



Alternativas
para el buen manejo
de **residuos**
sólidos orgánicos
en plazas de
mercado



Universidad
Mariana

Claudia Viviana Vargas Vallejos
Camilo Andrés Melo Cisneros
María Margarita Portilla González



Editorial
UNIMAR

Colección
Formación



Universidad
Mariana



Editorial
UNIMAR

San Juan de Pasto

2022

Alternativas
para el buen manejo
de **residuos**
sólidos orgánicos
en plazas de
mercado



Claudia Viviana Vargas Vallejos
Camilo Andrés Melo Cisneros
María Margarita Portilla González

Alternativas para el buen manejo de residuos sólidos orgánicos en plazas de mercado

Autores: Claudia Viviana Vargas Vallejos, Camilo Andrés Melo Cisneros, María Margarita Portilla González

e-ISBN: 978-628-7548-02-2

Páginas: 113

Editora: Luz Elida Vera Hernández

Fecha de publicación: 2022

Existencias

Libro Biblioteca Nacional de Colombia – Libros

Alternativas para el buen manejo de residuos sólidos orgánicos en plazas de mercado

Autores: Claudia Viviana Vargas Vallejos, Camilo Andrés Melo Cisneros, María Margarita Portilla González

Entidad editora: Editorial UNIMAR, Universidad Mariana

Fecha de publicación: 2022

Páginas: 113

e-ISBN: 978-628-7548-02-2

Edición: Primera

Formato: Digital

Colección: Colección formación

Materia: Investigación

Materia tópico: Gestión de residuos

Palabras clave: residuos, buen manejo, orgánico, plazas de mercado

País/Ciudad: Colombia / San Juan de Pasto

Idioma: Español

Menciones: Ninguna

Visibilidad: Página web Editorial UNIMAR, Universidad Mariana

Tipo de contenido: Alternativas para el buen manejo de residuos sólidos orgánicos en plazas de mercado

© Editorial UNIMAR, Universidad Mariana

© Claudia Viviana Vargas Vallejos

© Camilo Andrés Melo Cisneros

© María Margarita Portilla González

© Claudia Viviana Vargas Vallejos-Prologuista

© Camilo Andrés Melo Cisneros-Prologuista

Universidad Mariana

Hna. **Aylem del Carmen Yela Romo** f.m.i.
Rectora

Judy Basante Castro

Vicerrectora Académica

Ángela María Cárdenas Ortega

Directora de Investigaciones

Luz Elida Vera Hernández

Directora Editorial UNIMAR

Pares Evaluadores

Dr. Jonathan Soto Paz

Universidad Industrial de Santander, Colombia

MSc. John Hermogenes Suárez Gélvez

Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia

Editorial UNIMAR

Luz Elida Vera Hernández

Directora Editorial UNIMAR

Ana Cristina Chávez López

Corrección de Estilo

Johan Esteban Botina Portillo

Diseño y Diagramación

Correspondencia:

Editorial UNIMAR, Universidad Mariana

San Juan de Pasto, Nariño, Colombia, Calle 18 No. 34-104,

Tel: 7244460 Ext. 185

E-mail: editorialunimar@umariana.edu.co

Depósito Digital

Biblioteca Nacional de Colombia, Grupo Procesos Técnicos, Calle 24, No. 5-60 Bogotá D.C., Colombia.

Biblioteca Hna. Elisabeth Guerrero N. f.m.i. Calle 18 No. 34-104 Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Colombia.

Disponible en: <https://libros.umariana.edu.co/index.php/editorialunimar/catalog/book/158>

Cítese como: Vargas-Vallejos, C. V., Melo-Cisneros, C. A. y Portilla-González, M. M. (2022). *Alternativas para el buen manejo de residuos sólidos orgánicos en plazas de mercado*. Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.158>



Universidad Mariana

Las opiniones contenidas en el presente libro no comprometen a la Editorial UNIMAR ni a la Universidad Mariana, puesto que son responsabilidad única y exclusiva de los autores; de igual manera, ellos han declarado que en su totalidad es producción intelectual propia, en donde aquella información tomada de otras publicaciones o fuentes, propiedad de otros autores, está debidamente citada y referenciada, tanto en el desarrollo del documento como en las secciones respectivas a la bibliografía.

El material de este libro puede ser reproducido sin autorización para uso personal o en el aula de clase, siempre y cuando se mencione como fuente su título, autores y editorial. Para la reproducción con cualquier otro fin es necesaria la autorización de la Editorial UNIMAR de la Universidad Mariana.



Este libro está bajo licencia internacional [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)





Dedicatoria

Principalmente, a Dios, quien fue el guía de mi camino, por llenarme de salud, vida y fuerza para seguir adelante, poder alcanzar y cumplir todos mis proyectos y metas.

De manera muy especial, también, a mis padres José Hernando Vargas Jiménez y Carmen Doris Vallejos, dado que ellos fueron el principal apoyo para mi crecimiento y construcción de mi vida profesional.

A mi compañero Camilo Melo, porque con él realice este proyecto. Gracias por los buenos y los malos momentos, porque todo este proceso fortaleció nuestra amistad.

Claudia Viviana Vargas Vallejos

Dedico este proyecto a la vida, porque me guió por el camino correcto para mejorar como ser humano y me ayudó a enfrentar y superar los más grandes retos que jamás he tenido y que me han fortalecido.

A mis padres, Maritza Cisneros y Carlos Melo, a mi hermanita María José, por su gran amor y apoyo incondicional para poder seguir adelante; asimismo, por brindarme todo lo necesario para dar este gran paso y por estar ahí cuando más los he necesitado.

A mi compañera y amiga Claudia Vargas, que siempre ha sido una excelente persona y ha demostrado ser una amiga incondicional para mí, así como también, por brindarme sus fuerzas y su característico optimismo en los momentos más adversos.

Camilo Andrés Melo Cisneros



Agradecimientos

A la Universidad Mariana, por el apoyo y sus indispensables recursos académicos.

A la Alcaldía Municipal de Yacuanquer, por su acompañamiento y por permitirnos desarrollar el trabajo de investigación en las instalaciones de la plaza de mercado municipal.

A la Empresa de Servicios Públicos de Yacuanquer, EMPAAAYAC, por respaldarnos en el proceso de investigación, así como también por prestarnos sus servicios, que nos permitieron alcanzar todos los objetivos.

A nuestros padres, porque con su valiosa ayuda, apoyo y amor incondicional, nos permitieron continuar sin rendirnos.

A nuestros jurados encargados de evaluar el proyecto de investigación, Tatiana Mañunga y Jaime Efrén Insuasty Enríquez, por alentarnos a mejorar en nuestro proceso de aprendizaje.

A nuestra docente y asesora María Margarita Portilla González, quien nos ha acompañado y dedicado su valioso apoyo y tiempo para guiarnos en este proceso tan maravilloso de la investigación y, también, porque nos ha indicado el verdadero valor de un ingeniero ambiental, a través de su ejemplo.



Prólogo



La gestión inadecuada de los Residuos Sólidos Orgánicos (RSO) es un problema que puede agravar a través de los años, promoviendo la degradación de los recursos naturales como la fauna, la flora, el aire, el agua y el suelo, alterando como consecuencia, las condiciones de salud y el entorno donde son desarrolladas las actividades diarias, producto del crecimiento de la población y a un alto nivel de producción y consumo (Pineda, 2017).

El nivel de generación de estos residuos ha incrementado con el tiempo; actualmente, en el mundo, son producidas más de trescientos millones de toneladas anuales de Residuos Sólidos Municipales (RSM) y, aproximadamente, el 46 % de estos son aprovechados en países como China, Canadá y Alemania, que los reutilizan en, cerca del 27 %, 30 % y 47 %, respectivamente (Gómez et al., 2019). De acuerdo con el Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2016), en Colombia se genera en promedio, 11.6 millones de toneladas de residuos sólidos (RS) anuales, de los cuales el 17 % son reciclados. Sin embargo, partiendo del volumen restante de residuos que no son reutilizados anualmente, el 97,7 % es dispuesto adecuadamente en sistemas autorizados como plantas de tratamiento, celdas de contención o rellenos sanitarios y, el 2,3 % sobrante, es depositado en sitios no autorizados, como en las celdas transitorias o a cielo abierto (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, SSPD, 2019).

La Corporación Autónoma Regional de Nariño (Corponariño, 2016) afirma que, anualmente, en el departamento de Nariño se está originando alrededor de 198,277 toneladas de RS ordinarios, de los cuales 193,470 toneladas son dispuestas en los rellenos sanitarios y, 4,808 toneladas son depositadas en sistemas no autorizados, generalmente a cielo abierto. Considerando la totalidad de los RS ordinarios generados en el departamento, se extrae y aprovecha 8,591 toneladas (4,44 %) de RSM, lo cual deja un 95,56 % desaprovechado.

Esta situación está relacionada con la escasa implementación de alternativas para el manejo y transformación de los RSM, que pueden ser tratados, como son los RSO que se genera en los centros de comercialización de alimentos, como las plazas de mercado de Nariño, donde se destina la mayoría de los residuos orgánicos a los distintos rellenos sanitarios. Esta práctica representa una disminución del presupuesto municipal, por la

prestación del servicio de recolección, transporte y disposición final, lo que implica, eventualmente, la disminución de la vida útil de los vertederos, así como también, la fortuita generación de elementos contaminantes, como lixiviados, emisión de olores ofensivos, gases de efecto invernadero (GEI), proliferación de vectores que afectan la salud de las personas (Salamanca, 2014) e, impactos ambientales muy significativos como, la eutrofización y la emisión de CO₂ (García y Miranda, citados por Rosero et al., 2020).

A raíz de estas circunstancias, se elaboró el presente manual, cuyo objetivo es orientar a toda la comunidad comerciante y usuaria de estos lugares, de forma que se logre ampliar el conocimiento de dos opciones de bajo costo, que permitan la separación, transformación y aprovechamiento de los RSO generados por la comercialización de productos agrícolas en las plazas de mercado, planteando ejes temáticos relacionados con el uso de los elementos de protección personal, fuentes generadoras de residuos, separación en la fuente, economía circular y consumo responsable, estrategias para el aprovechamiento de los RSO: a) el lombricompostaje y compostaje de pilas por volteo y, finalmente, b) recomendaciones para establecer una planta de tratamiento de residuos orgánicos.

Asimismo, se busca que los residuos orgánicos generados en las plazas de mercado municipales obtengan un valor agregado y den origen a economías de pequeña escala que promuevan la reutilización y el aprovechamiento constante de estos recursos, manteniéndolos en el ciclo productivo el mayor tiempo posible, reduciendo su generación y minimizando la extracción desmedida de los recursos naturales. Es pertinente añadir que, estas prácticas pueden ser replicadas en los municipios, pero, en especial, en los de sexta categoría.

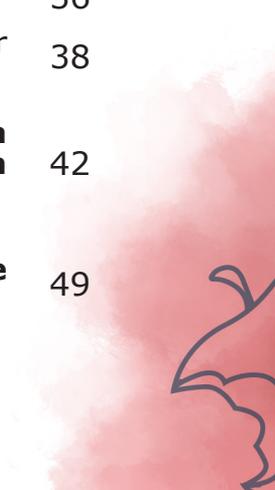
De este modo, se procura dar cumplimiento al enfoque de la Política Nacional para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos del Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES), el documento 3874, para avanzar gradualmente hacia una economía circular y contribuir con el desarrollo sostenible, la adaptación y mitigación del cambio climático. Igualmente, se hace un aporte a los objetivos de desarrollo sostenible 12, 11 y 8 que son: 1) producción y consumos responsables; 2) ciudades y comunidades sostenibles, y 3) trabajo decente y crecimiento económico.

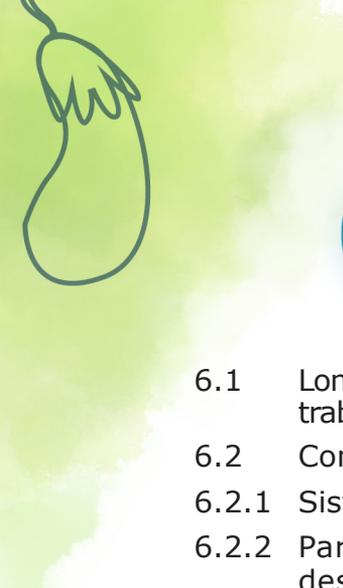
Claudia Viviana Vargas Vallejos
Camilo Andrés Melo Cisneros



Contenido

Prólogo	9
Introducción	16
Normatividad	18
Capítulo 1. Elementos de protección personal	20
1.1 Protección de rostro	20
1.2 Protección respiratoria	21
1.3 Protección de brazos y manos	21
1.4 Protección de pies y piernas	21
1.5 Protección corporal	21
1.6 Manejo de los residuos con COVID-19 y Protocolos de bioseguridad	22
Capítulo 2. Fuentes generadoras de residuos sólidos municipales	26
Capítulo 3. Separación de los residuos sólidos municipales en la fuente	28
3.1 Bolsa y caneca de color verde	28
3.2 Bolsa y caneca de color blanco	29
3.3 Bolsa y caneca de color negro	29
Capítulo 4. Economía circular, gestión integral de residuos sólidos municipales y consumo responsable	31
4.1 Economía circular, como una alternativa sostenible y de valor	31
4.2 Gestión integral de los residuos sólidos municipales	36
4.3 El consumo responsable, como estrategia para conservar los recursos naturales	38
Capítulo 5. Metodología de selección de alternativas para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos en plazas de mercado	42
Capítulo 6. Alternativas para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos	49





Contenido

6.1	Lombricompostaje: pasos para establecer el área de trabajo a pequeña escala	49
6.2	Compostaje de Pila por volteo	74
6.2.1	Sistemas de compostaje	75
6.2.2	Parámetros químicos a tomar en cuenta para el desarrollo del compostaje	80
6.2.3	Parámetros físicos a tomar en cuenta para el desarrollo del compostaje	82
6.2.4	Parámetros microbiológicos a considerar en el compostaje	84
6.2.5	Determinación del área requerida para el compostaje de pilas por volteo	85
	Capítulo 7. Pasos para el establecimiento de una planta de compostaje con ayuda de las alcaldías municipales y las empresas de servicios públicos	101
	Capítulo 8. Ideas para realizar plantas de compostaje para el tratamiento de residuos orgánicos provenientes de plazas de mercado	103
8.1	Consideraciones para la infraestructura de la planta	104
8.2	Recomendaciones para la Fase de Diseño	104
	Glosario	105
	Referencias	107



