla
Presidente de la República

Lic. Mario Roberto Rojas Espino
Ministro de Ambiente y Recursos Naturales

Lic. Angel Ernesto Lavarreda Mazariegos
Viceministro de Ambiente

Ing. Fredy Antonio Chiroy Barreno
Viceministro de Recursos Naturales y Cambio Climático

Ing. Nery Marín Méndez y Méndez
Viceministro del Agua Msc.

Lic. Jorge Andrés Méndez Castañeda
Viceministro Administrativo Financiero



Contenido

1. Prólogo	7
2. Introducción	8
3. Objetivo y descripción de la Guía de Compostaje Municipal	10
4. La gestión integral de residuos y desechos sólidos	11
— La importancia de la gestión integral de residuos y desechos sólidos	11
— El contexto legal	12
5. Pasos para implementar el compostaje municipal	14
— PASO 1	
— CONOZCA	14
● Residuos orgánicos	14
● Materiales compostables	14
● El compostaje	15
● Fases del compostaje	15
● Parámetros de control	17
● Características del compost	23
● Aplicaciones del compost	24
● Sistemas de compostaje	25
● Beneficios	28

PASO 2		
ANALICE		30
● El Compostaje Municipal		30
● El Compostaje Comunitario		32
● El Compostaje Doméstico		34
PASO 3		
IMPLEMENTE		36
● Puesta en marcha		36
● Comunique		37
PASO 4		
MEJORE		38
6. Caso de éxito: Compostaje en la Municipalidad de Guatemala		39
7. Fuentes consultadas		45

1. Prólogo

El compostaje es el proceso de descomposición de los residuos orgánicos, de manera biológica o por procedimientos químicos en condiciones controladas, para convertirse en un producto final llamado compost, que se utiliza para mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo, sin afectar negativamente al medio ambiente.

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, con el objetivo de brindar asistencia técnica a uno de los principales actores que intervienen en la gestión integral de los residuos y desechos sólidos en Guatemala, llevó a cabo durante el presente año, un programa de capacitación para la formulación de planes de gestión integral de residuos y desechos sólidos comunes, dirigido a las 340 municipalidades del país.

Como producto de uno de los componentes de este programa, se formuló y elaboró la presente guía de compostaje, como una herramienta técnica que sirva de apoyo para mejorar la gestión integral de los residuos y desechos sólidos a nivel municipal; cuya finalidad es dar a conocer el proceso que lleva el tratamiento de la materia orgánica para convertirla en compost, que podrá utilizarse en el mejoramiento de la fertilidad de los suelos, el cual, dentro del proceso de generación y composición de los residuos y desechos sólidos, resulta ser el más representativo.

Esta actividad fue realizada por la Dirección de Cambio Climático en coordinación con la Dirección para el Manejo de los Residuos y Desechos Sólidos, contando para ello, con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente -PNUMA- a través del Paquete de Mejora de la Acción Climática -CAEP, por sus siglas en inglés-. La ejecución de las capacitaciones estuvo a cargo de la Coalición Clima y Aire Limpio -CCAC, por sus siglas en inglés-, a través de la Fundación "Centro de Gestión Tecnológica e Informática Industrial -CEGESTI-", de Costa Rica.

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales agradece a las instituciones que hicieron posible la publicación de la presente Guía, esperando que la misma sirva como una herramienta técnica para realizar una mejor gestión de los residuos y desechos sólidos en el país.

Guatemala, octubre de 2021

Ing. Fredy Antonio Chiroy Barreno
Viceministro de Recursos Naturales y Cambio Climático
Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales

2. Introducción

Guatemala es la economía más grande de Centroamérica con una población de más de 17 millones de personas y un PIB per cápita de US\$4.620. Guatemala ha crecido de manera sostenida desde el año 2015 (Banco Mundial, 2021) lo cual ha implicado un mayor uso de recursos y servicios y un aumento en la generación de residuos y desechos sólidos. Actualmente, se estima que la generación per cápita de residuos y desechos sólidos comunes es de 0.519 kilogramos por habitante al día, cuya composición es en su mayoría materia orgánica representada por un 53% del total, seguido por 9% plásticos (rígido y PET); 6% papel y cartón; 2% vidrio y 1% latas (BID, 2014).

Asociado al crecimiento de la generación de residuos, se suman problemas relacionados a las condiciones de la recolección y la disposición final. En Guatemala el 66% de los residuos y desechos de los hogares no son recolectados por un servicio, sino que son quemados o tirados en cualquier lugar, y no se garantiza que con el otro porcentaje de los residuos se haga una disposición final adecuada. Es un hecho que la mayor parte de los residuos y desechos sólidos generados son dispuestos en sitios no autorizados o vertederos, lo cual tiene efectos muy negativos en el medio ambiente, tales como las emisiones de metano, el cual es un potente gas de efecto invernadero, cuyo aporte al calentamiento global resulta muy poderoso (MARN, 2016). A nivel global, se calcula que los residuos municipales son la tercera fuente de emisiones antropogénicas de metano debido a la disposición de los residuos orgánicos en vertederos (UNEP-CCAC, 2021).

Esta problemática se debe atender dirigiendo esfuerzos para fomentar la sensibilización y una cultura de separación desde el origen, evitando que los residuos pierdan su potencial de aprovechamiento al ser mezclados y contaminados con los demás. La gestión integral debe enfocarse primordialmente en acciones de reducción, reutilización y reciclaje, y para esto se debe contar con una fuerte sensibilización y cultura de separación, de esta forma, la cantidad de residuos y desechos que deban ser llevados a un sitio de disposición final es mínima.

La importancia de enfocar acciones en la separación se respalda a través del Artículo 12 del Reglamento para la Gestión Integral de los Residuos y Desechos Sólidos Comunes (Acuerdo Gubernativo Número 164-2021), el cual menciona que todas aquellas personas, individuales o jurídicas, públicas o privadas, nacionales o extranjeras que, como resultado de sus actividades produzcan residuos o desechos sólidos comunes, deberán separarlos al momento de su generación, como mínimo, según la clasificación primaria en orgánicos e inorgánicos y respetando la tipificación iconográfica establecida en el país.

Ahora, enfocándonos en el residuo orgánico, que es el de mayor generación a nivel país, es importante analizar qué acciones implementar para su adecuada gestión. Los residuos orgánicos se descomponen naturalmente, y presentan la característica de poder desintegrarse o degradarse rápidamente. Ante este panorama, el compostaje, se presenta como una adecuada alternativa para disminuir la cantidad de residuos que requieren tratamiento final, minimizar la producción de metano y brindar valor económico al residuo orgánico.

La cantidad de residuos orgánicos generados en los distintos departamentos de Guatemala varía de acuerdo con sus características propias, lo cual brinda oportunidades y desafíos diferentes a los gobiernos locales, responsables de ejercer la gestión integral de los residuos y desechos sólidos. Adicionalmente, se recomienda que el compostaje sea considerado como una de las actividades del Plan Municipal para la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos (PIRDES) con la finalidad de lograr una perspectiva integral de las acciones que realizan los gobiernos locales en la materia.

Comprendiendo la importancia del compostaje, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales solicitó a la Coalición Clima y Aire Limpio (PNUMA-CCAC) la elaboración de una guía para fomentar esta práctica a nivel municipal. El apoyo de PNUMA-CCAC se brinda en el marco del plan de trabajo de las actividades del Paquete de Mejora a la Acción Climática (CAEP, por sus siglas en inglés) en Guatemala para actualizar su contribución nacional determinada.

La Guía de Compostaje Municipal fue desarrollada por CEGESTI, organización especializada en temas de desarrollo sostenible y gestión integral de residuos sólidos y miembro de PNUMA-CCAC.

3. Objetivo y descripción de la Guía de Compostaje Municipal

La guía tiene como objeto motivar y facilitar a los municipios de Guatemala la implementación de iniciativas de compostaje en sus comunidades y está dirigida, en particular, al personal municipal responsable de la gestión de los residuos y desechos sólidos.

La guía se divide en tres grandes apartados. El primero aborda la gestión integral de los residuos y desechos sólidos, su importancia y el marco legal aplicable. El segundo, expone los cuatro pasos a seguir para implementar iniciativas de compostaje municipal.

El **PASO 1 Conozca**, invita a las municipalidades a familiarizarse con el compostaje, sus fases y sistemas de producción y los beneficios que genera.

El **PASO 2 Analice**, guía a las municipalidades a analizar tres alternativas de compostaje que se podrían implementar en su comunidad: el compostaje centralizado, el compostaje comunitario y el compostaje doméstico.