Lista de Figuras



Figura 1	Elementos de protección personal para la recolección de residuos	21
Figura 2	Charla educativa sobre el uso de elementos de protección personal	22
Figura 3	Sitios visibles para la recolección de todos los residuos	23
Figura 4	Recolección de residuos sólidos	23
Figura 5	Elementos de protección personal	24
Figura 6	Lavado de manos	25
Figura 7	Bolsas plásticas y contenedor de color verde para la recolección de residuos sólidos orgánicos	28
Figura 8	Bolsa plástica de color blanco para la recolección de residuos sólidos municipales aprovechables	29
Figura 9	Bolsa plástica y contenedor negro para la recolección de residuos sólidos municipales que <u>no</u> son aprovechables	30
Figura 10	Contenedores de color rojo para situar todos los residuos sólidos municipales peligrosos	30
Figura 11	Esquema de la Jerarquía en la Gestión de los Residuos	37
Figura 12	Lombriz roja californiana - Eisenia Foetida	50
Figura 13	Delimitación y adecuación del área de trabajo para el lombricompostaje	51
Figura 14	Canastillas plásticas útiles para situar alimentos y también el lombricompostaje	52
Figura 15	Lechos o camas para el lombricompostaje contruidos con madera	53
Figura 16	Contenedor tres compartimentos para la separación de los tres tipos de residuos sólidos	55
Figura 17	Proceso de recuperación de RSO en bolsas verdes en la plaza de mercado	57
Figura 18	Clasificación y selección de los RSO necesarios en bolsas plásticas verdes	59
Figura 19	Residuos sólidos orgánicos después del proceso de triturado y picado: masa gris homogénea	60
Figura 20	Compostaje a partir de residuos sólidos orgánicos	75



Lista de Figuras



Figura 21	Parámetros fisicoquímicos a tener en cuenta en el compostaje	80
Figura 22	Humedad óptima en el material orgánico a compostar	83
Figura 23	Color óptimo del compost	84
Figura 24	Operaciones unitarias en el transcurso del procesamiento del compost	86
Figura 25	Delimitación y adecuación del área de trabajo para el compostaje	87
Figura 26	Adecuación del terreno para efectuar el compostaje de pila por volteo	88
Figura 27	Construcción de pilas para la ejecución del proceso de compostaje de pila por volteo	89
Figura 28	Recolección de RSO para la elaboración del compostaje de pila por volteo	90
Figura 29	Clasificación de los residuos sólidos de las plazas de acuerdo al nuevo código de colores	91
Figura 30	Picado de los RSO de forma manual para el compostaje de pila por volteo	92
Figura 31	Excavado para el dimensionamiento de pilas de compostaje	93
Figura 32	Deposición por capas de material orgánico en pilas	93
Figura 33	Material orgánico a compostar	94
Figura 34	Verificación del porcentaje de humedad	95
Figura 35	Volteo de compost de manera manual	96
Figura 36	Medición del porcentaje de humedad en el material orgánico a compostar	97
Figura 37	Control de temperatura en el material orgánico a compostar	98
Figura 38	Tamizado de compostaje	99
Figura 39	Compostaje como producto final	100





Lista de Tablas



Tabla 1	Descripción de la normatividad relacionada con la gestión de los residuos sólidos	18
Tabla 2	Clasificación de los RSM según su fuente generadora	26
Tabla 3	Cuadro comparativo entre economía circular y economía lineal	33
Tabla 4	Cinco recomendaciones para contribuir al consumo responsable	40
Tabla 5	Matriz 1, definición y evaluación de los criterios de factibilidad con respectivo peso (A)	44
Tabla 6	Matriz 2, definición y evaluación de los criterios de viabilidad con su respectivo peso (A)	46
Tabla 7	Matriz 3, procedimiento para clasificar cada alternativa de acuerdo a su viabilidad y factibilidad total	47
Tabla 8	Problemas frecuentes en el compostaje y las soluciones más pertinentes	65
Tabla 9	Cantidad de lombrices a manejar de acuerdo al tipo de explotación	66
Tabla 10	Parámetros a considerar en el alimento de la lombriz roja californiana	72
Tabla 11	Clasificación de sistemas de compostaje, dependiendo de su movimiento	76
Tabla 12	Descripción de las cuatro etapas que se requiere para elaborar el compostaje	77
Tabla 13	Parámetros permisibles para el compostaje según el Real Decreto 824/2005	79
Tabla 14	Relación entre la temperatura y las cuatro etapas desarrolladas en el compostaje	82
Tabla 15	Índices de calidad microbiológica del compostaje	85





Introducción

En el mundo se produce más de trescientos millones de toneladas anuales de RSM de los cuales, según Gómez et al., (2019) aproximadamente el 46 % son aprovechados; además, en países como China, Canadá y Alemania, son reutilizados cerca del 27 %, 30 % y 47 % respectivamente. En Colombia, anualmente, se genera en promedio, 11,6 millones de toneladas de RSM, de los cuales se aprovecha únicamente el 17 % (DNP, 2016). Esto indica que, la mayoría de los residuos municipales no son aprovechados y, en virtud de ello, las estadísticas presentadas por la SSPD (2020) indican que, en el año 2019 se dispuso alrededor de 11,5 millones de toneladas de RSM, de las cuales el 98,32 % fueron dispuestas adecuadamente en sistemas autorizados, mayoritariamente en los rellenos sanitarios y, el 1,68 % faltante, se llevó a cielo abierto.

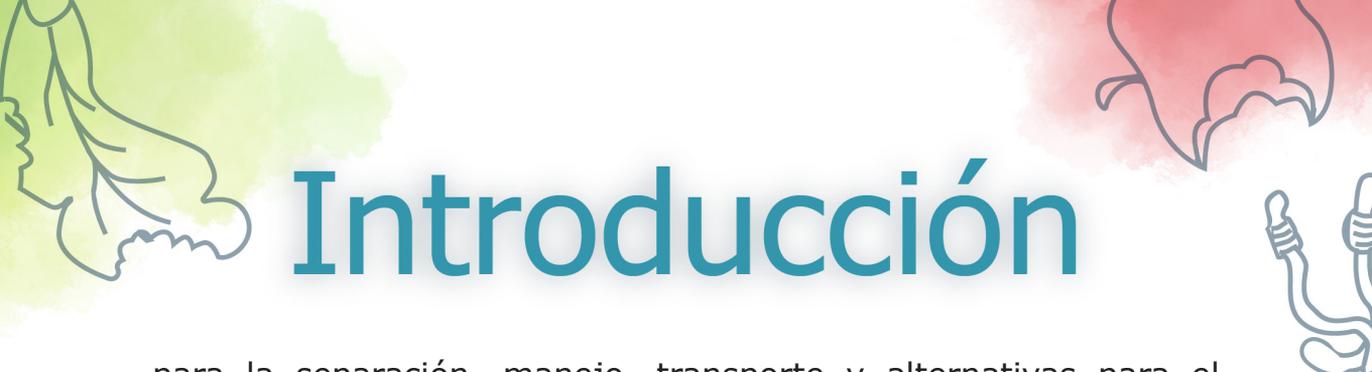
La situación expuesta está relacionada con el uso inadecuado de los RSM aprovechables generados en cada departamento, en donde se debe desarrollar políticas para la gestión integral de los mismos. Esto se evidencia en los datos del Plan de Gestión Ambiental Regional de Corponariño (2016), revelando que solo el 4,44 % de los RSM son aprovechados por 16 municipios; esto implica que, los RSO originados en las plazas de mercado del departamento, sean desperdiciados en enormes cantidades cada año, lo que se traduce en una gran pérdida de ingresos económicos que pueden ser empleados por los municipios o por los mismos comerciantes de las plazas de mercado, al recurrir a los residuos orgánicos para producir enmiendas orgánicas o abonos para la fertilización.



Para reforzar esta idea, según la SSPD (citada por Monterrosa, 2018) entre el 60 y el 70 % de los RS generados en el país y en cada departamento, pueden ser utilizados en estrategias de aprovechamiento como el compostaje y el lombricompostaje, dada la cantidad abundante y continua de este recurso, pues, a través de un estudio de los planes de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS) del país, el CONPES (2016) ha determinado en su documento 3874 que, más del 60 % del volumen total de residuos originados en las ciudades, corresponde a RSO.



Con la finalidad de contribuir a la mitigación de esta problemática, se elabora el presente manual, que aborda una serie de ocho capítulos, donde se menciona recomendaciones y pasos a seguir



Introducción

para la separación, manejo, transporte y alternativas para el aprovechamiento de los RSO generados en la plaza de mercado. Para este fin, se describe temas como: el uso de los elementos de protección personal para toda persona o entidad prestadora de servicios públicos de aseo que realice los procesos de recolección y recuperación de los RSM; la separación en la fuente, según la Resolución 2184 de 2019; la importancia que tiene el consumo responsable y la economía circular frente al sistema de la economía lineal, la cual se rige en la extracción de los recursos naturales, elaborando productos con materiales vírgenes y desaprovechando los residuos, como un recurso que puede reutilizarse para fabricar nuevos productos; sugerencias para el establecimiento de una planta de tratamiento de RSO, considerando su infraestructura y las fases para su diseño.

Del mismo modo, en este documento se menciona la implementación de técnicas para el manejo y transformación de RSO como el lombricompostaje y el compostaje de pila por volteo, para el aprovechamiento y valorización de los residuos generados en las plazas de mercado establecidas en los municipios y, especialmente, aquellos que pertenecen a sexta categoría, conforme con el artículo 7 de la Ley 1551 de 2012, que menciona la categorización de los municipios y distritos, contemplando la población, los ingresos corrientes y de libre destinación (ICLD), la importancia económica y la situación geográfica del municipio.



La implementación de estas alternativas se traduce en la obtención de productos rentables, como la carne de lombriz, los líquidos orgánicos y, por supuesto, el compost y el vermicompostaje. Es preciso señalar que, dependiendo de la técnica y el manejo que se les dé a los RSO, la calidad del producto final, es decir, las propiedades fisicoquímicas, biológicas y nutritivas del compost y el vermicompostaje pueden variar, de modo que también cambia su valor agrícola y agronómico, siendo catalogados como enmienda o como abono para fertilización.





Normatividad

Para el manejo apropiado de los RSO en las plazas de mercado y la implementación de las distintas alternativas que procuren dar una solución a esta problemática, es indispensable apoyarse en la siguiente normatividad:

Tabla 1

Descripción de la normatividad relacionada con la gestión de los residuos sólidos

Política o Norma	Descripción
Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos (CONPES, 2016) Documento 3874.	Desarrolla la política nacional para la gestión integral de RS, mediante cuatro ejes: el primero, encaminado a prevenir la generación de RS; el segundo, en la minimización de su disposición final; el tercero, en su reutilización y aprovechamiento; el cuarto, en evitar la producción de los GEI.
Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2005).	Especifica todos los aspectos con relación a la política pública ambiental, para mitigar la producción de los residuos o desechos peligrosos e incentivar el manejo ambientalmente adecuado de los mismos, con el fin de minimizar impactos negativos en la salud del ser humano y, favorecer el bienestar del medio ambiente, contribuyendo así al desarrollo sostenible.
Leyes	Descripción
Decreto Ley 2811 de 1974 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.	Menciona todo lo relacionado con los recursos renovables y el cuidado del medio ambiente, al cual se considera que se debe preservar y manejar adecuadamente, porque es de interés particular y social.
Decretos	Descripción
Decreto 1505 de 2003 de la Presidencia de la República de Colombia; específicamente, el Ministerio del Medio Ambiente.	Aquí se especifica todas las condiciones para manejar integralmente los RSM y se incluye nuevamente en la comercialización de todos los productos.



Resoluciones	Descripción
Resolución 0330 de 2017 del Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS).	Estipula los requisitos técnicos que se debe cumplir en las etapas de operación, mantenimiento y rehabilitación de los servicios públicos domiciliarios, como el alcantarillado, acueducto y aseo.
Resolución 777 de 2021 del Ministerio de Salud y Protección Social.	Donde se menciona las normas para el desarrollo social, económico y del Estado y, también, se propone el protocolo de bioseguridad para evitar contagios de COVID-19.
Resolución 2184 de 2019 del Departamento de Derecho del Medio Ambiente.	Se detalla el nuevo código de colores para la separación idónea de los RSM desde su origen y menciona la importancia del uso apropiado para las bolsas plásticas.
Resolución 754 de 2021 del Ministerio de Salud y Protección Social.	Se presenta todas las directrices y procedimientos para la tramitación y renovación de la Licencia de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST).

Capítulo 1

Elementos de protección personal

Son equipos, elementos o dispositivos que se debe emplear para prevenir riesgos como enfermedades o lesiones al personal del área laboral. En este sentido, las ventajas que se obtiene al implementar los Elementos de Protección Personal (EPP) son: *i)* proporcionar una barrera entre un determinado riesgo y la persona; *ii)* mejorar la protección de la integridad física del trabajador y, *iii)* disminuir la gravedad de las consecuencias de un posible accidente sufrido por el trabajador (Organización Mundial de la Salud, OMS, 2020).

Considerando lo anterior, la Ley 9 de 1979 en el artículo 85, estipula que todos los trabajadores están obligados a:

- a) Dar cumplimiento a todos los criterios de esta ley y también al reglamento de medicina, seguridad e higiene en el trabajo.
- b) Utilizar y cuidar adecuadamente todo tipo de instrumentos, con el fin de controlar o mitigar riesgos; asimismo, para los EPP que deben ser preservados, teniendo en cuenta su correspondiente orden y aseo.
- c) Colaborar y participar en toda actividad relacionada con la conservación de las medidas de prevención y mitigación de aquellos riesgos para la salud en el ambiente laboral.