El **PASO 3 Implemente**, se refiere a las acciones a desarrollar para poner en marcha la alternativa de compostaje y las acciones de comunicación que deberían acompañar el proceso.

El **PASO 4 Mejore**, impulsa a las municipalidades a evaluar la alternativa de compostaje implementada para así identificar oportunidades de mejora en la gestión del proyecto.

Finalmente, el tercer apartado expone la experiencia de la Municipalidad de Guatemala en la implementación de un proyecto de compostaje.

4. La gestión integral de residuos y desechos sólidos

La importancia de la gestión integral de residuos y desechos sólidos

La Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos (GIRDES) es el conjunto de acciones dirigidas al manejo sostenible de los residuos y desechos, desde la fase de su generación hasta la disposición final. La GIRDES motiva la búsqueda de soluciones que tomen en cuenta no solo aspectos técnicos, ambientales y financieros, sino también sociales, institucionales y jurídicos. La visión de la GIRDES promueve, además, la recuperación del valor económico de los residuos sólidos.

De acuerdo a la jerarquización de la GIRDES, las fases de acción prioritaria son las conocidas como las tres erres de la ecología (reducir, reusar y reciclar), las cuales pretenden desarrollar hábitos generales como el consumo responsable (MARN, 2016). Estas son:

- Reducir, busca causar el menor daño posible al entorno.
- Reusar, es el retorno de un bien o producto a la corriente económica con el fin de ser utilizado de la misma forma que antes.
- Reciclar, se refiere a cuando los materiales se separan, recogen, clasifican y almacenan a fin de reincorporarlos al ciclo productivo como materia prima.

En caso de que el residuo y desecho generado deba proseguir a las siguientes fases de la jerarquización, se debe enfocar en el tratamiento como fase prioritaria antes de la disposición final. Entre las opciones de tratamiento de residuos podemos mencionar el compostaje, para el caso de los residuos orgánicos. Además, es importante que al considerar algún tipo de tratamiento se consulte y se cumpla con lo indicado en la Sección V del Reglamento para la Gestión Integral de los Residuos y Desechos Sólidos Comunes (Acuerdo Gubernativo Número 164-2021), la cual menciona que las tecnologías a emplearse deberán seleccionarse en función de la naturaleza de los desechos a ser dispuestos y los objetivos de gestión establecidos. Adicionalmente, debe tomarse la documentación técnica disponible como el caso de los *Términos de Referencia para el Compostaje de Residuos Orgánicos (sin fines energéticos). Plan de Gestión Ambiental*.

Adicionalmente, en la GIRDES se deben considerar aspectos complementarios como lo relacionado a la recolección y el transporte. El Acuerdo Gubernativo Número 164-2021 especifica las normas que deben cumplir los vehículos destinados a la recolección y transporte como son la dedicación exclusiva a dicha actividad, carrocería de materiales sólidos, vehículos debidamente identificados y con la capacidad volumétrica necesaria. También se debe garantizar el transporte físicamente separado de acuerdo a las categorías de segregación establecidas.

Como herramienta transversal en el proceso, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala ha dispuesto la formulación de Planes Municipales para la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos (PIRDES) los cuales constituyen un instrumento de planificación primordial. Los planes facilitan la identificación del estado de situación con respecto a la GIRDES, la cantidad y tipo de residuos que se generan y la definición de un plan de acción enfocado en mejorar la gestión de los residuos. Dicho plan establece objetivos, metas e indicadores, lo cual permite la mejora continua. En las primeras etapas del PIRDES se trabaja en el diagnóstico, el cual muestra la situación actual del municipio y pone en evidencia en qué aspectos se deben enfocar los esfuerzos. Posteriormente, en las etapas intermedias se logra analizar a profundidad las problemáticas y sus posibles soluciones, plasmándolas en el plan de acción. Y como etapa final se define de qué forma se va a evaluar y monitorear todo lo propuesto.

El compostaje se presenta entonces como una posible actividad a desarrollar en los municipios en el marco de los PIRDES y la decisión de ponerlo en marcha requerirá de información que se recopila en su proceso de elaboración, en particular, con respecto a los resultados del estudio de generación y composición de los residuos y desechos sólidos.

Para realizar estos estudios, se invita a consultar la Guía para elaborar Estudios de Caracterización de Residuos Sólidos Comunes, aprobada por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales según Acuerdo Ministerial 7-2019.

El contexto legal

Recientemente, Guatemala aprobó el Reglamento para la Gestión Integral de los Residuos y Desechos Sólidos Comunes (Acuerdo Gubernativo 164-2021), con lo cual se fortalece el marco jurídico y de políticas públicas en torno a la gestión de los residuos y desechos sólidos (GIRDES). El nuevo reglamento establece la obligatoriedad de separar en la fuente, los residuos sólidos comunes orgánicos e inorgánicos, de este modo se facilitará el establecimiento de acciones de valorización de los residuos orgánicos como es el compostaje.

Por otra parte, en la Resolución Administrativa Número 017-2019/DIGARN/MOCMD se aprueban los términos de referencia del Sector 11. Sanearamiento; Subsector A: Gestión Integral de residuos sólidos

comunes, siendo uno de ellos el DIGARN-DEMARDS-06, Plan de Gestión Ambiental del Compostaje de Residuos Orgánicos (sin fines energéticos).

Otros elementos normativos a considerar en el campo de la GIRDES pueden encontrarse en la página web del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, en el subportal “gestión integral de los residuos y desechos sólidos”. A continuación, se muestra una lista no exhaustiva de documentos de interés.

- Decreto Número 68-86, Ley de Protección y Mejoramiento del Ambiente
- Decreto Número 12-2002, Código Municipal
- Decreto Número 90-97, Código de Salud
- Decreto Número 7-2013, Ley Marco de Cambio Climático
- Acuerdo Gubernativo Número 281-2015, Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos.
- Acuerdo Ministerial 6-2019. Guía para la Identificación Gráfica de los Residuos Sólidos Comunes
- Acuerdo Ministerial 7-2019 del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Guía para elaborar Estudios de Caracterización de Residuos Sólidos Comunes.
- Guía Práctica para la Formulación de Planes Municipales para la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos
- Términos de referencia: Compostaje de residuos orgánicos (sin fines energéticos). Plan de Gestión Ambiental.
- Acuerdo Gubernativo 164-2021 Reglamento para la Gestión Integral de los Residuos Y Desechos Sólidos Comunes.

5. Pasos para implementar el compostaje municipal

Para implementar el compostaje, las municipalidades pueden seguir cuatro pasos: Conozca, Analice, Implemente y Mejore. El seguimiento de estos pasos, permite a las municipalidades familiarizarse con aspectos técnicos del compostaje, analizar las diferentes alternativas que se podrían implementar en la comunidad, tomar en cuenta aspectos importantes en la implementación del proyecto y establecer una sistemática de mejora continua. En los próximos párrafos se detalla cada paso.

PASO 1. CONOZCA

El paso 1 consiste en conocer los conceptos técnicos relacionados con el compostaje que serán de utilidad tanto para las personas responsables de la gestión integral de los residuos y desechos sólidos como para las autoridades municipales. En este paso se expone la definición de compostaje, sus fases, parámetros de control y los sistemas de compostaje. También se detallan sus beneficios.

Residuos orgánicos

Los residuos orgánicos son aquellos que tienen la capacidad de degradarse rápidamente, su origen puede ser animal o vegetal y se generan a partir de actividades de alimentación, agricultura y de jardinería desarrolladas a nivel domiciliario, comercial e incluso industrial. Una forma apta de gestionar los residuos orgánicos es a través del compostaje, el detalle de los residuos orgánicos aptos se incluye en la sección de Materiales compostables (Consortio Provincial de Residuos Sólidos Urbanos, 2021; MARN, 2018).

Materiales compostables

La gran mayoría de los residuos orgánicos se pueden utilizar para la elaboración del compost, sin embargo, ciertos residuos, aunque son de origen orgánico, al incorporarlos en un proceso de compostaje podrían afectar la actividad microbiana, generar malos olores y atraer roedores y moscas.

Dependiendo del uso final del compost y las características de los residuos orgánicos que se producen en el municipio a nivel general, se podrían utilizar:

- Residuos orgánicos de cocina: cáscaras y restos de frutas, hortalizas y verduras, cáscaras de huevo, restos de café, bolsitas de té e infusiones
- Servilletas, papel y cartones de huevos (no impresos ni coloreados, ni mezclados con plástico)
- Restos de plantas, pedazos de ramas, hojas secas, paja, zacate o pasto
- Estiércol de animales domésticos (cerdos, gallinas, vacas, cabras)
- Aserrín y granza de arroz

El compostaje

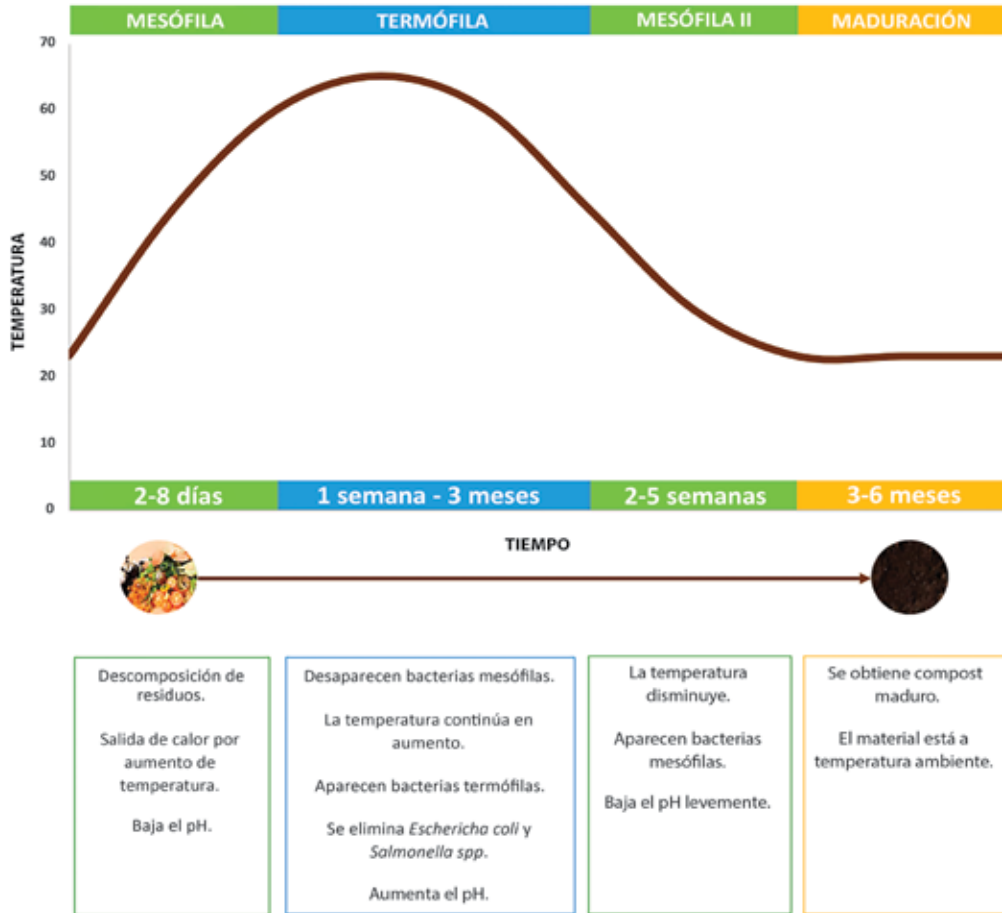
El compostaje es un proceso de transformación de los residuos orgánicos que involucra la acción de microorganismos que, en presencia de oxígeno (condiciones aerobias) y agua en cantidad apropiada provocarán la oxidación del material; durante la descomposición se obtienen subproductos como: calor, vapor de agua (H_2O) y dióxido de carbono (CO_2); este proceso tarda varios meses, al final el producto obtenido se denomina compost. (Grima et al., 2013; MARM, 2009).

Fases del compostaje

El proceso de compostaje consta de cuatro fases: mesófila, termófila o de higienización, enfriamiento o mesófila II y maduración; en las cuales interactúan diferentes microorganismos que aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) de los residuos orgánicos para su descomposición.

Tal y como lo citan los autores Román, Martínez y Pantoja (2013), cada una de las fases presenta características particulares relacionadas con la temperatura, la actividad microbiana, el pH y la duración que puede extenderse aproximadamente entre cinco y seis meses (ver gráfica en la Figura 1).

Figura 1
Fases del compostaje



Fuente: Elaboración propia CEGESTI, 2021, con base en Román, Martínez y Pantoja (2013). Manual de Compostaje del Agricultor: Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) Oficina Regional para América Latina y el Caribe.

- En la fase mesófila, por la alta actividad microbiana en la descomposición de los residuos orgánicos se genera calor, llevando el material a una temperatura de hasta 45°C. Este material se caracteriza por tener un pH bajo (4.0 - 4.5) o ser muy ácido, dado que lo primero que se degrada son los compuestos solubles como los azúcares que producen ácidos orgánicos; en condiciones normales esta fase puede tardar entre dos a ocho días.

- En la fase termófila se continúa con la degradación de fuentes de carbono como la celulosa y la lignina; en esta fase la temperatura aumenta haciendo que las bacterias mesófilas desaparezcan y que aparezcan bacterias termófilas producto de ese aumento (temperaturas entre 55 - 60°C). A esta fase también se le llama de Higienización, puesto que en ella se logran eliminar bacterias fecales como *Escherichia coli* y *Salmonella spp*, los quistes y huevos de helminto (parásitos), las esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas. El pH aumenta esta fase debido a la transformación del nitrógeno en amoníaco, producto de la acción de las bacterias termófilas. La duración de esta fase puede ser de una semana a tres meses, dependerá de las condiciones climáticas del lugar.
- En la fase Mesófila II la temperatura comienza a bajar hasta los 40°C aproximadamente, debido a que las bacterias de la fase termófila ya han consumido las fuentes de carbono y nitrógeno que se encontraban en el material. A esta fase también se le conoce como de Enfriamiento, al bajar la temperatura nuevamente aparecen las bacterias mesófilas que se encargan de degradar polímeros como la celulosa y algunos hongos que todavía se presentan. En esta fase se da leve disminución del pH y puede durar entre dos a cinco semanas.
- La última fase del proceso de compostaje se conoce como de maduración, la cual puede tardar de tres a seis meses; en esta fase, la temperatura del material desciende a temperatura ambiente y se producen ácidos fúlvicos por las reacciones de condensación y polimerización de los compuestos de carbono presentes en el material compostado.

Parámetros de control

Los parámetros a controlar durante el proceso de compostaje son el oxígeno o aireación, el dióxido de carbono, la humedad, la temperatura, el pH, la relación C:N (carbono : nitrógeno) y el tamaño de la partícula, pues tienen un impacto directo sobre el crecimiento y reproducción de los microorganismos que se encargan de la descomposición de los residuos orgánicos. A nivel externo, las condiciones ambientales, el método de compostaje, los residuos orgánicos, la infraestructura utilizada, entre otros, también pueden afectar el proceso de compostaje (Borrero, 2019).

A continuación, se describen las particularidades de cada uno de estos factores que intervienen en el proceso de compostaje según Borrero (2019), MARM (2009) y Román, Martínez y Pantoja (2013):

Oxígeno o aireación

La presencia de oxígeno o la aireación del material compostable permite que los microorganismos respiren y realicen la degradación de los residuos orgánicos, evitando que el material se compacte y quede en forma arcillosa. En la fase termófila es donde se presenta mayor consumo de oxígeno ya que, como se ha mencionado anteriormente, es donde los microorganismos degradan las fuentes más complejas de carbono. El rango ideal de aireación es de:

Rango ideal de aireación	5% - 15%
---------------------------------	----------

Fuente: Román, Martínez y Pantoja (2013).

En caso de un exceso o pérdida de aireación se presentarían los siguientes inconvenientes descritos en el Cuadro 1:

Cuadro 1.
Problemáticas y soluciones para aireación

Porcentaje de aireación	Problema	Solución
Menor a 5%	Presencia de malos olores Escasa evaporación del agua lo que hace que el material tenga mayor humedad y condiciones anaerobias, por ende, se generan malos olores y se acidifica el material.	✓ Favorecer la aireación del material a través de los mecanismos previstos o mediante el volteo.
Mayor a 15%	Detención del proceso Hace que la temperatura baje y que haya pérdida de agua necesaria para el proceso, pudiendo detenerse.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Picar el material utilizado para reducir la aireación. ✓ Incorporar material con humedad, como: cáscaras, restos de frutas y verduras, etc.