En la Resolución 2400 del 22 de mayo de 1979, se clasifica los EPP que se debe portar de acuerdo con los riesgos a los que se esté expuesto y según la naturaleza del trabajo que se esté realizando; en este caso, se habla de la actividad adecuada para la recolección de residuos. Esta clasificación es la siguiente:

1.1 Protección de rostro

- **Gafas:** evita el riesgo de contacto con sustancias líquidas a los ojos, tales como, manejo de sustancias corrosivas y ácidas.
- **Máscara o careta visor para riesgo biológico:** están diseñadas para minimizar la contaminación en el rostro y cuello y están posicionadas por encima de las gafas panorámicas y tapabocas.



1.2 Protección respiratoria

- **Tapabocas:** es un elemento muy adecuado para proteger y controlar la inhalación de contaminantes que provengan del ambiente; resguarda la nariz y la boca.

1.3 Protección de brazos y manos

- **Guantes:** son utilizados para realizar labores diversas de limpieza, a fin de conservar las manos limpias y protegerlas de sustancias corrosivas o tóxicas para la piel.

1.4 Protección de pies y piernas

- **Zapatos antideslizantes con tacón:** diseñados para proteger de lesiones provocadas por objetos pesados o afilados, derrames de líquidos o ácidos, aceite, calor, zonas de trabajo resbaladizas y electricidad.

1.5 Protección corporal

- **Overol impermeable:** puede ser empleado sobre cualquier traje cuando se necesite una protección superior contra el agua (Figura 1).

Figura 1

Elementos de protección personal para la recolección de residuos



Fuente: Pexels, 2022.



1.6 Manejo de los residuos con COVID-19 y Protocolos de bioseguridad

Teniendo en cuenta la situación de salud pública debida al virus COVID-19 que se desarrolló desde el año 2019, se ha manejado distintas medidas relacionadas con la manipulación de los RSM que estén en contacto directo con las personas que estén presentando síntomas como fiebre, tos, cansancio, pérdida del gusto o del olfato, entre otros. En este sentido, se implementó la Resolución 777 de 2021, donde se da recomendaciones para el manejo adecuado y la disposición de los residuos contaminados, como el tapabocas y los guantes desechables:

1. Se debe conocer los lugares del trabajo donde se está generando todos los residuos.
2. Dar a conocer a todo trabajador, las medidas para la separación de los RSM, cumpliendo con los protocolos de bioseguridad (Figura 2).

Figura 2

Charla educativa sobre el uso de elementos de protección personal



3. Implementar y ubicar todos los contenedores y bolsas plásticas en sitios visibles para recolectar todos los RS, como se presenta en la Figura 3.



Figura 3

Sitios visibles para la recolección de todos los residuos



4. Aquellos residuos como los tapabocas y los guantes deben ser depositados en doble bolsa de color negro y, además, es necesario que se mantenga cerrada todo el tiempo por las personas que realicen el reciclaje. De igual manera, estas bolsas negras deben estar separadas de los residuos reciclables que van en los recipientes blancos y verdes (dirigirse al Capítulo 3 para mayor entendimiento).
5. Se debe asegurar que se haga la recolección continua de estos residuos y garantizar su almacenamiento (Figura 4).

Figura 4

Recolección de residuos sólidos



Fuente: Pexels, 2022.



6. Es importante efectuar la desinfección y limpieza pertinentes de los contenedores baldes del aseo.
7. Mantener en las mejores condiciones, tanto las bolsas plásticas como los contenedores del aseo, para que sean recolectados de la mejor manera.
8. Aquellos trabajadores que realicen la recolección de todos los RS, deben tener todos los EPP (Figura 5).

Figura 5

Elementos de protección personal



Fuente: Pexels, 2021.

9. Una vez que se finalice el trabajo, es indispensable hacer una desinfección de los EPP y todos los objetos y herramientas que se utilizó para manipular los RS.
10. Los trabajadores que estén a cargo de realizar toda actividad relacionada con la desinfección y limpieza, deben lavar adecuadamente sus manos al terminar todas sus labores (Figura 6).



Figura 6

Lavado de manos



Fuente: Pexels, 2022.



Fuente: Pexels, 2022.

Capítulo 2

Fuentes generadoras de residuos sólidos municipales

Todos los elementos que son desechados, tienen un determinado origen; es decir, son generados en distintos lugares. Sin embargo, los RSM han sido clasificados según su fuente de generación y, la Guía Técnica Colombiana GTC - 24 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, 2009), establece las distintas fuentes que generan residuos a nivel institucional, doméstico, comercial, industrial y de servicios, con el propósito de facilitar su aprovechamiento. La Tabla 2 presenta los tipos de RS acorde con su fuente de generación.

Tabla 2

Clasificación de los RSM según su fuente generadora

Tipo de Residuos	Ilustración
<p>Comercial: generados en establecimientos como centros comerciales o, en este caso, en plazas de mercado, donde hay compra y venta de diferentes productos como: alimentos, ropa, objetos electrónicos, entre otros.</p>	<p data-bbox="738 1005 1053 1034">Residuos comerciales</p> 
<p>Domésticos: generados en los hogares, por actividades caseras; algunos de ellos que se puede identificar son: sobras de comida, escombros, ropa, papel, cartón, entre otros.</p>	<p data-bbox="742 1393 1049 1422">Residuos domésticos</p> 

Fuente: Pexels, 2021.



Residuos industriales

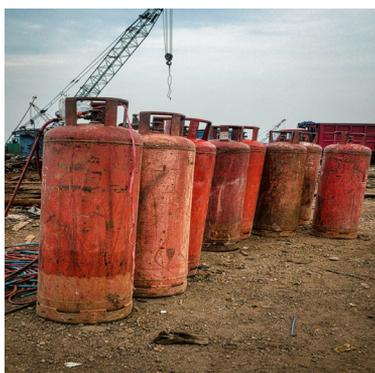
Institucional: generados en instituciones gubernamentales, educativas, militares, religiosas, universitarias, centros de salud, entre otras, como se puede observar en la ilustración.



Fuente: Wunderstock, 2021.

Residuos industriales tóxicos

Industrial: generados en distintas actividades industriales como la minería, química, energética, biológica, etc. Generalmente, estos residuos pueden ser peligrosos o tóxicos, los cuales pueden causar impactos negativos en la salud de los seres humanos y al medio ambiente.



Fuente: Pexels, 2021.

Residuos de servicios

Servicios: generados por establecimientos encargados de la recolección y limpieza de residuos producidos en un municipio, ciudad o departamento, como por ejemplo, la poda y barrido de áreas públicas.



Fuente: Pexels, 2021.

Capítulo 3

Separación de los residuos sólidos municipales en la fuente

Según la Resolución 2184 de 2019, se argumenta que se debe considerar el nuevo código de colores para la separación de los RSM en la fuente y se da las siguientes indicaciones:

3.1 Bolsa y Caneca de color verde

Los residuos aprovechables de origen orgánico, como en el caso de frutas y verduras, cáscaras de cualquier tipo de alimento bajo procesos de biodegradación, residuos de poda y jardín, como ramas, hojas, hierbas, entre otros, fermentables, deben ser dispuestos en la bolsa de color verde, como se muestra en la Figura 7.

Figura 7

Bolsas plásticas y contenedor de color verde para la recolección de residuos sólidos orgánicos





3.2 Bolsa y Caneca de color blanco

En la cual se debe depositar todos los residuos aprovechables, como: papel, cartón, vidrio, botellas plásticas, tapas de botellas e, incluso, metales que no hayan entrado en contacto con sobras de comida, hidrocarburos, agroquímicos o cualquier sustancia corrosiva (Figura 8).

Figura 8

Bolsa plástica de color blanco para la recolección de residuos sólidos municipales aprovechables



3.3 Bolsas y Caneca de color negro

De acuerdo con la normatividad, en estos recipientes se debe disponer todos los residuos no-aprovechables; de este modo, aquí se encontrará elementos como los portacomidas desechables, pilas, medicamentos, aceites, bombillas, comida preparada o cualquier tipo de papel, cartón, plástico o metales que puedan estar contaminados con agroquímicos, hidrocarburos, sobrantes de comida, fluidos corporales, como es el caso del papel higiénico, papel metálico, servilletas, guantes, tapabocas, así como también, los residuos con COVID-19 (Figura 9).



Figura 9

Bolsa plástica y contenedor negro para la recolección de residuos sólidos municipales que no son aprovechables



Nota importante: las bolsas y canecas de color rojo, a pesar de no ser mencionadas en el nuevo código de colores, son empleadas para depositar todos los residuos peligrosos, tales como: químicos de laboratorios, medicamentos vencidos, cadáveres de animales y elementos que han entrado en contacto con bacterias, virus o microorganismos patógenos, materiales corto-punzantes como agujas, limas, cuchillas, entre otros (Figura 10). Al respecto, cabe decir que, este tipo de contenedores rojos se maneja exclusivamente en entidades de salud, como, por ejemplo, en los centros hospitalarios.

Figura 10

Contenedores de color rojo para situar todos los residuos sólidos municipales peligrosos



Capítulo 4



Economía circular, gestión integral de residuos sólidos municipales y consumo responsable

4.1 Economía circular, como una alternativa sostenible y de valor



La economía circular es un concepto concebido desde el año 1989 y fue acuñado por los economistas ambientales británicos Pearce y Turner (1990). Es un término conocido con distintas denominaciones en diferentes países; por ejemplo, en Alemania se le conoce como 'Gestión de flujo de materiales'. Por otro lado, en Japón se empleó la definición de 'Sociedad de Sano Ciclo de Materiales', evidenciando entre ellos, una similitud en sus significados, donde se reemplaza el paradigma 'de la cuna a la tumba', por uno más pertinente: 'de la cuna a la cuna', siendo esta última frase diseñada por William McDonough y Michael Braungart (citados por Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, AIDIS, 2018).

La economía circular surgió inicialmente como una alternativa capaz de sustituir de forma gradual, el actual modelo de economía lineal caracterizado por extraer intensivamente los recursos naturales cada día; de esta manera, los insumos como el agua, las materias primas y el exceso de energía, son empleados para producir bienes y servicios que, posteriormente, generan residuos líquidos, sólidos y gaseosos que son devueltos al ambiente sin ningún tipo de manejo, tratamiento o aprovechamiento (Universidad Cooperativa de Colombia et al., 2015). En consecuencia, se ocasiona impactos ambientales negativos debido a la inadecuada gestión de estos recursos; adicionalmente, esto se traduce en pérdidas importantes del valor energético de las toneladas de RSM que se dispone anualmente en los rellenos sanitarios o a cielo abierto (AIDIS, 2018).



Ante esta situación, la economía circular actúa como un modelo o concepto económico que está relacionado con la sostenibilidad, cuyo objetivo es mantener el valor de los productos, reintegrándolos en el ciclo económico el mayor tiempo posible; de este modo, pretende reducir al máximo la generación de los residuos, así como también, la extracción de los recursos naturales. Asimismo,



prioriza la prevención a la gestión de residuos, reemplazando el concepto de fin de vida, con el de restauración. En este orden de ideas, el documento CONPES 3874 de 2016, por medio de la política nacional para la gestión integral de los RS, concibe a la economía circular, como una estrategia encaminada al desarrollo sostenible, que aporta a la adaptación y mitigación del cambio climático.

A través de este modelo económico sostenible se puede lograr la valorización de los residuos mediante distintos mecanismos (cabe señalar que esto aplica para residuos no peligrosos); entre ellos se contempla el ciclo técnico y el ciclo biológico. En el ciclo técnico, los recursos pueden ser recuperados y restaurados mediante el trabajo humano y la suficiente energía disponible, de modo que pueden ser reutilizados, aprovechados, tratados, etc. Por otro lado, en el ciclo biológico los recursos son regenerados por medio de procesos como el compostaje, lombricompostaje, digestión anaeróbica, biogás, entre otros, a pesar de que haya o no intervención del ser humano. Para llevar a cabo esto, la Fundación para la Economía Circular (citada por CONPES, 2016) menciona que, la economía circular debe fundamentarse en ocho principios que delimitan la lógica de su funcionamiento:

- 1. Ecoconcepción:** considera los impactos ambientales que generan los productos a lo largo de su ciclo de vida y se emplea un ecodiseño que permita un funcionamiento amigable con el ambiente, desde la concepción de los bienes.
- 2. Ecología industrial y territorial:** busca optimizar el empleo de la materia prima y la energía, acondicionando los procesos productivos.
- 3. Economía de la funcionalidad:** procura que un producto conserve su funcionalidad a través del tiempo, privilegiando la venta del servicio frente a la venta del producto.
- 4. Segundo uso:** consiste en reintegrar al circuito económico, aquellos productos que no cuentan con sus características iniciales y ya no cumplen con sus funciones preestablecidas.
- 5. Reutilización:** utilizar ciertos residuos o parte de estos que aún sean funcionales, para la creación de nuevos productos.
- 6. Reparación:** arreglar o restaurar los productos estropeados, con el propósito de continuar con su uso.
- 7. Aprovechamiento:** donde se aprovecha o transforma los materiales de los que están hechos los residuos.
- 8. Valorización (tratamiento):** se efectúa un aprovechamiento energético de aquellos residuos que no son reciclables.



En conclusión, existen diferencias evidentes entre la economía lineal (que lleva vigente más de un siglo) y la economía circular, puesto que, en el primer modelo se habla de un esquema directo insostenible que va desde la extracción de los recursos, pasa por la transformación/consumo y concluye en la disposición final de los residuos generados, sin contemplar el valor energético de los mismos. Por otro lado, el segundo modelo tiene en cuenta los impactos ambientales que se originan en todos los procesos de producción, desde la concepción hasta el uso final de un producto, procurando diseñarlos de tal modo que puedan ser aprovechados y reutilizados más adelante, reintegrándolos al ciclo económico continuamente, para conservar su valor a través del tiempo. La Tabla 3 indica las diferencias respecto al ciclo de vida de cada producto, pero en las distintas economías.