Fuente: Elaboración de CEGESTI con base en Román, Martínez y Pantoja (2013) y MARN (2009).

Dióxido de carbono (CO₂)

El dióxido de carbono se libera por la respiración de los microorganismos presentes en las diferentes fases, específicamente cuando se oxida el carbono de los residuos orgánicos. La mayor emisión de CO₂ ocurre cuando hay mayor actividad biológica, lo cual tiene lugar en la fase termófila. Por cada tonelada de compost pueden generarse dos a tres kilos de CO₂; sin embargo, es considerado de bajo impacto ambiental ya que es capturado por las plantas para realizar fotosíntesis.

Humedad

El agua es el medio de transporte por el cual los microorganismos llevan los nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular. El valor óptimo y rango ideal de humedad se incluye a continuación:

Humedad óptima	55%
Rango ideal	45% - 60%

Fuente: Román, Martínez y Pantoja (2013).

Si se da un exceso o una disminución de la humedad habrá una afectación, tal como se indica en el Cuadro 2:

Cuadro 2
Problemáticas y soluciones para la humedad

Porcentaje de humedad	Problema	Solución
Menor a 45%	Detención del proceso Se detiene o retrasa el proceso de descomposición por falta de agua para los microorganismos.	✓ Agregar material con contenido húmedo, como: cáscaras, restos de frutas y verduras, etc.
Mayor a 60%	Aireación deficiente Se saturan los poros afectando la adecuada aireación del material.	✓ Agregar material seco o con buen contenido de carbono. ✓ Favorecer la aireación del material.

Fuente: Elaboración de CEGESTI con base en Román, Martínez y Pantoja (2013).

En casos donde se utilicen residuos orgánicos como aserrín, granza de arroz, paja y hojas secas en mayor proporción, es posible que se requiera humedecer el material. Una manera sencilla de monitorear la humedad del compost, es aplicar la "técnica del puño", la cual consiste en tomar una porción de compost con la mano y apretar, si no sale agua entre los dedos se mantiene a una humedad adecuada.

Temperatura

La temperatura varía en cada una de las fases del proceso de compostaje, la descomposición de los residuos orgánicos inicia a temperatura ambiente en la fase mesofílica alcanzando el máximo de

temperatura alrededor de los 60°C en la fase termófila, y regresando nuevamente a temperatura ambiente en la fase de maduración, los rangos óptimos para cada fase se indican a continuación:

Fase	Rango ideal
Mesófila	15– 45°C
Termófila	45 – 60°C
Mesófila II	15 – 45°C
Maduración	Menor a 40°C

Fuente: Román, Martínez y Pantoja (2013) y MARM (2009).

Es importante que la temperatura no reciba cambios bruscos, por ejemplo, descender muy rápido ya que esto afecta la velocidad de descomposición y el proceso de higienización. Algunos problemas que se pueden presentar respecto a la temperatura se resumen en el Cuadro 3:

Cuadro 3
Problemáticas y soluciones para la temperatura

Temperatura °C	Problema	Solución
Bajas temperaturas (Menores a 35°C)	Descenso de la temperatura El descenso de la temperatura puede estar asociado a:	
	La disminución de microorganismos producto de la humedad deficiente. Material insuficiente La relación C:N es alta, esto significa que hay carencia de nitrógeno para la acción de los microorganismos.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Agregar material con contenido húmedo, como: cáscaras, restos de frutas y verduras, etc). ✓ Anadir más material al proceso de compostaje. ✓ Añadir material con mayor contenido de nitrógeno, como: estiércol de animales domésticos.
Altas temperaturas (Mayores a 70°C)	Ralentización del proceso La temperatura alta a causa de una ventilación y humedad deficiente impide la acción de los microorganismos en la fase mesófila, lo cual retrasa el proceso.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Favorecer la ventilación del material.

Fuente: Elaboración de CEGESTI con base en Román, Martínez y Pantoja (2013).

pH

El pH es el parámetro que define la supervivencia de los microorganismos, ya que cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y multiplicación, por ejemplo, la actividad bacteriana se produce en un rango de pH de 6.0 - 7.5, mientras que la actividad fúngica entre 5.5 - 8.0. El rango ideal para la reproducción de las bacterias es de 5.8 - 7.2.

Al igual que la temperatura, el pH varía en cada una de las fases del proceso de compostaje, se recomienda que el pH esté en el rango de:

Rango ideal de pH	4.5 – 8.5
--------------------------	-----------

Fuente: Román, Martínez y Pantoja (2013).

Si se da un exceso de acidez o alcalinización puede haber problemáticas, tales como las descritas en el Cuadro 4:

Cuadro 4.
Problemáticas y soluciones para el pH

pH	Problema	Solución
Menor a 4.5	Acidificación del material El material se acidifica por la liberación de ácidos orgánicos procedentes de los alimentos.	✓ Agregar material con buen contenido de nitrógeno para que se logre alcanzar una relación adecuada C:N (ver rango ideal)
Mayor a 8.5	Alcalinización del material El material se alcaliniza (se reduce la acidez) por la generación de amoníaco, cuya producción está asociada a un exceso de nitrógeno en el material (mala relación C:N).	✓ Agregar material con buen contenido de carbono, tal como aserrín, hojas secas, residuos de poda.

Fuente: Elaboración de CEGESTI con base en Román, Martínez y Pantoja (2013).

Relación carbono-nitrógeno (C: N)

Para obtener un buen compostaje, es necesario lograr un adecuado balance entre la cantidad total de carbono y de nitrógeno de los residuos orgánicos que se utilicen en el compost. Normalmente, este balance se encuentra en el rango que se indica a continuación:

Rango ideal de relación C:N	25:1 – 35:1
------------------------------------	-------------

Fuente: Borrero (2019).

Cuando la relación C:N no es óptima se puede presentar problemáticas como las indicadas en el Cuadro 5:

Cuadro 5.
Problemáticas y soluciones para la relación C:N

C:N	Problema	Solución
Menor a 25:1	Malos olores Se generan malos olores debido al exceso de nitrógeno en el material, el proceso sufre calentamiento.	✓ Incorporar residuos orgánicos ricos en carbono, como: paja, granza de arroz, aserrín y hojas secas.
Mayor a 35:1	Proceso lento La descomposición se vuelve más lenta producto de una mayor cantidad de carbono en el material lo cual hace que la temperatura no aumente retrasando el proceso.	✓ Equilibrar la relación C:N a través de la adición de material con buen contenido de nitrógeno, como estiércol de animales domésticos.

Fuente: Elaboración de CEGESTI con base en Borrero (2019) y Román, Martínez y Pantoja (2013).

Tamaño de partícula

El tamaño de la partícula del material compostable incide directamente en la actividad de los microorganismos; si las partículas son pequeñas, tendrán una mayor superficie de exposición facilitando el acceso de los microorganismos. El tamaño de la partícula también influye en el comportamiento de otros parámetros, por ejemplo, en la aireación, retención de humedad y la misma densidad del compost. El tamaño ideal de los materiales para iniciar el proceso de compostaje debe ser de:

Tamaño ideal de partícula	5 – 20 cm
----------------------------------	-----------

Fuente: Román, Martínez y Pantoja (2013).

Cuando la partícula no es del tamaño ideal se pueden presentar problemáticas como las que se indican en el Cuadro 6:

Cuadro 6
Problemáticas y soluciones por tamaño de partícula

Tamaño	Problema	Solución
Menor a 5 cm	Compactación del material El agua llena los pequeños poros que hay en el material generando compactación y creando condiciones anaerobias.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Favorecer la aireación del material ✓ Incorporar material de mayor tamaño para homogenizar la mezcla
Mayor a 20 cm	Detención del proceso de compostaje El proceso se detiene producto del exceso de aireación que pasa por los canales formados en el material, haciendo que la temperatura baje.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Picar el material existente para conseguir un tamaño adecuado de acuerdo al rango ideal.

Fuente: Elaboración de CEGESTI con base en Román, Martínez y Pantoja (2013).

Características del compost

Cuando el proceso de compostaje ha finalizado, tras la fase de maduración, el compost obtenido reúne ciertas características que lo hacen idóneo para su uso, estas características se detallan en la la Figura 2:

Figura 2
Propiedades del compost

Física	Química	Biológica
El compost tiene buenas características físicas cuando el tamaño de las partículas del material es uniforme y cuando no hay presencia de malos olores.	El compost tiene buenas características químicas cuando hay una descomposición total del material orgánico, es decir no hay presencia de material sin descomponer.	El compost tiene buenas características biológicas cuando no hay presencia de de semillas o microorganismos patógenos.