Tabla 3

Cuadro comparativo entre economía circular y economía lineal

Economía circular	Economía lineal
<p><i>Esquema de la economía circular en cuatro pasos</i></p> 	<p><i>Esquema de la economía lineal en tres pasos</i></p> 
<p>Modelo que permite la reutilización y aprovechamiento de los productos, materiales y recursos integrándolos al ciclo productivo el mayor tiempo posible otorgándoles un nuevo valor, de manera que se busca reducir la generación de residuos y la extracción excesiva de los recursos naturales. Para llevar a cabo este modelo es importante implementar estos cuatro pasos.</p>	<p>Dentro de la historia de Colombia se ha visto diferentes procesos dentro de su desarrollo económico como lo es la economía lineal, siendo éste un modelo poco efectivo para minimizar la contaminación ni para reducir la extracción intensiva de los recursos naturales o su disposición final, lo que genera impactos ambientales negativos al ambiente, así como también, problemas de salud pública. Esto sucede porque el sistema lineal no está diseñado para la reutilización, aprovechamiento o tratamiento de los RSM, puesto que se resume en tres momentos, que conlleva el desperdicio de los recursos.</p>



Fábricas para la producción de bienes Extracción de los recursos naturales



Fuente: Pixabay, 2021.

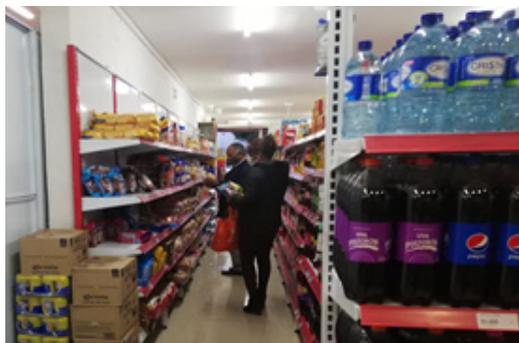


Fuente: Pexels, 2021.

1)Producción: donde se extrae la cantidad necesaria de materia prima, a partir de la cual se fabrica los productos con un ecodiseño que permite repararlos, reutilizarlos, aprovecharlos y emplearlos posteriormente, como insumos para producir nuevos bienes.

1)Extracción: esta es la primera actividad de la economía actual, donde se extrae recursos naturales renovables y no renovables para producir bienes que, en la culminación de su vida útil, son retornados al ambiente en forma de residuos, descargas o emisiones.

Compra y venta de bienes o productos Transformación de la materia prima



Fuente: Pexels, 2021.

2)Consumo: tras elaborar estos productos, se los comercializa para ser utilizados hasta que su ciclo de vida finalice; es decir, hasta agotar su función original.

2)Producción y consumo: después de extraer los recursos naturales, estos pasan por un proceso de transformación para fabricar nuevos elementos, objetos o productos que son comercializados para las distintas necesidades familiares, industriales, institucionales, de recreación, etc.



Elaboración de compost a partir de RSO



Fuente: Pexels, 2021.

3) Desecho: finalmente, una vez que se use los elementos comprados, estos son desechados o depositados en un contenedor o bolsa para la basura, el cual es transportado a los sitios de disposición final como los rellenos sanitarios, desperdiciando así el valor energético de los residuos, sin la posibilidad de repararlos o aprovecharlos, siendo estos insumos un potencial para producir nuevos productos.

3) Gestión de los residuos: una vez se genere los residuos, es posible reutilizarlos, aprovecharlos o, incluso tratarlos, con el objetivo de gestionar adecuadamente el flujo de materiales y energía, tal como los RSO, que pueden ser procesados para obtener una enmienda orgánica o un abono para fertilización.

Uso del compost para el cultivo de plantas



Fuente: Pexels, 2021.

Disposición de los RSM en los rellenos sanitarios



Fuente: Pexels, 2021.

4) Uso de residuos como recursos: inmediatamente después de gestionar los RSM, estos pueden ser comercializados nuevamente, para cumplir con la misma o diferente función. De esta manera, el producto se incorpora una vez más al flujo económico y mantiene su valor a través del tiempo.



4.2 Gestión integral de los residuos sólidos municipales

La transición gradual hacia una economía circular implica afrontar muchos retos y obstáculos importantes que no podrían ser solucionados fácilmente en los tiempos establecidos, dado que, este modelo tiene el propósito de mejorar los procesos productivos relacionados con la obtención de los insumos y la elaboración de los productos, los cuales deben estar diseñados para una prolongada durabilidad y un posterior tratamiento o reutilización. Así las cosas, para la nueva configuración de cada proceso, se debe considerar aspectos como: la optimización de los sistemas, implementación y desarrollo de nuevas tecnologías, nuevos diseños de productos y procesos, el reemplazo de materiales y, contar con la infraestructura y logística adecuadas, para una mayor eficiencia (AIDIS, 2018).

Desde esta perspectiva, la transición a un modelo económico circular depende, en gran medida, de factores económicos y sociales, donde se requiere de recursos financieros significativos, de la misma forma en que son indispensables, la articulación, cooperación y coordinación entre las autoridades locales, las instituciones de prestación del servicio público de aseo y las comunidades involucradas. La gestión integral de los RS también es un instrumento que permite hacer frente a estos retos, posibilitando el manejo y aprovechamiento de los RSM, pues a través de esta práctica se da un primer paso para el desarrollo de una economía circular en los municipios (*Environmental Services Association*, como se citó en AIDIS, 2018).

La gestión integral de los RS se entiende, por consiguiente, como una estrategia que permite gestionar los RSM desde su generación y, por medio de ésta, se estimula la reincorporación de los residuos a la cadena productiva, contribuyendo con la mitigación de problemáticas relacionadas con el ambiente (suelo, agua y aire), la salud pública y la economía (CARE Internacional-Avina, 2012). De este modo, la gestión integral de residuos (GIR) puede emplearse como una herramienta que permite el manejo de los residuos municipales y el aprovechamiento de los recursos naturales como la materia prima, el agua y la energía, garantizando su uso adecuado y eficiente (CONPES, 2016).

Cabe destacar que, la gestión sostenible de los RS procura incorporar el trabajo interdisciplinario entre los actores del municipio, donde se debe considerar actividades que faciliten el manejo de los RSM; en este caso, de las plazas de mercado, desde su generación, llevando a cabo prácticas como: la separación en la fuente, recolección, almacenamiento, transporte, aprovechamiento o tratamiento y, su disposición final. Para ello se necesita cumplir con una serie de medidas encaminadas a la reducción y gestión

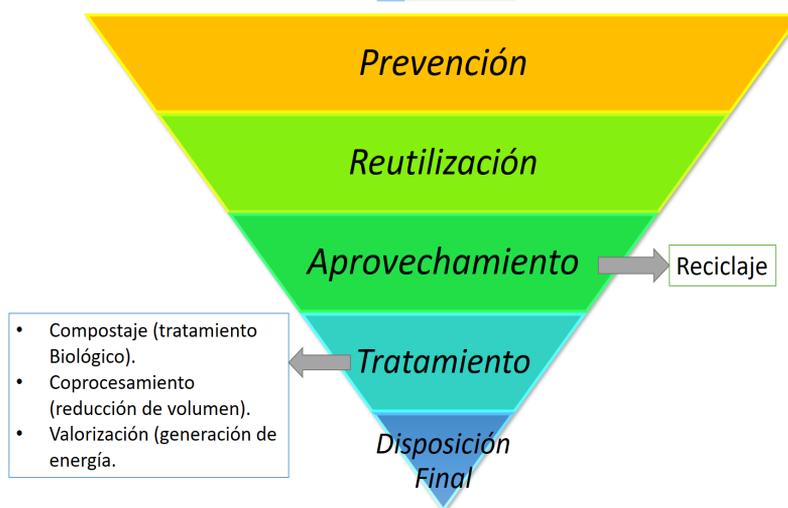


de los residuos municipales y que estén organizadas según su grado de preferencia. De acuerdo con esto, se cuenta con un esquema denominado 'Jerarquía en la Gestión de los Residuos', que establece el nivel de prioridad de cada medida, donde se procura: 1) prevenir, 2) reutilizar, 3) aprovechar, 4) tratar y, 5) disponer finalmente los RSM, dependiendo de sus propiedades y clasificación (CONPES, 2016).

La jerarquía está representada como un triángulo invertido (Figura 11) en el cual se prioriza, inicialmente, aquellas medidas encaminadas a prevenir la generación de residuos. Se continúa con la disposición de reutilización, procurando usar nuevamente el producto; de no ser así, se procede a reciclar o aprovechar los materiales que provengan de este residuo, transformándolos en elementos más útiles. Consecutivamente, si existen residuos que no pueden ser aprovechados a través del reciclaje convencional, como es el caso de los RSO producidos por las plazas de mercado, existen medidas de tratamiento que permiten retornarlos como insumos al circuito económico, utilizando las técnicas de compostaje, lombricompostaje, digestión anaeróbica, etc., favoreciendo su valorización por medio de la generación de energía y, evitando su disposición final. Por consiguiente, el último recurso que debe emplearse es la disposición final, ya sea en los rellenos sanitarios o, por incineración sin valorización energética; esto quiere decir que las medidas para la disposición final se harán siempre y cuando existan RSM que no haya podido evitarse, desviarse o recuperarse en procedimientos anteriores (CONPES, 2016).

Figura 11

Esquema de la Jerarquía en la Gestión de los Residuos



Fuente: adaptado del CONPES 3874 (2016).



4.3 El consumo responsable, como estrategia para conservar los recursos naturales

El consumo responsable se puede definir como una conducta o postura sostenible que adoptan los consumidores, al momento de realizar la compra de bienes y servicios de manera crítica y responsable. De este modo, las personas adquieren aquellos productos que verdaderamente necesitan, a fin de reducir su consumo y prevenir la generación de grandes cantidades de RSM. Al mismo tiempo, se desarrolla una conciencia social y ambiental, procurando satisfacer las necesidades de las personas, sin comprometer la disponibilidad de los recursos naturales en el futuro. En este sentido, el consumo responsable favorece el desarrollo de una economía circular a través de la gestión eficiente y el manejo adecuado de los flujos de materia prima, energía y agua.

Esta práctica surge como una alternativa para contribuir con la mitigación de los problemas relacionados con el actual modelo de consumo y producción, el cual es la base para el desarrollo económico en el mundo, a costa de generar impactos ambientales negativos, poniendo en riesgo los recursos naturales y aumentando la desigualdad social. Respecto a esta situación, en el informe de las Naciones Unidas (UN, 2018) se ha mencionado algunas cifras y hechos con relación a este tema: anualmente, 1.300 millones de toneladas de comida son desperdiciadas debido a las deficientes condiciones de transporte y recolección, o bien, son depositadas en los contenedores de residuos; adicionalmente, casi 2.000 millones de personas tienen obesidad o sobrepeso, mientras que otros 2.000 millones padecen hambre o desnutrición; por último, únicamente el 3 % del agua en la tierra es potable y, los seres humanos consumen este recurso, más rápidamente de lo que puede regenerarse.

Igualmente, la disponibilidad de los recursos naturales en el mundo no es suficiente, para la demanda desproporcionada que ejercen los seres humanos; en este aspecto, se calcula que para 2050, la población mundial será tan grande (9.600 millones de personas) que se necesitará tres planetas para mantener el estilo de vida que se lleva actualmente (Publicaciones Semana, 2016). Sin embargo, estas proyecciones futuras pueden cambiar si se comienza a aplicar distintas metodologías y modelos respecto a: la gestión integral de los RSM, la producción sostenible de los bienes y servicios (economía circular) y, por supuesto, el consumo responsable de los mismos. Para conocer un poco más de este modelo responsable del consumo, la Junta de Andalucía (s.f.) menciona que se debe tener en cuenta las siguientes características:



- Se hace a conciencia, debido a que es un hábito que debe hacerse premeditadamente y de manera libre, sin seguir modas o por obligación.
- Es crítico: cada persona debe preguntarse por las condiciones ambientales y sociales en las que el producto ha sido fabricado.
- Es ético: los valores fundamentales de esta práctica están basados en la austeridad y responsabilidad, evitando así el consumismo y, propiciando el respeto por los productores del entorno.
- Es ecológico: previene el inadecuado manejo de los recursos naturales, evitando la producción masiva de elementos.
- Es saludable: promociona la adquisición de productos que sean propicios para una alimentación adecuada y, respetuosos con la naturaleza.
- Es sostenible, debido a que, al reducir el consumo innecesario, se está minimizando la generación de residuos. Esto, a su vez, deriva en dos consecuencias positivas: la conservación de los recursos naturales y, la disminución de la contaminación, que contribuye con la estabilización del equilibrio ambiental.
- Es solidario: dado que se toma conciencia del derecho que tienen los demás para hacer uso de los recursos naturales en el presente y, para generaciones futuras.
- Es socialmente justo: otro de sus principios está basado en la no explotación y la no discriminación.
- Puede transformar: si bien el consumo responsable se puede aplicar de manera individual, tiene el potencial para convertirse en una práctica a nivel local, regional o nacional. Es decir, a través de pequeñas acciones, se puede obtener grandes cambios y beneficios.

Para complementar esta idea, es preciso señalar que los consumidores deben aprender a conocer a profundidad qué implica adquirir un producto; por ejemplo: si tienen componentes tóxicos que afecten al medio ambiente y a la salud de las personas a largo o corto plazo; preferir materiales que estén diseñados para su posterior aprovechamiento y reutilización, verificando si son de alta duración; indagar sobre el compromiso social y ambiental de las empresas que los fabrican, entre otros. En este sentido, se da algunas recomendaciones para implementar el consumo responsable desde los hogares:



Tabla 4

Cinco recomendaciones para contribuir al consumo responsable

Pasos a seguir	Ilustración
<p>1. Comprar productos que tengan una vida útil a largo plazo.</p>	<p>Productos con vida útil a largo plazo</p>  <p>Fuente: Pexels, 2021.</p>
<p>2. Usar bolsas de tela para ir de compras; esto disminuye el uso de bolsas plásticas.</p>	<p>Bolsas de tela</p>  <p>Fuente: Pexels, 2021.</p>
<p>3. Regalar objetos que ya no se usa: ropa, muebles, juguetes, entre otros.</p>	<p>Donar o regalar objetos que ya se ha utilizado</p>  <p>Fuente: Pexels, 2021.</p>



Envío de archivos de forma virtual

4. Evitar el consumo de papel; para ello, solo si es absolutamente necesario, se puede imprimir documentos a doble cara o, enviar archivos de manera virtual.



Fuente: Pexels, 2021.

Separar adecuadamente los residuos

5. Separar todos los residuos en contenedores o bolsas establecidos por la normatividad, reciclar.



Fuente: Pexels, 2021.

Capítulo 5



Metodología de selección de alternativas para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos en plazas de mercado



En el presente capítulo se da a conocer el método empleado para la selección de las propuestas que permitirán el aprovechamiento de los RSO en el municipio o casco urbano, denominado: 'Matrices para tamizar ideas', de Sánchez (2003). Este procedimiento tiene como objetivo, analizar las alternativas de manejo y aprovechamiento bajo tres aspectos clave representados en igual número de matrices, las cuales se explica más adelante.



No obstante, antes de entrar en materia, se aclara que es responsabilidad y criterio exclusivamente del lector, implementar o no las recomendaciones abordadas en este manual y todo lo que ello implica. Así pues, el contenido del presente documento se pone a consideración, con el fin de promover el aprovechamiento de los RSO que se genera en las plazas de mercado municipales, procurando reducir de esta forma, el desperdicio de los recursos naturales, aprovechar los residuos generados, favorecer la creación de economías a pequeña escala y, en consecuencia, aportar al desarrollo de la economía circular.



Igualmente, el empleo del manual puede causar un gran impacto a nivel social, dado que, la aplicación de las estrategias para el manejo y aprovechamiento de RSO se puede replicar en la mayoría de los municipios del país, puesto que se ha considerado que el 86,1 % de los 1.122 municipios registrados en el DANE, son de sexta categoría, cuya mayoría enfoca sus actividades económicas en agricultura, ganadería y turismo. Adicionalmente, cabe destacar que el 64,1 % de los 3.957.562 hogares que existen en ellos, tiene un puntaje del SISBEN inferior a 25 puntos, que se puede interpretar como una menor solvencia económica y baja calidad para las familias que habitan en ellos (Gutiérrez, 2017). En síntesis, reintegrar los residuos orgánicos de las plazas de mercado al ciclo productivo a través de estrategias de aprovechamiento, es una oportunidad para mejorar, en cierta medida, las condiciones económicas, sociales y ambientales de los municipios.





Para llevar a cabo dicho propósito, inicialmente se debe hacer uso de la metodología de matrices para tamizar ideas, de Sánchez (2003), donde se evalúa las distintas alternativas para el aprovechamiento de RSO que puede emplearse, como es el caso de: compostaje de pila por volteo, lombricompostaje, biodigestor, ensilaje para alimentos de animales, abono bocashi, compostaje por pilas estáticas con aireación natural y forzada, entre otros. Bajo todas estas estrategias de tratamiento, es muy útil identificar cuál puede ser la más adecuada, para poder implementarla en consonancia con el contexto municipal. Para ello, el método de las matrices está sujeto al planteamiento de criterios subjetivos de viabilidad y de factibilidad para cribar las opciones, hasta identificar la más apropiada. Es importante mencionar que, todas las alternativas deben ser evaluadas bajo los mismos criterios.

Sin embargo, para minimizar lo mejor posible esta subjetividad, lo indicado es conocer e indagar sobre el estado actual del municipio; es decir, realizar un diagnóstico a nivel económico, sociocultural y ambiental del territorio. Por esto también es prioritario conocer la categoría que posee el municipio conforme a las disposiciones de la Ley 1551 de 2012, cuya clasificación considera sus ICLD y la población actual, así como también, la importancia económica y posición geográfica. De este modo, se dispone siete categorías:

- Categoría especial: con población superior o igual a los quinientos mil un (500.001) habitantes; ICLD anuales que superen cuatrocientos mil (400.000) salarios mínimos legales mensuales vigentes (SMMLV); importancia económica: Grado uno.
- Primera categoría: con población comprendida entre cien mil uno (100.001) y quinientos mil (500.000) habitantes; ICLD anuales superiores a cien mil (100.000) y hasta cuatrocientos mil (400.000) SMMLV; importancia económica: Grado dos.
- Segunda categoría: con población comprendida entre cincuenta mil uno (50.001) y cien mil (100.000) habitantes; ICLD anuales superiores a cincuenta mil (50.000) y hasta cien mil (100.000) SMMLV; importancia económica: Grado tres.
- Tercera categoría con población comprendida entre treinta mil uno (30.001) y cincuenta mil (50.000) habitantes; ICLD anuales superiores a treinta mil (30.000) y hasta de cincuenta mil (50.000) SMMLV; importancia económica: Grado cuatro.
- Cuarta categoría: con población comprendida entre veinte mil uno (20.001) y treinta mil (30.000) habitantes; ICLD



anuales superiores a veinticinco mil (25.000) y hasta treinta mil (30.000) SMMLV; importancia económica: Grado cinco.

- Quinta categoría: con población comprendida entre diez mil uno (10.001) y veinte mil (20.000) habitantes; ICLD anuales superiores a quince mil (15.000) y hasta veinticinco mil (25.000) SMMLV; importancia económica: Grado seis.
- Sexta categoría: con población igual o inferior a diez mil (10.000); ICLD anuales no superiores a quince mil (15.000) SMMLV; importancia económica: Grado siete.

A continuación, se explica y plantea un ejemplo relacionado con una serie de criterios tanto de viabilidad como de factibilidad que, en este caso, están enfocados hacia municipios de sexta categoría y que permiten la selección de las alternativas para estos casos. Cabe aclarar que, el uso de estas matrices es libre; por lo tanto, los criterios de factibilidad y viabilidad que se plantea en este ejemplo pueden ser eliminados, modificados o reemplazados, dependiendo de las consideraciones y conocimientos que tenga el usuario.

- 1. Factibilidad:** es una característica que permite saber qué tan preferible o atractiva puede ser una alternativa sobre otra; para ello, fue necesario otorgar a cada una su respectivo **Peso (A)** y **Calificación (B)**, con intención de obtener la suma de un puntaje total **(AT)**, el cual varía del 10 al 100, siendo 10 un valor muy bajo y 100 muy alto. Cabe decir que, entre más alta sea esta cifra, más atractiva se vuelve una iniciativa. En este sentido, para poder definir y evaluar la puntuación de factibilidad para cada estrategia, se plantea cuatro criterios, siguiendo tres ejes fundamentales: económico, ambiental y social. Para tener una idea clara sobre estos aspectos, se diligencia la siguiente matriz:

Tabla 5

Matriz 1, definición y evaluación de los criterios de factibilidad con respectivo peso (A)

Criterios de Factibilidad	Peso (A)	Calificación (B)										(AxB)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ofrece la posibilidad de utilizar el producto final en un período relativamente corto.	2											



Produce ingresos económicos significativos, así como también empleo para la población.	3		
No existe generación de malos olores, gases y líquidos peligrosos durante su procesamiento.	3		
Tiene la capacidad de elaborar uno o más productos derivados que puedan ser comercializados.	2		
Suma Total	10	Suma Total: Factibilidad	AT

2. Viabilidad: determina qué tan realizable puede ser una alternativa para que ésta se efectúe y, al igual que con la factibilidad, fueron evaluadas todas las opciones según su **Peso (A)** y **Calificación (B)**, con el propósito de obtener la suma de un puntaje total (**VT**) que varía desde 10 hasta 100. En este caso, para poder determinar qué alternativas son las más adecuadas para las plazas de mercado, se estableció alrededor de seis criterios en los aspectos: ambiental, social y económico; así, cada método de aprovechamiento se valoró como indica la Tabla 6:



Tabla 6

Matriz 2, definición y evaluación de los criterios de viabilidad con su respectivo peso (A)

Criterios de Viabilidad	Peso (A)	Calificación (B)										(AxB)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
No requiere de esfuerzo para la comercialización de los productos finales.	2											
Se puede emplear grandes y pequeñas cantidades de RSO para su elaboración.	1											
No exige inversiones económicas muy altas en cuanto al proceso de construcción de la infraestructura, incluyendo sus instrumentos y mano de obra.	2											
El manejo del producto no presenta dificultades para su almacenamiento, transporte y disposición de los materiales para su elaboración.	2											
El producto final es biológicamente estable y es de buena calidad.	1											



Requiere pocos conocimientos técnicos para la realización o ejecución de esta alternativa.

2

Suma Total	10	Suma Total: Viabilidad	VT
-------------------	-----------	-------------------------------	-----------

3. Clasificación: en esta característica se organizó cada alternativa según su puntaje en la suma total de Viabilidad (**VT**) y Factibilidad (**AT**); de este modo, se procedió a diligenciar la Tabla 7, donde fueron clasificadas las siete propuestas de aprovechamiento, marcando una 'X' en la casilla que corresponda, conforme a las siguientes categorías: Muy buenas, Buenas, Dudosas, Malas.

Cabe destacar que a los lados de la Tabla 7 encuentra una calificación que va desde 10 hasta 100; por tanto, entre más cercanos sean estos valores laterales a 10, más Dudosas, Pobres o Malas se vuelven las iniciativas; por otro lado, si están más próximas a 100, estas ideas adquieren una connotación de Buenas y Muy buenas, como se observa a continuación:

Tabla 7

Matriz 3, procedimiento para clasificar cada alternativa de acuerdo a su viabilidad y factibilidad total

	10	60	80	100
	Dudosas	Buenas	Muy Buenas	
				80
Factibilidad Total (AT)	Pobres	Dudosas	Buenas	
				60
	Malas	Pobres	Dudosas	
				10
	Viabilidad Total (VT)			



Finalmente, en concordancia con la información presentada y los distintos ponderados que obtiene cada alternativa, se concluye que las dos opciones más apropiadas para manejar los RSO en las plazas de mercado son: el lombricompostaje y compostaje de pilas por volteo. Estas iniciativas pueden ser efectuadas de forma manual y se caracterizan por su viabilidad económica y técnica al trabajar con este tipo de subproductos aprovechables.

Capítulo 6



Alternativas para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos

Las plazas de mercado son un excelente lugar para obtener material orgánico que puede ser empleado para elaborar productos naturales a través de diferentes métodos manuales de aprovechamiento, como el lombricompostaje y el compostaje de pilas por volteo que ya se mencionó en el capítulo anterior y que ahora, se explicará con mayor detalle.

6.1 Lombricompostaje: Pasos para establecer el área de trabajo a pequeña escala

El lombricompostaje, según Moya (2011), es una biotecnología que usa una especie de lombriz domesticada llamada 'lombriz roja californiana' (Figura 12) y se utiliza como un instrumento de trabajo que permite transformar la materia orgánica biodegradable para obtener tres productos: carne de lombriz, vermicompostaje y fertilizante líquido orgánico (lixiviados). La aplicación de esta técnica contribuye al cumplimiento de dos objetivos: primero, la reutilización y aprovechamiento de los RSO de plazas de mercado y segundo, el uso del abono orgánico como fuente de proteína de bajo costo beneficioso para el suelo.

Dicho esto, tener en cuenta que existen distintos factores que desempeñan un papel importante en este proceso y que deben ser considerados antes de ejecutar esta biotecnología, como por ejemplo: el capital financiero, la superficie del terreno disponible, la cantidad y calidad del agua que se necesitará, el uso que se le dará posteriormente a las lombrices, para qué actividad se destinará el abono orgánico, condiciones ambientales de la zona, así como también, el tipo y cantidad de sustrato orgánico que se empleará (González-Rosales et al., 2012).



Figura 12

Lombriz roja californiana - Eisenia Foetida



Fuente: Pixabay, 2021.

Para efectos de esta metodología, se ha recopilado una serie de nueve pasos, que permiten realizar adecuadamente este procedimiento; para ello se hace una revisión de distintas fuentes bibliográficas, entre ellas, la de Sepúlveda y Alvarado (2013) y Martínez et al. (2015) de quienes se extrae parte de la información que se presentada en seguida:

Paso 1) Selección de un área adecuada para el lombricompostaje

En primera instancia, se debe escoger un lugar que esté destinado exclusivamente para disponer toda la infraestructura para el lombricompostaje. Cabe aclarar que, las dimensiones del área seleccionada pueden variar, dependiendo de la cantidad de equipos y herramientas que se vaya a utilizar, así como también, del número y tipo de contenedores que se necesite para albergar los RSO obtenidos diaria o semanalmente de la plaza de mercado. Una vez se elija e identifique el sitio de trabajo, procurar adecuarlo asegurándose de definir bien sus límites, estableciendo un cerco perimetral para evitar el acceso de personal externo o de animales; del mismo modo, se debe garantizar que el terreno sea de fácil acceso, con una superficie nivelada, preferiblemente cubierto, que cuente un buen drenaje y garantice el acceso al agua sin que se sitúe cerca de una fuente hídrica (Sepúlveda y Alvarado, 2013). Para un mayor entendimiento ver la Figura 13.



Figura 13

Delimitación y adecuación del área de trabajo para el lombricompostaje



Fuente: Pixabay, 2021.

Paso 2) Selección de contenedor para disponer y acondicionar el lombricompostaje

Una vez se haya seleccionado el lugar de trabajo, se debe elegir el tipo de estructuras en el que se pueda ubicar y efectuar el proceso de lombricompostaje que, además debe tener una leve inclinación del 2 %, para poder drenar bien los excesos de agua; en este caso, es posible optar por dos procedimientos muy viables, estos pueden ser:

Opción A - Uso de canastillas plásticas: inicialmente, se debe conseguir canastillas plásticas que han sido destinadas para disponer alimentos y que puedan ser reutilizadas (Figura 14), que estén recubiertas en su interior ya sea con una bolsa plástica negra o con cartones que **no** tengan ningún tipo de impresión o imagen. Esto se hace con el propósito de que no haya salidas del humus o lombrices y, para que los químicos de la tinta del cartón no afecten el crecimiento de la lombriz. También, es necesario establecer una leve inclinación a las canastillas, para recolectar el fertilizante líquido.



Figura 14

Canastillas plásticas útiles para situar alimentos y también el lombricompostaje



Fuente: Pixabay, 2021.