Fuente: Elaboración propia con datos de Grima et al., 2013, Gestión de Biorresiduos de Competencia Municipal. Guía para la implantación de la recogida separada y tratamiento de la fracción orgánica. Gobierno de España. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Considerando las propiedades anteriormente mencionados cuando el compost está listo para su uso presenta las siguientes características:

- ✓ El tamaño de las partículas es simétrico
- ✓ El material está suelto, las partículas no están pegadas (no arcilloso)
- ✓ El material está descompuesto en su totalidad (no presenta grandes piezas de material sin descomponer)
- ✓ No hay presencia de malos olores
- ✓ No hay presencia de semillas
- ✓ No hay presencia de microorganismos patógenos
- ✓ El color es café oscuro

Aplicaciones del compost

Como se sabe uno de los principales usos del compost se da en el sector agrícola, donde constituye un recurso de gran valor. Sin embargo, es posible dar otros usos al material, según Grima et al (2013) el compost podría ser utilizado en:

- ✓ Jardinería, mediante aplicación directa a flores, céspedes y arbustos.
- ✓ Viveros, como sustrato.
- ✓ Recuperación de espacios degradados, aplicando compost directamente al suelo y también a profundidad a través de excavación.
- ✓ Paisajes en zonas públicas, incluidas parques y jardines, a través de la aplicación directa en el suelo o directamente en el espacio destinado a sembrar plantas en combinación con la tierra removida.
- ✓ Acondicionamiento de sitios para deporte, a través de la aplicación en el suelo.
- ✓ Rellenos sanitarios, como cobertura para los residuos, normalmente se hace cuando el compost no tiene buena calidad.

Es importante considerar que, como en la aplicación cualquier fertilizante, este debe ser colocado preferiblemente en condiciones de poca lluvia para evitar que se escurra.

Sistemas de compostaje

Considerando el compostaje como la opción para tratar los residuos orgánicos, no existe una solución única y definitiva, pues los modelos y tecnologías existentes deben adecuarse a la realidad de cada municipio. Para seleccionar la mejor alternativa de compostaje, es necesario encontrar un equilibrio técnico, económico, social y medioambiental entre los distintos recursos y factores con los que cuente el municipio, tales como:

- la densidad de población
- la cantidad de actividades comerciales
- los sistemas de recolección de residuos y tratamiento de residuos implementados
- la composición y la calidad de los residuos orgánicos
- las condiciones climáticas
- el uso potencial de compost

En la actualidad existe diversidad de sistemas de compostaje y tecnologías asociadas a cada uno. En síntesis, estos sistemas pueden clasificarse en dos grandes tipos: sistemas abiertos, donde el material está expuesto a cielo abierto y sistemas cerrados, donde el material se deposita en diferentes contenedores.

Sistemas abiertos - compostaje en pilas

Este tipo de sistema consiste en colocar el material en hileras sobre el suelo, con cierto nivel de altura y evitando que se compacte el material. Según Grima et al (2013), existen diferentes mecanismos de maduración para el compostaje en pilas, estos son:

- **Aireación forzada:** se suministra aire a la pila de compost utilizando ventiladores y conductos, evitando así la necesidad de voltear el material.
- **Aireación pasiva:** el aire se suministra mediante tuberías perforadas ingresa por extremos del tubo y por convección llega a la parte superior de la pila de compost.
- **Volteo:** consiste en el uso de una pala o maquinaria para voltear el material, de manera que se favorezca la aireación pasiva.

A continuación, se presentan ejemplos de compostaje en pilas:

Compostaje en pilas	Tecnología con hileras en Guatemala
 <p data-bbox="237 721 770 803">Foto tomada de: CEGESTI (s.f.), Caso de éxito: Recolección Selectiva y Valorización de Residuos Sólidos en comunidades de Pérez Zeledón</p>	 <p data-bbox="802 737 1332 768">Imagen cedida por: Municipalidad de Guatemala (2021)</p>
<p data-bbox="277 818 735 847"><i>Compostaje Municipal Pérez Zeledón, Costa Rica</i></p>	<p data-bbox="906 818 1230 847"><i>Compostaje Municipal, Guatemala</i></p>

Fuente: Elaboración propia

Para los sistemas de compostaje en pilas se podría requerir ciertas herramientas o equipo como: trituradora, palas, cargador frontal o excavadora (para el volteo del material) y eventualmente otros utensilios de jardinería como tijeras de poda, el rastrillo y el carrito.

Sistemas cerrados

En los sistemas cerrados el compost se produce en contenedores o reactores. A pequeña escala frecuentemente se utilizan contenedores llamados composteras domiciliarias o comunitarias, mientras que, a nivel industrial, se utilizan los reactores, naves cerradas o túneles.

- **Compostera domiciliar:** son recipientes para depositar los residuos orgánicos de los hogares; por lo general son sistemas giratorios que pueden ser de plástico o metálicas, o bien, cajas de madera bajo la técnica Takakura, estos recipientes constituirán las herramientas necesarias para el proceso de compostaje acompañados con utensilios de jardinería si se requiere.



A continuación, se presentan ejemplos de composteras domiciliarias:

Composteras giratorias plásticas y metálicas	Compostaje Takakura
	
<p>Imagen cedida por: 360 Soluciones Verdes</p> <p><i>Composteras rotatorias</i></p>	<p>Foto tomada de: Ecolur Compostaje (s.f.)</p> <p><i>Cajas Ecolur compostaje Takakura</i></p>

Fuente: Elaboración propia

- Compostera comunitaria:** consiste en una serie de recipientes de mayor dimensión para depositar residuos orgánicos; comúnmente se trata de cajas o recipientes diseñados específicamente para recibir el volumen proyectado de residuos generados a nivel comunitario, estos recipientes constituirán las herramientas necesarias para el proceso de compostaje acompañados con utensilios de jardinería si se requiere.

A continuación, se presentan ejemplos de composteras comunitarias:

Composteras comunitarias	
	
<p>Foto tomada de: Residuo Profesional (2020)</p> <p><i>Composteras con sistema de identificación de usuario</i></p>	<p>Foto tomada de: Iambiente (2019)</p> <p><i>Compostaje comunitario en municipios pequeños</i></p>

Fuente: Elaboración propia

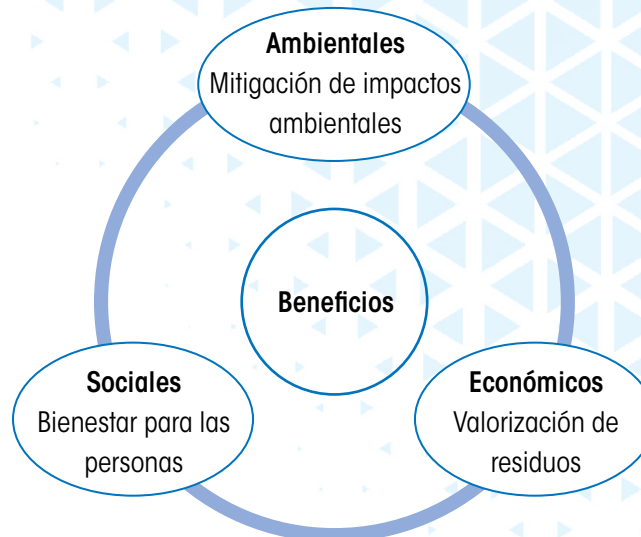
- **Reactor:** es un recipiente diseñado para que ocurran reacciones biológicas. En el caso de la producción de compost, los reactores pueden ser verticales, o bien, horizontales y pueden diseñarse con agitación (el material se voltea) o sin ella. En el reactor es necesario controlar la temperatura, la aeración y la cantidad de material que se va incorporando. Las herramientas necesarias para el reactor podrían ser pala o carretillo.
- **Nave:** es una infraestructura cerrada que permite controlar los factores climáticos y en la cual se instala algún tipo de sistema de aireación para realizar el proceso biológico. Dentro de la nave tienen lugar las fases de descomposición y maduración del material. Para los sistemas de compostaje en nave se podría requerir ciertas herramientas o equipo como: trituradora industrial, palas, cargador frontal o excavadora (para el volteo del material) y eventualmente otros utensilios de jardinería como tijeras de poda, rastrillo y carretillo.

Beneficios

¿Por qué el compostaje es una buena opción en el tratamiento de los residuos orgánicos generados en los municipios?

La producción de compostaje a partir de los residuos orgánicos, además de brindar un valor agregado, genera beneficios de triple utilidad (ver Figura 3).

Figura 3
Beneficios del compostaje



Fuente: Elaboración propia CEGESTI, 2021.

A continuación, se cita una serie de beneficios para cada eje, ambiental, social y económico:

Beneficios ambientales:

- Disminución del volumen de desechos que van al relleno sanitario y en consecuencia menor generación de lixiviados a tratar en los sistemas y posteriormente verter al ambiente.
- Disminución de la generación de gases contaminados, incluidos los gases de efecto invernadero como el metano.
- Producción de compost, que sirve como mejorador de suelos que ayuda al secuestro del carbono y mitigar el cambio climático.

Beneficios sociales:

- Evita problemas de salud en las personas, ya que previene enfermedades transmitidas por vectores cuando hay una inadecuada gestión de los residuos o de enfermedades respiratorias asociadas a la quema de residuos y a la mala calidad del aire.
- Mejora la imagen de los municipios.
- Brinda a la ciudadanía la oportunidad de participar en actividades de protección ambiental.
- Reduce los riesgos de seguridad y molestias que pueden ocasionar los vertederos.

Beneficios económicos:

- Extensión de la vida útil de los rellenos sanitarios municipales.
- Menores costos asociados al transporte de desechos.
- Ingresos adicionales por venta del compost.
- Proporciona nuevas oportunidades de empleo.

PASO 2. ANALICE

El paso 2 invita a las municipalidades a analizar tres alternativas de compostaje: el compostaje municipal, comunitario y doméstico. Se aclara que estas alternativas no son excluyentes y los municipios podrán implementar la de mayor conveniencia a partir del análisis de los elementos propuestos en esta sección, o bien, combinarlas.

El Compostaje Municipal

Definición

Se entiende como compostaje municipal el que es llevado a cabo en una planta de compostaje administrada por el municipio, utilizando como insumo los residuos orgánicos que han sido previamente separados. La principal ventaja de este tipo de compostaje es que reduce considerablemente la cantidad de residuos que se envían a la disposición final disminuyendo el costo de esta gestión.

Elementos de selección

Esta alternativa requiere que el municipio tenga la capacidad de disponer de los siguientes elementos:

- ✓ Separación del residuo orgánico de los demás residuos.
- ✓ Volumen de residuos orgánicos suficiente para operar la planta.
- ✓ Un área para instalar la planta de compostaje.
- ✓ Personal para diseñar, instalar y gestionar la planta.
- ✓ Capacidad para consumir o vender en el mercado el compost que produce.



Análisis Integral

Si la municipalidad desea impulsar el compostaje centralizado, se recomienda hacer un análisis de prefactibilidad para así considerar aspectos técnicos y de inversión necesarios para que las autoridades municipales puedan tomar la decisión de implementar el proyecto. Los temas que debería incluir este análisis se muestran a continuación (ver Cuadro 7).

Cuadro 7
Análisis integral para Compostaje Municipal

	Elemento	Descripción
1.	Descripción del proyecto	Describa la justificación del proyecto de compostaje, principales objetivos y los responsables de su administración
2.	Disponibilidad del residuo orgánico	Describa el tipo de material orgánico a recolectar. Estime el volumen del residuo orgánico para al menos cinco años ; para ello considere: tamaño y expectativa de crecimiento de la población, estadísticas de generación de residuos orgánicos.
3.	Estudio de mercado para aplicar el compost	Defina las características del compostaje final a producir Determine el volumen de compostaje final que utilizarán los usuarios del producto. Indique si la municipalidad venderá el compost o si lo donará a la comunidad.
4.	Análisis legal	Indique el contexto legal aplicable (legislación en materia de gestión de residuos y desechos sólidos, requisitos de operación como patentes y licencias y la legislación laboral pertinente). Determine la necesidad de elaborar un reglamento para la gestión del proyecto.
5.	Análisis técnico	Describa la logística de transporte del residuo a la planta de procesamiento y su costo. Describa los siguientes elementos del sistema de producción: Tipo de planta: mecanizada o semi mecanizada. Tipo de tecnología de maduración: pilas, áreas cerradas, reactores. Sistema de aireación a utilizar (aireación pasiva en pilas, aireación forzada en pilas, compostaje cerrado).
6.	Localización y diseño de la planta	Describa el área geográfica en la que se ubicará la planta de compostaje, el tamaño y un diseño del flujo de materiales. Si es necesario construir, agregue detalles de la ingeniería básica que se requiere y las obligaciones ambientales que deben cumplirse. Describa la cantidad de personas (operarios, técnicos, ingenieros) y la formación requerida para operar la planta.
7.	Costos de instalación y operación	Describa la inversión inicial requerida (compra de terreno y maquinaria, construcción de la instalación, capacitación inicial). Indique los costos de operación (insumos, electricidad, agua, personal) y gastos de administración y financieros.
8.	Plazo de ejecución	Determine el plazo de implementación del proyecto desde que es aprobado hasta la producción normal de compostaje.
9.	Valoración económica y sostenibilidad	Describa la recuperación económica del proyecto y la valoración de los beneficios ambientales y sociales.
10.	Conclusiones y recomendaciones	De acuerdo con los resultados del análisis, realice una recomendación a las autoridades del municipio.

En el caso que la prefactibilidad sea aprobada, se procederá a realizar la factibilidad completa incluyendo la elaboración de planos de construcción, cotizaciones finales de equipo y maquinaria, entre otros.

El Compostaje Comunitario

Definición

El compostaje comunitario es el tratamiento de los residuos orgánicos generados por grupos de personas dentro de una zona común (Plana et al., 2019). Las áreas que se destinan a este tipo de compostaje pueden utilizarse para otras actividades de bienestar para la comunidad como huertas, depósito de residuos valorizables y capacitaciones.

Esta alternativa de compostaje puede implementarse en zonas urbanas de alta densidad, o bien, en zonas rurales cercanas a pequeños poblados de tal manera que a los habitantes se les facilite llevar el compostaje al área destinada.

El compostaje comunitario resulta ser una excelente alternativa para estimular el voluntariado y la solidaridad en las comunidades.

Elementos de selección

Esta alternativa requiere que el municipio tenga la capacidad de disponer de los siguientes elementos:

- ✓ Áreas públicas que pueden destinarse al compostaje.
- ✓ Capacitación a los habitantes en separación de residuos y compostaje.
- ✓ Personal para el apoyo a los responsables de la administración del proyecto y para el mantenimiento del sitio.



Análisis Integral

Si la municipalidad desea impulsar el compostaje comunitario, se recomienda considerar los siguientes elementos (ver Cuadro 8):

Cuadro 8
Análisis integral para Compostaje Comunitario

	Elemento	Descripción
1.	Descripción del proyecto	Describa la justificación del proyecto de compostaje comunitario, principales objetivos y los responsables de su administración
2.	Involucramiento de la comunidad	<p>Describa la anuencia de la población a realizar compostaje comunitario y en particular su anuencia a llevar los residuos al área seleccionada. Se recomienda realizar una encuesta y entrevistas a los habitantes.</p> <p>Identifique de previo a los líderes que asumirán la gestión de las composteras, o bien, si esta labor la asumirá la municipalidad.</p>
3.	Estudio de mercado para aplicar el compost	<p>Identifique el potencial uso del compost y el volumen que se utilizaría.</p> <p>Defina las características finales del compost según el uso final que se le dará.</p> <p>Determine la cantidad de compost que podrá producirse según la cantidad de residuos orgánicos a compostar</p> <p>Defina las reglas para repartir el compost en la comunidad, si fuera el caso.</p>
4.	Análisis técnico-legal	<p>Identifique los espacios públicos que el municipio podría destinar a la colocación de las composteras y ejecute un análisis de eventuales impactos ambientales.</p> <p>Identifique proveedores de composteras, disponibilidad y costo.</p> <p>Planifique sesiones de capacitación para los responsables de la gestión de las composteras.</p> <p>Planifique el material de apoyo a la comunidad para realizar una adecuada separación del residuo orgánico.</p> <p>Determine la necesidad de elaborar un reglamento para la gestión del proyecto.</p>
5.	Costos de puesta en marcha y seguimiento	<p>Describa la inversión inicial requerida (compra de composteras comunitarias, programas de capacitación).</p> <p>Indique los costos de operación (costos de personal, asesores en compostaje, materiales adicionales, seguimiento de resultados, costos financieros).</p>
6.	Plazo de ejecución	Determine el plazo de implementación del proyecto desde que es aprobado hasta la producción normal de compostaje.
7.	Valoración económica y sostenibilidad	Describa la recuperación económica del proyecto y la valoración de los beneficios ambientales y sociales.
8.	Conclusiones y recomendaciones	De acuerdo con los resultados del análisis, elabore una recomendación a las autoridades del municipio.