Nota importante: en caso de trabajar con cantidades abundantes de RSO, se recomienda administrar todo el lugar de trabajo por lotes o secciones. En este sentido, por cada lote debe agruparse contiguamente el mismo número de canastillas, de manera que se maneje una hoja de registro exclusiva para cada uno de estos sectores, donde se lleve un orden y conocimiento de tres datos, principalmente:

- Fechas para la cosecha y la siembra
- Frecuencia de alimentación para las lombrices
- Localización y desplazamiento semanal del pie de cría en el sustrato.

Opción B - Uso de camas para lombricompostaje: tener en cuenta que, para almacenar los RSO junto con las lombrices rojas, es necesario construir una estructura rectangular a base de ladrillos y cemento o, bien sea, de madera. No obstante, antes de elegir cualquier material, se debe considerar que el empleo de un elemento como el cemento puede ser contraproducente para las lombrices, dado que, este puede aumentar su gradiente térmico, dependiendo de la región geográfica y, a su vez, producir una aceleración en la descomposición de la materia orgánica; por tanto, de presentar condiciones climáticas muy cálidas, se recomienda construir las camas en madera (Figura 15).



Adicionalmente, según el tipo de clima del municipio, las camas pueden ser dispuestas al aire libre o, ser cubiertas por una malla (polisombra negra). De este modo, para climas cálidos es viable dejarlas al aire libre y, para climas fríos y templados, se requiere poner una cubierta de malla negra para ofrecer una protección contra los excesos de agua y sol.

Cabe señalar que, también es posible establecer un sistema para la recolección de lixiviados en las camas y usarlos como fertilizantes, siempre y cuando se contemple que las características como la calidad, estabilidad y funcionamiento de estos líquidos, están estrechamente relacionadas con el tiempo y las condiciones de su almacenamiento.

Figura 15

Lechos o camas para el lombricompostaje construidos con madera



Fuente: Visualhunt, 2021.

Nota importante 1: antes de aplicar el lixiviado recolectado en el suelo, ya sea vía rocío o foliar, se hace necesario considerar las siguientes indicaciones:

- El lixiviado no debe emanar olores desagradables de ningún tipo; de ser así, el compuesto presentará niveles desfavorables de acidez y baja calidad en microorganismos.
- Una vez se haya recolectado estos líquidos, lo más adecuado es emplearlos dentro de un periodo de 4 a 6 horas; sin embargo, si se desea utilizarlos más adelante, es preciso almacenarlos en condiciones aeróbicas en un recipiente plástico o, de vidrio preferiblemente, en un lugar fresco, seco y sin entradas de luz. Esto se hace para conservar de la mejor manera el subproducto, manteniendo sus propiedades y microorganismos.



- Para evitar efectos negativos en las propiedades del suelo cuando se aplique el fertilizante líquido por vía riego, se recomienda diluir el lixiviado en agua sin cloro en una proporción de 1:4, es decir, por cada litro de agua se debe agregar 250 ml de lixiviados. Por otro lado, si se hace por vía foliar, la solución debe mantener una relación de 1:9 (1 litro agua: 110 ml lixiviados), con el propósito de prevenir quemaduras en las raíces u hojas de las plantas, dado que estos líquidos poseen altas concentraciones de sales y minerales.

Si no se contempla estos aspectos, estos lixiviados pueden llegar a ser productos inestables y fitotóxicos, con capacidad de perjudicar significativamente las propiedades del suelo y, el bienestar de las plantas y la microbiota que yacen en él.

Nota importante 2: se sugiere que, para el diseño de las camas de compostaje, se siga las siguientes dimensiones:

- Alto: 40 centímetros. Schuldt (citado por Martínez et al., 2015) menciona que las lombrices solo pueden desplazarse como máximo a esta altura.
- Largo: de 10 hasta 12 metros.
- Ancho: de 1.10 metros y, si la cama se divide en dos, entonces puede ser de 80 centímetros cada lado.
- Separación entre cada cama: de 80 a 60 centímetros.

Paso 3) Recolección, clasificación y triturado de los RSO en la plaza de mercado

Una vez que se haya establecido el tipo de estructura en el que se realizará el lombricompostaje (camas en madera o canastillas plásticas), se procede a clasificar todos los RSM desde la plaza de mercado, siguiendo el nuevo código de colores, con el fin de separar correctamente los residuos en bolsas blancas, negras o verdes, según el caso, garantizando que estarán dispuestos en las bolsas de color verde, los que serán transportados hasta el sitio donde se llevará a cabo el lombricompostaje. A continuación, se presentará los tres puntos clave para efectuar este tercer paso:

Punto A - Recolección: Viveros et al., (2018, citados por Beltrán et al., 2020) mencionan que, para garantizar un adecuado procedimiento para la recolección y separación en la fuente de los RSO, es adecuado, inicialmente, emplear canecas plásticas cilíndricas de tres compartimentos (Figura 16) que sean suministradas por la administración de la plaza de mercado en cada uno de los puntos de venta. Una vez que se llene estos compartimentos, se puede recolectar



los RSO, para ser utilizados directamente en el lombricompostaje o, ser transportados hasta un sitio para su almacenamiento temporal.

Figura 16

Contenedor tres compartimentos para la separación de los tres tipos de residuos sólidos



El contenedor posee unas dimensiones aproximadas de 89,8 cm de alto, 67 cm de largo y 59,5 cm de profundidad, con un volumen total de 100 litros. También cuenta con un sistema vaivén que permite disponer y separar los residuos en tres compartimentos, en cada uno de los cuales se puede almacenar entre 9 y 15 kilogramos de RSO, dependiendo de su densidad.

En caso de no contar con los recursos económicos para comprar estos botes plásticos, entonces, se hará uso de un punto para la disposición y almacenamiento temporal de los residuos producidos durante la jornada laboral de la plaza de mercado. Este espacio será un punto estratégico, de suerte que permita almacenar correctamente los residuos generados, para evitar su degradación y facilitar su orden, recolección y transporte. Para esto, se debe considerar los lineamientos de la GTC - 24 (ICONTEC, 2009):

- La instalación dentro de la plaza debe ser de fácil acceso y visibilidad
- Se debe garantizar una buena ventilación, preferiblemente natural, que permita regular y reducir la humedad del ambiente y evitar incendios



- Instalar una cubierta o, en su defecto, tapas en los contenedores, que limiten la entrada de la lluvia, la luz y el calor del sol en las canecas o bolsas
- Asegurar que este punto de disposición esté a una distancia prudente de los locales y zonas de venta de la plaza de mercado; en otras palabras, no es pertinente situarlos cerca de zonas públicas
- Las canecas o recipientes que se vaya a emplear, deben cumplir con el espacio suficiente para disponer cada tipo de residuo generado
- Detentar un equipo para el manejo de incendios, con fecha válida de vencimiento
- Incluir los tres tipos de contenedores (verde, blanco y negro) respectivamente etiquetados y señalizados, de acuerdo con la Resolución 2184 de 2019
- Establecer un control de vectores y herramientas que limiten su acceso a los residuos y eviten posteriores focos de infección
- Disponer de una acometida de agua y un drenaje, para llevar a cabo los procedimientos de limpieza
- El suelo no debe tener grietas y, tampoco, ser resbaloso; que sea, preferiblemente, impermeable.

En condiciones favorables, el proceso de acopio y clasificación de los RSO se efectuará, eventualmente, desde la plaza de mercado, situándolos en contenedores o bolsas plásticas de color verde en el punto de disposición. Esto puede ser viable, siempre y cuando haya un acuerdo y concertación entre los comerciantes y la entidad encargada de realizar el lombricompostaje. Para ello, es menester contemplar estrategias que faciliten la cooperación y el beneficio mutuo, de tal forma que se efectúe capacitaciones enfocadas en la disposición, manejo y aprovechamiento de los RSO y los beneficios que trae consigo el nuevo modelo de economía circular a nivel local.

En contraposición, en caso de no llegar a algún acuerdo o, simplemente, que las circunstancias no permitan llevar a cabo lo mencionado, se puede optar por contratar y trabajar con un personal de aseo y recolección de residuos, quienes se encargarán de hacer la separación, recuperación y disposición de los RSO de la plaza de mercado, en sus bolsas correspondientes.

Bajo este contexto, los elementos que deben ser considerados para su recolección son los RSO **crudos**; es decir, todo tipo de verduras, frutas, residuos de cáscaras de cualquier tipo, así como el material sobrante de poda, como ramas, hojas, hierbas, como los residuos



y cáscaras de frutas, verduras, entre otros, bien sea podridas o en buen estado, como se evidencia en la Figura 17. Cabe aclarar que, por ningún motivo se debe escoger residuos que hayan tenido un proceso previo de cocción, puesto que estos atraerán a organismos enemigos de las lombrices, como las hormigas (Sepúlveda y Alvarado, 2013).

Figura 17

Proceso de recuperación de RSO en bolsas verdes en la plaza de mercado



Dependiendo de la frecuencia del funcionamiento de la plaza de mercado, es fundamental recolectar todas las bolsas verdes, de la siguiente manera:

- Si la plaza está en funcionamiento todos los días de la semana, entonces, se debe realizar el acopio de los RSO cada dos días, con un vehículo recolector, cuyo tamaño se adecúe al número de bolsas promedio generadas en este periodo; además, es importante mencionar que los RS no deben ser compactados; de esta manera se previene la atracción de vectores o de cualquier otro organismo, la liberación y escape de lixiviados debido a fisuras o cortes en las bolsas, así como también, la aceleración del proceso de degradación de los residuos. Para ello, las bolsas plásticas deben organizarse una a una en la parte trasera del carro recolector, conforme a la magnitud de su masa; esto es: aquellos elementos que tengan un mayor peso, serán dispuestos en la base del vehículo y, encima de ellos, se posicionará los demás talegos de menor peso, procurando que no se rompan.



- Del mismo modo, si la plaza de mercado abre generalmente solo los fines de semana, entonces, la recolección de los RSO será cada siete días, con un vehículo recolector para su transporte y almacenamiento, siguiendo todas las indicaciones mencionadas.

Nota importante: las condiciones para el manejo y las características que deben tener los contenedores (canecas reutilizables y bolsas plásticas), son importantes al momento de almacenar los residuos y mantenerlos en las mejores condiciones. De acuerdo con esto, las condiciones de manejo y escogencia de estos recipientes están sujetas a ciertas directrices que plantea la GTC - 24 (ICONTEC, 2009), recopiladas a continuación:

Características y manejo adecuado para las canecas reutilizables:

- Las canecas pueden tener una forma cilíndrica o rectangular
- El material del cual estén hechas debe ser plástico rígido, anticorrosivo, impermeable, de fácil limpieza y, que garantice que no haya liberación de lixiviados
- El rotulado y etiquetado debe corresponder al nuevo código de colores, con imágenes, letras y símbolos totalmente legibles y entendibles
- Deben tener una tapa o cubierta de buen ajuste, que impida el acceso del agua y de animales como insectos o roedores
- Los bordes tienen que ser redondeados y de boca ancha
- Es pertinente dejarlas en un sitio visible y con buena aireación
- El lavado, limpieza y desinfección se debe hacer por dentro y por fuera, periódicamente cada semana, así como también, cada vez que haya derrames en el interior.

Características y manejo adecuado para las bolsas plásticas:

- Deben ser resistentes, de suerte que soporten la tensión debido al peso de los residuos
- De polietileno, para poner cualquier residuo infeccioso
- El color debe ir de acuerdo con el nuevo código de colores de la Resolución 2184 de 2019, como ya se ha mencionado
- El material debe ser de alta densidad, para evitar derrames de sustancias líquidas o la salida de los residuos debido a fisuras accidentales
- El peso máximo soportado por cada bolsa con residuos no debe exceder los 8 kg



- Antes de situar una bolsa plástica dentro de una caneca, es importante que se verifique que no haya objetos sólidos que la puedan romper o dañar, como palos, aristas, vidrio, elementos con filos de plástico o de metal, entre otros
- Cuando se sitúe las bolsas en un contenedor de plástico, se debe procurar que se plieguen de tal forma que recubran los bordes de los contenedores. Posteriormente, para el sellado de cada una, es pertinente que se haga un nudo bien ajustado en su extremo.

Punto B - Clasificación: dado lo anterior, todo el material recolectado de las bolsas verdes, se debe llevar al sitio de lombricultura para efectuar su clasificación, apartando todos los residuos que no sean adecuados para esta operación, como se exhibe en la Figura 18, donde se debe separar los plásticos, papeles, residuos de comida, piedras, entre otros. Hecho esto, los RSO que sean seleccionados, pasarán al proceso de triturado.

Figura 18

Clasificación y selección de los RSO necesarios en bolsas plásticas verdes



Nota importante: todo residuo que vaya a ser seleccionado para su aprovechamiento, no debe tener ningún tipo de contaminación cruzada; es decir, este elemento orgánico no debe haber estado en contacto con residuos peligrosos como: pilas, baterías, medicamentos vencidos, así como tampoco, estar cerca de cualquier tipo de agroquímico o residuos con COVID-19.



Punto C - Picado y triturado: después de haber efectuado lo anterior, se procede a llevar todos los residuos orgánicos a una máquina trituradora, con el objetivo de facilitar su degradación y así, conseguir una masa homogénea que pueda ser digerible para las lombrices (Figura 19) y que, además, se aplique en las canastillas o camas, formando una capa con cinco centímetros de altura, como mínimo. Por último, para conseguir una reducción significativa de los costos de operación, el sistema de picado debe ser lo más sencillo posible, sin que consuma mucha energía; también, se puede contemplar un triturado de forma manual.

Figura 19

Residuos sólidos orgánicos después del proceso de triturado y picado: masa gris homogénea



Paso 4) Realizar el precompostaje

El compostaje es considerado una práctica completa que requiere de cierto tiempo para que la descomposición de toda la materia orgánica se realice lo mejor posible; se compone de cuatro fases: mesófila, termófila, de enfriamiento y de maduración, las cuales requieren hasta 13 meses para su culminación. Por su parte, el precompostaje es un procedimiento que culmina en la fase termófila, donde se emplea alrededor de 3 a 4 semanas para tener listo el sustrato; en esta actividad no es necesario cumplir con todas las fases mencionadas, sino que se puede terminar antes; de ahí el nombre de precompostaje.