El Compostaje Doméstico

Definición

El compostaje doméstico es el que realizan las personas en sus hogares utilizando los residuos de la cocina y/o del jardín. Una de las ventajas de esta alternativa es la de concientizar a la población sobre la importancia de separar los residuos valorizables y evitar el transporte de este tipo de residuos a los rellenos sanitarios, este tipo de compostaje también incentiva la creación de huertas caseras.

Elementos de selección

Esta opción es conveniente para aquellas municipalidades que presenten las siguientes condiciones:

- ✓ Se ubican en zonas rurales con poblaciones dispersas entre sí, o en zonas urbanas donde la población tiene espacio para compostar en sus hogares.
- ✓ Pueden brindar capacitación a los habitantes sobre separación de residuos y elaboración de compostaje doméstico.



Análisis integral

En caso que la municipalidad deseara impulsar el compostaje doméstico, se recomienda realizar un análisis integral considerando los siguientes elementos (Ver Cuadro 9).

Cuadro 9
Análisis integral para Compostaje Doméstico

	Elemento	Descripción
1.	Descripción del proyecto	Describa la justificación del proyecto de compostaje, principales objetivos y los responsables de su administración.
2.	Involucramiento de la comunidad	Describa la anuencia de la población a realizar compostaje en su hogar. Se recomienda realizar una encuesta y entrevistas a los habitantes.
3.	Análisis técnico-legal	<p>Identifique proveedores de composteras, disponibilidad y costo.</p> <p>Determine el tipo de compostera más adecuado para su comunidad (rotatorias, Takakura, otra) y la capacidad que debería poseer en función de los hábitos de generación de la comunidad.</p> <p>Planifique sesiones de capacitación y el material de apoyo a la comunidad para iniciar el proceso de compostaje. Capacite sobre temas como: área a colocar la compostera, facilidad de acceso, distanciamiento de vecinos, entre otros.</p> <p>Planifique si se brindará asistencia puntual a los hogares que requieran apoyo en el uso de las composteras.</p> <p>Definir si el excedente de compost que produzcan los hogares se va a recolectar.</p> <p>Indique el contexto legal aplicable.</p> <p>En caso de que el municipio decida donar las composteras, establezca los compromisos que adquiere el ciudadano en el cuidado y uso de la compostera.</p>
4.	Costos de puesta en marcha y seguimiento	<p>Describa la inversión inicial requerida (compra de composteras, si fuera el caso, programas de capacitación).</p> <p>Indique los costos de operación (costos de personal, asesores en compostaje, seguimiento de resultados, costos financieros).</p>
5.	Plazo de ejecución	Determine el plazo de implementación del proyecto considerando la formación, implementación en las casas, verificación de producción, atención de consultas.
6.	Valoración económica y sostenibilidad	Describa la recuperación económica del proyecto y la valoración de los beneficios ambientales y sociales.
7.	Conclusiones y recomendaciones	De acuerdo con los resultados del análisis, establezca una recomendación a las autoridades del municipio.

PASO 3. IMPLEMENTE

El paso 3 se refiere a las acciones a desarrollar para poner en marcha la alternativa de compostaje seleccionada por las autoridades municipales en el paso 2. En esta etapa la comunicación a los habitantes del municipio es fundamental para conseguir el compromiso de las personas hacia el proyecto.

Puesta en marcha

La puesta en marcha de la alternativa de compostaje requiere ser planificada como un proyecto e idealmente estar integrada en el PIRDES. La planificación debe considerar los siguientes elementos:

- ✓ Líder del proyecto
- ✓ Objetivo general del proyecto, meta e indicador.
- ✓ Actividades, responsables, plazo de ejecución e indicadores de avance
- ✓ Recursos por actividad (personal, financieros, tecnológicos)

La figura del líder del proyecto es fundamental para alcanzar el éxito, ya que será la persona responsable del avance integral y la toma de decisiones operativas. Esta persona no necesariamente debe ser especialista en cómo hacer compostaje, pero sí en administrar proyectos. Por otra parte, el experto técnico en compostaje es uno de los recursos humanos a considerar en el equipo de trabajo.

A continuación, se muestra un ejemplo del formato de planificación a utilizar (ver Figura 4).

Figura 4
Formato de planificación proyecto de compostaje

Proyecto: Compostaje

Objetivo	Meta	Indicador

Actividad	Responsable	Plazo	Indicador	Recursos		
				Personal	Financiero	Tecnológico

En esta etapa, también corresponde cumplir con el DIGARN-DEMARDS-06 Términos de Referencia Compostaje de Residuos Orgánicos (sin fines energéticos) según Resolución Administrativa Número 017-2019/DIGARN/MOCMD y obtener su debida aprobación.

Comuniqué

Para mantener el éxito de las acciones relacionadas con el compostaje, es necesario brindar información y capacitación acerca del valor de los residuos orgánicos a los distintos actores involucrados, a través de mecanismos como:

- Charlas a grupos organizados: asociaciones de vecinos, asociaciones comerciales, centros educativos.
- Ayudas visuales: rótulos, trípticos, calcomanías, panfletos.
- Visitas guiadas a plantas de compostaje.
- Uso de redes sociales: Facebook, Twitter, Instagram, Tiktok.
- Obsequios: llaveros, bolsas reutilizables para compras, lapiceros, libretas.

Adicionalmente, resulta importante que el personal del municipio encargado del plan de compostaje, sea capacitado sobre temas relacionados con:

- Gestión de residuos sólidos orgánicos.
- Compostaje: técnicas y usos.
- Diseño y funcionamiento del plan de compostaje municipal.
- Buenas prácticas de manejo de composteras.

PASO 4. MEJORE

El paso 4 recomienda a los municipios monitorear y evaluar la implementación del proyecto de compostaje para luego introducir oportunidades de mejora.

Durante el monitoreo corresponde dar seguimiento a las actividades planificadas, la ejecución presupuestaria y atender cambios por imprevistos.

La evaluación abarca temas más amplios como el logro del objetivo del compostaje, el grado de aceptación del proyecto por parte de los habitantes, así como el compromiso de la población con la separación de los residuos.

A continuación, se presenta un formato para realizar la evaluación (ver Cuadro 10).

Cuadro 10
Formato para evaluación del proyecto

Tema	Aspecto a evaluar
Objetivos	¿Se cumple el objetivo del proyecto?
Planificación	¿Se ejecuta el proyecto en el plazo acordado? ¿El presupuesto se cumplió?
Personal	¿El personal asignado es suficiente? ¿Se requiere capacitación adicional?
Aspectos técnicos	¿El proceso productivo es eficiente? ¿La maquinaria es la adecuada?
Comunicación y educación	¿Se cumplieron las actividades de comunicación e información hacia los grupos meta?
Compromiso	¿Los habitantes mostraron compromiso con el proyecto?
Aceptación del compost	¿El compostaje es bien recibido por los usuarios? ¿Se ha recibido alguna queja?
Impacto ambiental	¿Qué porcentaje de los residuos sólidos que van a la disposición final, se ha logrado disminuir?

La evaluación permitirá retroalimentar a las autoridades municipales y al Plan Municipal de Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos (PIRDES) sobre los resultados tanto a nivel ambiental como social.

6. Caso de éxito: Compostaje en la Municipalidad de Guatemala

En este apartado, se describe el caso "COMPOST, Un abrazo a la Madre Tierra" el cual fue documentado por la ingeniera Laura García, encargada del Área Agroforestal de la Municipalidad de Guatemala.

CASO: COMPOST, UN ABRAZO A LA MADRE TIERRA

**Dirección de Gestión y Manejo de Residuos y Desechos Sólidos,
Municipalidad de Guatemala**



**Muni
Guate**

Información general:

- Ubicación: 30 calle 10-96 zona 3, ciudad de Guatemala, localizado entre las Coordenadas UTM (Universal Transverse de Mercator) Datum WGS84 14°37'27" Norte y 90°31'58" Oeste
- Tipo de compostaje: Proceso aeróbico, metodología "tipo hileras o pilas".
- Residuos compostados (kg / día): 2488,00 kg/día
- Fecha de inicio de la actividad: Noviembre 2018

Descripción del proyecto:

En este proyecto de compostaje se realiza un proceso aeróbico con la metodología "tipo hileras", el cual consiste en realizar diferentes capas de materiales orgánicos ricos en nitrógeno (cáscara de frutas y verduras) y carbono (aserrín y hojarascas); aunado a ello, se lleva un control de temperatura, humedad y aireación. El material llega a su estado maduro a los tres meses, ya que no se utiliza ningún químico o microorganismo para acelerar el proceso. El material que no cumple con su degradación al 100%, se recicla en las camas de compostaje como semilla o activador en el nuevo material.