González-Rosales et al. (2012) mencionan que, el precompostaje es un proceso controlado donde se emplea microorganismos para



degradar residuos orgánicos, pues el producto final sirve como un sustrato más adecuado para las lombrices que, se puede alcanzar siempre y cuando se maneje adecuadamente la aireación, humedad, relación carbono/nitrógeno y temperatura. En este sentido, lo que se desea es, mejorar el ambiente en el cual se desarrollarán las lombrices, a través de la eliminación de organismos patógenos, neutralización de altos niveles de acidez, la prevención de procesos de fermentación, al igual que, la regulación de la temperatura.

De acuerdo con Moya (2011) y González-Rosales et al. (2012), es recomendable que este alimento esté libre de **excesos** como grasas y residuos cítricos; tampoco debe contener, carne, pollo, hongos, bacterias, virus ni heces fecales de humanos o de animales domésticos. Además, debe estar completamente descompuesto; esto es, no debe estar pasando por ningún proceso de fermentación, puesto que todas estas condiciones pueden producir enfermedades, intoxicación o, incluso, la muerte en las lombrices.

Contemplando lo anterior, el presente paso es fundamental para el lombricompostaje; por ello, a continuación, se dispondrá los criterios y puntos necesarios para llevar a cabo esta estrategia, los cuales han sido, en su mayoría, una recopilación de las investigaciones de González-Rosales et al. (2012) y, deben ser considerados así:

Punto A - Factores clave: inicialmente, se debe hacer un análisis sobre tres aspectos cruciales de los que se puede disponer: el primero consiste en verificar que la calidad y la cantidad del agua con la que se cuenta sea adecuada para el procedimiento; el segundo es relativo a saber qué cantidad de RSO se obtiene por semana en la plaza de mercado; el tercero implica determinar cuál es la cantidad de abono orgánico que demanda el cliente.

Punto B - Adquisición de paja: seguidamente, contando con los datos anteriores, se debe conseguir la cantidad apropiada de material seco, como paja o esquilmo de maíz, avena o trigo. Cabe aclarar que, este producto debe estar bien triturado, alcanzando hasta **una pulgada de longitud**; es decir, el tamaño de la partícula no debe superar los **2.5 centímetros** de medida, para asegurar que no haya una eventual compactación de estas fibras secas.

Punto C - Posicionamiento de las pilas: una vez se tenga todo listo, se procede a dimensionar y posicionar una capa de 20 cm de alto, de material seco en el suelo, lo que permitirá que la descomposición del material orgánico sea más acelerada; después, se debe adicionar la cantidad de agua suficiente para humedecer la paja, de tal modo que, al tomar un puñado de este compuesto y presionarlo con la mano, se forme un producto aglomerado que no debe escurrir agua, pero tampoco deshacerse. Si sucede este último caso, es necesario aplicar más agua a este manto.



Para tener en consideración:

- El dimensionamiento de la pila para el compost va a depender de la cantidad de RSO disponible y de la disponibilidad del espacio que se tenga. En este sentido, en caso de tener las camas para el lombricompostaje, se recomienda disponer en esta estructura el material seco con los RSO triturados; por tanto, el largo y el ancho de la pila tomará la forma de la cama.

Por otra parte, si no se cuenta con estos lechos, el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS Título F (citado por Ávila y Moyano, 2019) resuelve aglomerar cada pila en el suelo, disponiéndose en forma de pirámide completa, de tal manera que ocupen entre 1 a 2 metros de ancho, con un largo que puede variar en un rango entre 2 y 20 metros. Adicionalmente, la separación entre pila y pila puede ser de entre 1 y 3 metros, con el propósito de facilitar la toma de muestras, los volteos y la humectación de las pilas.

- La altura máxima sugerida para estas pilas es de 1,5 metros, según lo comentado por González-Rosales et al. (2012); si se llega a sobrepasar esta medida, es posible que se reduzca la entrada de oxígeno al sistema, por compactación de la masa, afectando la estabilidad de los microorganismos aerobios, de suerte que se va favoreciendo los procesos anaerobios, los cuales son causantes de los malos olores y, con ello, la atracción de vectores. Por este motivo, Ávila y Moyano (2019) presentan una tabla donde recopilan las dimensiones recomendadas dadas por el RAS Título F de 2012, mencionando que la altitud permitida para las pilas se encuentra entre los 30 y 50 centímetros.

Punto D - Adición de los RSO: realizado el paso anterior, es oportuno agregar una capa de RSO triturados, sobre el manto de paja; cabe decir que estos RSM deben estar lo más frescos posible para evitar contratiempos mediante la descomposición. Enseguida, se debe posicionar estos elementos a lo largo de la pila, hasta lograr una altura de 10 centímetros aproximadamente.

Punto E - Repetición del proceso: es pertinente repetir estas actividades hasta que la acumulación de todos los materiales apilados llegue a la altura seleccionada, de acuerdo con lo sugerido, pues si se desea, esta longitud puede ser menor al valor sugerido. Es importante añadir que, desde este punto en adelante, cada capa de material seco no sobrepase los 10 centímetros de altura;



en tanto se llegue al final, adicionar una capa exterior de alfalfa verde o seca, para preservar la humedad.

Punto F - Seguimiento y control de la temperatura: para hacer la revisión de esta variable se puede emplear el termómetro para suelo; así, se podrá monitorear la temperatura de la pila semanalmente y, si es posible, diariamente, a partir del primer día que se ejecute el precompostaje. De este modo, la temperatura debe registrarse a los 4 o 5 días donde la energía de la pila ascenderá hasta los 50 °C; posteriormente, esta actividad debe realizarse después de los 7 u 8 días, donde la pila aumentará su temperatura con relativa facilidad, alcanzando los 60 °C. Es pertinente señalar que, en este proceso no se sobrepase los 70 °C, a razón de que los microorganismos termófilos pueden detener su trabajo; en este caso, es preferible mantener temperaturas para el composteo entre los 50 y 65 °C.

Cabe añadir que, en los primeros días del precompostaje es muy probable que la temperatura de la pila pueda sobrepasar los 65 °C; en esta circunstancia, es muy útil voltear o abrir la pila unas horas y, volver a cerrarla posteriormente. Solo en caso de que la temperatura no aumente luego de hacer este procedimiento, tener en cuenta que puede deberse a varios factores, entre ellos, la falta de agua y que la relación carbono/nitrógeno esté muy alta; para el primer caso, es apropiado aplicar la cantidad suficiente de agua y, en caso de haber exceso de esta, agregar más cantidad de material seco; para este último caso es viable emplear material verde o estiércol.

Punto G - Control del riego: el manejo de factores como el sustrato empleado, los procesos operacionales, así como las condiciones ambientales en días calurosos, pueden ser determinantes al aumentar progresivamente la temperatura de las pilas, por lo cual es favorable que se examine la frecuencia del riego para el control de su temperatura, la cual debe estar en las primeras tres semanas entre los 50 a 60 °C, de modo que, probablemente, se tenga que humedecer el composteo una o dos veces por semana.

Punto H - Control de la aireación: al igual que el riego, la oxigenación de la pila es totalmente necesaria para que el aje se efectúe de la mejor manera; en este sentido, es suficiente realizar un solo volteo de la pila por semana; sin embargo, el número de volteos también estará limitado por la temperatura que tenga el composteo.

Este paso, al igual que los anteriores, es trascendental para que los microorganismos aeróbicos puedan obtener el oxígeno suficiente para seguir trabajando; de lo contrario, todo el proceso puede verse afectado.



Punto I - Verificación del pH: al terminar todo el proceso, es fundamental hacer un chequeo del pH que tiene la pila, puesto que, esta variable determina qué tan ácido o alcalino se puede encontrar el medio.

Generalmente, al finalizar todo el precompostaje, se puede obtener valores estables de pH que rondan entre las 7 u 8 unidades; si en el producto final se evidencia estos valores, se puede garantizar un sustrato muy adecuado para el buen desarrollo de cada lombriz, además de ser un indicador que puede aportar a las propiedades estructurales del suelo, así como también, ser un factor beneficioso para la degradación de todo el material orgánico.

Punto J - Evaluación del precompostaje: después de finalizar la cuarta semana de composteo, se hace necesario realizar dos riegos más al precompostaje para obtener una humedad del 80 % y así adecuarlo a las lombrices, de forma que se regule la temperatura hasta alcanzar desde los 18 hasta 25 °C (Moya, 2011).

Antes de añadir el pie de cría, es acertado hacer una pequeña prueba para saber si el sustrato está listo; en tal sentido, se puede contar con dos opciones viables: la primera, consiste en realizar un análisis en laboratorio de la relación carbono/nitrógeno y, una vez que esto salga bien, el alimento para estos animales estará listo; pero, en caso de no poseer los recursos económicos suficientes, entonces se puede acudir a la segunda opción, que es mucho más práctica y que consiste en tomar un frasco que pueda contener un kilogramo de material pre compostado y adicionar unas 15 o 20 lombrices encima. Posteriormente, cubrir este recipiente en su totalidad con paja o material seco, asegurando la entrada de aire al sistema, sin que haya entradas de luz; así, se debe dejar pasar un tiempo inicial de 15 minutos, para verificar que todas las lombrices hayan interiorizado dentro del sustrato.

Para tener una mayor certeza, es indicado esperar 24 horas para que las lombrices puedan adaptarse al nuevo ambiente. Por tanto, en caso de que todas ellas se hayan introducido en el material, se concluye que el pre compost está listo; de lo contrario, si aún hay algunas en la superficie, se aconseja dejar pasar una semana más para que, en el proceso de composteo, el sustrato pueda estabilizarse.

Nota importante: en la medida en que vaya habiendo algunos inconvenientes en el proceso del compostaje, se recomienda acudir a la Tabla 8, donde se muestra los problemas más comunes y las posibles soluciones recomendadas por Elorza (2017).



Tabla 8

Problemas frecuentes en el compostaje y las soluciones más pertinentes

Problemas Comunes	Soluciones
Si huele a amoníaco (olor a urea)	Hay demasiado nitrógeno; voltear y mezclar más materia seca (Carbono)
Si hay moscas e insectos	Cubrir con paja, tierra o viruta de madera
Si huele a podrido	Está demasiado húmedo y no circula aire. Voltearlo para que se oxigene y añadir materia seca, si es necesario

Paso 5) Transporte y adecuación del sustrato en los contenedores

Acorde con Ruiz (2011), el objetivo del paso anterior consiste en proporcionar un sustrato que ofrezca las mejores condiciones para que la lombriz pueda movilizarse, alimentarse, reproducirse y vivir libremente en el mismo; de esta forma, cuando se haya verificado que el pre compost cumple con las características mencionadas, entonces, es apropiado tener en cuenta los siguientes puntos:

- **Punto A - Compra:** en primera instancia, es fundamental hacer la compra de la lombriz roja californiana en un lugar certificado; además, cabe mencionar que, absolutamente todas las lombrices deben provenir del mismo punto de venta, ya que se corre el riesgo de perder la inversión debido a la mala calidad del humus que se obtiene.
- **Punto B - Traslado del material precompostado:** luego de tener todos los materiales y elementos listos, se procede a llevar todo el material precompostado hasta las canastillas o camas, dependiendo del caso; en esta parte hay que ser muy cuidadosos en el proceso, puesto que, de acuerdo con las recomendaciones de Sepúlveda y Alvarado (2013), esta mezcla tiene que ser homogénea, de modo que se logre formar una capa que tenga entre 5 y 10 cm de altura a lo largo de todo el contenedor. De igual manera, es esencial recordar que, por ningún motivo, este sustrato debe ser compactado con cualquier elemento; de ser así, es probable que se impida la circulación de agua, aire y de las lombrices, dando lugar a malos olores y pérdida de todo el proceso de lombricompostaje.



Paso 6) Introducción del pie de cría

Se da inicio a la introducción de las lombrices rojas californianas al material orgánico; para ello es necesario prestar mucha atención a las siguientes indicaciones:

- En caso de que se tenga **camas para lombricompostaje**, lo ideal es emplear entre 7 y 10 kilogramos de lombrices rojas californianas por cada metro cuadrado. Cabe señalar que, únicamente se las puede poner por encima del sustrato preparado, de modo que no hay necesidad de agregar más producto sobre ellas; de esta forma, se puede saber más adelante si estas comienzan a profundizar o no.

Otros autores, como Somarriba y Guzmán (2004), han propuesto las cantidades adecuadas de lombrices conforme al tipo de actividad que se desarrolle, como se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9

Cantidad de lombrices a manejar de acuerdo al tipo de explotación

Explotación	Área de producción (m ²)	Cantidad de lombrices (kg)
Pequeña escala	3	30
Mediana escala	50	500
Escala comercial	100 o más	1000 o más

- Si se maneja **canastillas**, lo indicado es situar cuidadosamente un kilogramo de lombrices por cada metro cuadrado de sustrato; pues, considerando las indicaciones de Roben (citado por Sepúlveda y Alvarado, 2013) en un kilogramo de lombriz californiana existen alrededor de 3.600 lombrices, número que resulta suficiente para instalar el pie de cría en estas situaciones.

Seguidamente, es pertinente comprobar que los niveles de humedad en el sustrato no sean menores al 70 % ni mayores al 80 %, puesto que si en el medio hay un exceso de agua, entonces, la entrada de oxígeno al sistema estará limitada, produciendo así la descomposición del material y, con ello, la muerte de las lombrices; si el medio está muy deshidratado, la lombriz tiende a rechazar el alimento (González-Rosales et al., 2012); para este último caso, se recomienda agregar el agua suficiente hasta comprobar que el porcentaje de humedad esté dentro de los valores recomendados.



Inmediatamente después, se debe situar las canastillas en un lugar ventilado y con muy poca iluminación, por un periodo de 24 horas; en el caso de los lechos, se puede cubrir con un manto negro. Pasado este tiempo de un día, se debe corroborar que las lombrices estén activas y hayan profundizado en el material procesado (Martínez et al., 2015).

Nota importante: únicamente se debe comprar lombrices rojas californianas cuando se esté comenzando a aplicar toda esta metodología de lombricompostaje por primera vez; esto sucede porque las lombrices rojas presentan una alta capacidad de reproducción, iniciando el proceso de apareamiento aproximadamente cada semana; por ende, no hay necesidad de gastar más recursos financieros para la obtención de un pie de cría.