Este proceso tiene como objetivo aprovechar el material orgánico que es desechado por parte de los mercados municipales y el material residual proveniente de podas y talas del mantenimiento de áreas arbóreas y arbustivas de la ciudad. El resultado final es un abono orgánico de alta calidad que mejora las condiciones del suelo, aportando gran cantidad de nutrientes que permiten el correcto desarrollo a cualquier tipo de planta.

Figura 5
Vista de entrada principal al área de compostaje.



Nota: Adoptado de COMPOST, Un abrazo a la Madre Tierra, por Municipalidad de Guatemala, 2021.

Figura 6
Recepción de material compostable provenientes de mercados municipales.



Nota: Adoptado de COMPOST, Un abrazo a la Madre Tierra, por Municipalidad de Guatemala, 2021.

Figura 7
Volteo de material con excavadora en las pilas de compostaje.



Nota: Adoptado de COMPOST, Un abrazo a la Madre Tierra, por Municipalidad de Guatemala, 2021.

Figura 8
Compost listo para cernir.



Nota: Adoptado de COMPOST, Un abrazo a la Madre Tierra, por Municipalidad de Guatemala, 2021.

Figura 9
Cernido de material con minicargador y dos ayudantes.



Nota: Adoptado de COMPOST, Un abrazo a la Madre Tierra, por Municipalidad de Guatemala, 2021.

Figura 10
Compost listo para utilizar.



Nota: Adoptado de COMPOST, Un abrazo a la Madre Tierra, por Municipalidad de Guatemala, 2021.

Manejo de los aspectos ambientales:

Los lixiviados de la planta de compostaje se colectan en un tanque para luego disolverlos con agua y utilizarlos como ferti-riego en las áreas verdes establecidas.

- El material de las composteras se cubre con aserrín y hojarasca con el objetivo de evitar que quede expuesto para la propagación de insectos, esto también contribuye a erradicar olores desagradables.
- Otro aspecto favorable es la oxigenación, la cual consiste en el movimiento del material orgánico para su mejor degradación.

Usos del compost producido:

El producto final se está utilizando dentro del vertedero municipal, en el vivero interno, jardineras y área forestada; también se distribuye al vivero municipal de la zona 2, para actividades agrícolas.

Impactos logrados:

Acciones de impacto	Beneficios
Aprovechamiento material compostable	Reducción de material para su disposición final. (2488,00 kg/día)
Aprovechamiento de ramas y hojas	Producción de broza y aserrín como producto. (2500,00 kg/semana)
Utilización de lixiviado como ferti-riego	Disminución de uso de fertilizantes químicos y disminución de uso de agua potable. (5000,00 l/mes)

Limitaciones presentadas:

- Aspecto cultural, una limitante que se ha presentado es que las personas no realizan una separación adecuada de los desechos sólidos; en consecuencia, se requiere mayor esfuerzo del personal municipal para realizar la selección de material para luego compostarlo.
- Infraestructura: no se cuenta con un área techada para el compostaje; esto disminuye la producción y atrasa el proceso de maduración.

Planes futuros:

- Está programada la construcción de más composteras con la intención de aumentar la capacidad operativa.

- Mejora continua de la infraestructura.
- Inclusión del factor social en la elaboración de compost, mediante campañas de educación y concientización a las personas.

Con base en la experiencia adquirida en este proyecto, se presentan las siguientes recomendaciones a los lectores:

- Infraestructura adecuada: **suelo impermeabilizado** para la conducción de los lixiviados generados por el material, **drenajes** receptores de los lixiviados para su captación y posterior uso, **techado** de la planta de compostaje.
- Se recomienda evitar que se depositen en las composteras restos de carne, huesos, material proveniente de lácteos y plásticos.
- Mantenimiento de los drenajes para la colección de lixiviado.

7. Fuentes consultadas

- 360 Soluciones Verdes (s.f.). *El mejor compost, hecho en casa*. <https://www.360-sv.com/residencial>
- Acuerdo Gubernativo Número 164-2021 [Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de Guatemala] Reglamento para la Gestión Integral de los Residuos y Desechos Sólidos Comunes. 09 de agosto de 2021.
- Banco Mundial (2021). *Guatemala Panorama general*. <https://www.bancomundial.org/es/country/guatemala/overview#1>
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (2014). *Diagnóstico del Proyecto Plan Nacional. Proyecto ATN-MA12949-GU*.
- Borrero, G. (2019). *Guía Básica para el Compostaje de Residuos Biodegradables*. Centro Nacional Especializado en Agricultura Orgánica del INA. Cartago, Costa Rica.
- CEGESTI (s.f.). *Caso de éxito: Recolección Selectiva y Valorización de Residuos Sólidos en comunidades de Pérez Zeledón [Archivo PDF]*. http://municipal.cegesti.org/casosexito/recoleccion_selectiva_muni_perez_zeledon.pdf.
- Consortio Provincial de Residuos Sólidos Urbanos (2021). *Residuos Orgánicos*. Málaga, España. <https://www.consorciorsumalaga.com/5936/residuos-organicos>
- DIGARN-DEMARDS-06. [Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de Guatemala]. Compostaje de Residuos Orgánicos (Sin fines energéticos).
- Ecolur Compostaje (s.f.). *Caja Ecolur*. <https://www.ecolurcompostaje.com/>
- García, L. (2021). *Caso: COMPOST, Un Abrazo a la Madre Tierra*. Municipalidad de Guatemala [Comunicación personal]
- Grima, A., Masanas, M., Nohales, G., Vila, M., Amlinger, F., Puig Ventosa, I., Jofra Sora, M., Giró, F., Muñoz Llobera, J. (2013). *Gestión de biorresiduos de competencia municipal: Guía para la implantación de la recogida separada y gestión de biorresiduos de competencia municipal*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA)
- Iambiente (2019). *El compostaje comunitario, la apuesta de municipios pequeños por la sostenibilidad*. <https://iambiente.es/2019/03/el-compostaje-comunitario-la-apuesta-de-municipios-pequenos-por-la-sostenibilidad/>

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) (2016). *Guía Práctica para la Formulación de Planes Municipales para la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos*. Gobierno de la República de Guatemala.

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) (2018). *Guía de Identificación Gráfica de los Residuos Sólidos Comunes*. Gobierno de la República de Guatemala.

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM) (2009). *Manual de compostaje*. Secretaría General Técnica. Gobierno de España

Plana González-Sierra, R., Arizmendiarieta, J., Puyuelo Sánchez, B., Irigoien Iriarte, I., Nohales Duarte, G (2019). *Guía práctica para el compostaje comunitario en el País Vasco*. Inhobe S.A.

Residuos Profesional (2020). *Primer sistema de compostaje comunitario con identificación de usuario*. <https://www.residuosprofesional.com/compostaje-comunitario-identificacion-usuario/>

Román, P., Marfínez, MM., Pantoja, A (2013) *Manual de compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO): Oficina Regional para América Latina y el Caribe.

United Nations Environment Programme (UNEP) and Climate and Clean Air Coalition (CCAC) (2021). *Global Methane Assessment: Benefits and Costs of Mitigating Methane Emissions*. Nairobi: United Nations Environment Programme.

NDC
PARTNERSHIP

IN CONTRIBUTION TO
THE NDC PARTNERSHIP



based on a decision of the German Bundestag



NDC PARTNERSHIP

IN CONTRIBUTION TO THE NDC PARTNERSHIP



MINISTRY OF
FOREIGN AFFAIRS
OF DENMARK



Federal Ministry
for Economic Cooperation
and Development



Supported by:

Federal Ministry
for the Environment, Nature Conservation
and Nuclear Safety



Ministry of Foreign Affairs of the
Netherlands

based on a decision of the German Bundestag



Norwegian Ministry
of Climate and Environment



Norwegian Ministry
of Foreign Affairs



Government Offices of Sweden
Ministry of the Environment



UK Government