Paso 7) Seguimiento y control del lombricompostaje

Después de que se haya introducido el pie de cría, es necesario dejar pasar un tiempo prudente de 7 a 15 días, constatando cómo está el proceso de lombricompostaje, pues es en este periodo cuando, generalmente, se puede encontrar ciertos resultados en la transformación del alimento, donde se podrá observar la formación de pequeños grumos de color café oscuro. Esto indica que, las lombrices han transformado el precompostaje y por ello no cuentan con mucho sustrato que descomponer; en este orden de ideas, es pertinente proporcionar un nuevo material precompostado encima de la primera capa.

La cantidad de alimento que se suministre a lo largo de los contenedores puede llegar hasta los 5 a 10 centímetros de altura, pues esto depende de la densidad poblacional, rapidez de consumo del sustrato y el alimento disponible. Desde este punto de vista, se debe enfatizar que este proceso se puede repetir con una frecuencia de 8 a 10 días (Sepúlveda y Alvarado, 2013), dependiendo de la velocidad en que las lombrices acaben con el material administrado pues este procedimiento se puede reiterar hasta que logre la altura del contenedor (canastilla o cama) que debe tener como máximo, 40 centímetros.

Es indispensable estar atento al estado del lombricompostaje, dado que existen diferentes factores que pueden afectar el proceso; es aconsejable realizar monitoreos, al menos una vez por semana, pues es posible prevenir la aparición de plagas, malos olores, enfermedad y muerte de las lombrices. Cabe mencionar que, generalmente, las fallas son evidentes y pueden ser identificadas por medio de los siguientes indicadores:



- Actividad de la lombriz.
- Acumulación de material no procesado.
- Contenido de humedad aparente.
- Temperatura.
- Acidez.

Al respecto, cabe mencionar que, para el mantenimiento del lombricultivo, hay que estar verificando el estado del sustrato; en este orden de ideas, todo lombricultor debe comprobar las cuatro variables de control que a continuación se explica:

• **Humedad.** La lombriz roja californiana es un invertebrado que carece de estructura ósea; por tanto, no posee dientes que le permitan masticar la comida, motivo por el cual requiere un sustrato que esté lo suficientemente húmedo como para absorberlo; además, es pertinente resaltar que su respiración se realiza mediante su piel y para ello también necesita que el medio en el que habita cuente con cierta cantidad de humedad. En este caso, es aconsejable mantener los niveles adecuados de este parámetro; se menciona los puntos clave a considerar:

1. Pasadas las 24 horas de haber dispuesto el material precompostado junto con el pie de cría, es pertinente agregar agua nuevamente a los lechos o canastillas.

2. Los riegos que se realice no deben ser aplicados con flujos de agua demasiado grandes ni a presión, dado que puede llegar a ser contraproducente en la calidad del producto final. Es por ello que se debe hacer el riego varias veces, con un flujo de agua fino y suave, pues es recomendable emplear una manguera de tres cuartos ($\frac{3}{4}$) de pulgada para esta actividad.

3. De igual manera, se debe verificar periódicamente que la humedad del alimento esté entre valores de 70 a 80 %; un método muy útil para saber este dato sin la necesidad de emplear instrumentos es, tomar un puñado de este sustrato y, al apretarlo con la mano, debe escurrir apenas de unas 7 a 10 gotas de agua. De esta forma se comprueba que la humedad está en estos rangos sugeridos. Es menester resaltar que, generalmente, los riegos se los puede realizar una vez por semana en invierno y, si se está en verano, se puede aplicar hasta dos veces a la semana; esto depende de las condiciones climáticas del lugar.

4. Si se tiene temperaturas entre los 18 y 22 °C, únicamente se debe hacer un riego en el día determinado para hacer esta labor y, preferiblemente, llevar a cabo en horas de la tarde. Por otro lado, si hay temperaturas próximas a los 30 °C, entonces,



es conveniente efectuar dos riegos en dicho día, los cuales serán aplicados en dos momentos del día: uno por la madrugada y otro al atardecer; todo depende de la variación del clima en esta zona.

5. El tipo de agua que se vaya a usar para el riego no puede contener cloro, agroquímicos, compuestos químicos, veneno, pesticidas u otras sustancias que sean perjudiciales y que afecten negativamente a las lombrices.

6. Si se desea, se puede implementar un sistema tecnificado de riego, el cual puede resultar muy beneficioso al momento de optimizar la eficiencia de obtención del lombricompostaje. Vale recordar que esto implicaría cierta inversión de capital.

• **Aireación.** Al igual que las personas, las lombrices deben respirar para poder vivir; por este motivo, se requiere un ambiente que les proporcione las condiciones adecuadas y, el acceso al oxígeno; en este punto, uno de los aspectos a tener en cuenta por parte del lombricultor es, chequear que no exista compactación en el sustrato proporcionado a la lombriz roja californiana y, para esto, se ha recopilado ciertas recomendaciones muy útiles:

1. En caso de observar que el alimento está muy compactado, se procede a esponjar con una horqueta, procurando siempre ser lo más cuidadoso posible. No es necesario profundizar completamente en el alimento; basta con llegar hasta los 10 o 15 centímetros de la superficie (Mejía, 2000).

2. Para mejorar las condiciones de alimento, protección y porosidad del sustrato, es adecuado agregar la cantidad apropiada de material seco triturado, como paja, el cual sirve para mantener la esponjosidad del medio, proporcionando así, el espacio suficiente para la entrada de oxígeno al sistema.

3. Cuando se vaya a disponer las canastillas o camas en lugares cerrados, verificar que el ambiente tenga una buena aireación y, de ser necesario, es indispensable priorizar la entrada de oxígeno sobre la temperatura (Mejía, 2000).

4. Al momento de cubrir los contenedores con un material plástico que no contenga poros, se debe tener cuidado de que no entren en contacto directo con las entradas de aire de las camas de lombricompostaje o de las canastillas.

5. No se debe ejecutar volteos o procedimientos de aireación en el lombricompostaje, ya que generalmente es suficiente con el movimiento que hacen las lombrices, quienes son las encargadas de generar porosidad en el medio, aumentando el número de entradas de aire.



Cabe señalar que, es importante examinar todos los niveles de humedad, temperatura y compactación que llegue a tener el sustrato.

- **pH.** Esta es una variable de mucho cuidado porque, a través del desarrollo de la lombriz, autores como Ndegwa y Thompson (citados por Martínez et al., 2015) mencionan que, antes de proporcionar el alimento, se debe medir el pH del sustrato con un medidor de pH digital o, con cintas de papel indicador.

La revisión de este parámetro previene dificultades que puede haber con el tiempo; por otro lado, el descuido puede terminar en la muerte temprana de la lombriz, afectando negativamente la calidad y cantidad del humus. Por este motivo, es menester conocer los rangos óptimos, aceptables y perjudiciales del pH para las lombrices, al igual que las medidas que se puede adoptar si hay un aumento de acidez o alcalinidad en el medio, como se menciona a continuación:

Los pH perjudiciales para las lombrices son superiores a 8.5 e inferiores a 4.5, condiciones que generan un ascenso de la tasa de mortalidad de estos organismos invertebrados (Ndegwa y Thompson, citados por Martínez et al., 2015). En este orden de ideas, puede haber pérdidas del dinero que se ha invertido para la compra del pie de cría.

El límite de alcalinidad y de acidez que puede soportar la lombriz roja californiana se encuentra en un pH de 8 y 5, respectivamente (González-Rosales et al., 2012). Entonces, si este parámetro está muy cerca a estos límites o si los sobrepasa, puede darse otras problemáticas; por ejemplo, que las lombrices inicien un estado de latencia, desarrollen enfermedades y sean atacadas por la planaria, la cual es una plaga (Moya, 2011); del mismo modo, si el ambiente es muy ácido, los vectores como roedores y moscas también llegarán y podrán afectar a estos epigeos (Martínez et al., 2015).

Los ambientes más idóneos se caracterizan por poseer un pH que varía de 6.5 a 7.5, donde se genera un humus de buena calidad, con lombrices californianas sanas. Por otra parte, los sustratos que se acercan a un pH ideal son próximos a los 6.8 y 7.2. Estos son los medios que se caracterizan por presentar las mejores condiciones para hacer el lombricompostaje (Somarriba y Guzmán, 2004).

Por último, si existen circunstancias que figuren un peligro para el vermicompostaje dados sus bajos y altos niveles de pH, González-Rosales et al. (2012) recomiendan seguir dos indicaciones: 1) si el pH es muy elevado, indica que existe alcalinidad en el medio; para



ello es favorable aplicar pequeñas cantidades de vinagre en el agua para riego; de lo contrario, también existe un riesgo potencial de pérdida de nitrógeno del sustrato, dependiendo de la temperatura. 2) si el pH es muy bajo, quiere decir que el sustrato tiende a ser ácido y puede haber plagas como la planaria; para evitar esto, es adecuado emplear una dilución de cal con agua para irrigación en cantidades bajas; si se aplica estas dos alternativas, se puede llegar a neutralizar el pH hasta alcanzar a un valor cercano a 7.

- **Temperatura.** Es una variable decisiva para la reproducción y la eficiencia de consumo y digestión en las lombrices; este parámetro permitirá obtener un humus de excelente calidad si se maneja adecuadamente. En este sentido, Mejía (2000) menciona que la temperatura más ideal que debe tener el sustrato se encuentra entre los 16 y 22 °C. González-Rosales et al., (2012) argumenta que las temperaturas límite se amplían en un rango entre los 17 y 28 °C, siendo todos estos valores, los más aceptables para la supervivencia de la lombriz.

De otra parte, si se llega a menos de 15 °C, las lombrices tienden a entrar en un estado de latencia en la cual suspenden funciones vitales como: reproducirse, comer, crecer y generar vermicompostaje. Además, los huevos no pueden eclosionar hasta que las condiciones sean adecuadas. Si la temperatura supera los 30 °C, todas las lombrices cortan sus actividades biológicas y, si las condiciones son inferiores a los 0 °C, estas pueden morir. Con el fin de evitar estos inconvenientes, se sugiere algunos de los criterios más importantes recopilados de Mejía (2000) para el manejo de la temperatura del sustrato en el lombricompostaje:

- 1) Es muy útil y necesario emplear materiales como mimbres, ramas, cañas de maíz, paja, entre otros, para regular la temperatura en los contenedores de lombricompostaje en época de verano y, sobre todo, en los días más soleados, pues con estos elementos se debe cubrir los lechos o camas, para prevenir el aumento drástico de temperatura.
- 2) Asimismo, en el periodo de invierno es apropiado disponer de un sustrato más joven; es decir, de un producto precompostado que haya salido un poco antes de su proceso habitual, con el fin de aprovechar la temperatura que tenga, debido a que estuvo presente en la fase termófila del precompostaje.

También se puede hacer lechos hasta de 50 centímetros para mantener la temperatura adecuada para las lombrices, al menos en la parte inferior de la cama. Otra opción viable es cubrir los



lechos o canastillas, pero teniendo bastante cuidado de no tapar la circulación de aire en el sistema, pues esta práctica debe ser realizada por lombricultores que tienen más experiencia.

Seguidamente, a partir de la información suministrada por Mejía (2000), se elaboró la Tabla 10, que contiene los valores más representativos de cinco variables de control, a los que las lombrices rojas californianas responden de manera óptima, adecuada y cuándo corren peligro de muerte. Estos datos son:

Tabla 10

Parámetros a considerar en el alimento de la lombriz roja californiana

Parámetro	Nivel óptimo	Nivel adecuado	Peligro de muerte
Temperatura	20 °C	18 °C y 24 °C	< 5 °C y > 30 °C
Humedad	75 %	70 % y 80 %	< 70 % y > 80 %
pH	6.5 y 7.5	6.0 y 8.0	< 4.5 y > 8.5
Conductividad eléctrica	2.5 mmhos/cm	3.0 mmhos/cm	> 8.0 mmhos/cm
Proteínas	13 %	7,5 % y 13 %	< 7,5 % y > 13 %

Paso 8) Cosecha del lombricompostaje y de lombrices

Para dar lugar al proceso de cosecha del lombricompostaje, Martínez et al. (2015) expresan que, después de haber iniciado el funcionamiento del sistema de lombricompostaje, es necesario esperar de tres a cuatro meses, momento más adecuado para realizar la recolección tanto de lombrices como para el vermicompostaje y, una vez que este procedimiento haya terminado, el producto final tendrá las siguientes características:

- El humus adquiere un color café oscuro
- Todo el material está conformado por una agrupación de pequeños grumos de similar tamaño que se fueron formando en el proceso
- El aroma del producto es similar al olor que tiene la tierra húmeda
- Ya no se distingue los elementos que conforman el lombricompostaje, pues se puede observar una apariencia homogénea en todo el compostaje
- La densidad poblacional de las lombrices se ha duplicado.



Una vez que el lombricompostaje vaya adquiriendo estas particularidades, se procede a separar el humus sólido de las lombrices, para lo cual existe cierta cantidad de técnicas que pueden ayudar a separar estos dos elementos; entre ellas:

- Sistema de lomo de toro.
- La separación a mano.
- El cribado exterior.
- El cribado interior.
- El método de migración horizontal.

Conforme a esta lista de cinco opciones, cabe destacar que la técnica más utilizada y una de las más efectivas, es la **metodología del cribado interior**, la cual se selecciona para emplearse en el presente manual. En este sentido, para llevar a cabo esta alternativa, se debe cumplir las siguientes indicaciones, conforme al orden presentado:

Punto A - Ayuno de lombrices: para comenzar con la cosecha, González-Rosales et al. (2012) mencionan que, en primer lugar, se hace necesario dejar de suministrar alimento a las lombrices por un periodo entre una o dos semanas antes de que finalice todo el proceso de lombricompostaje, de modo que, estas empiecen a consumir todo el sustrato faltante y, al cabo de este tiempo, estarán preparadas para desplazarse hasta un nuevo medio que contenga la comida que ellas necesitan.

Punto B - Contenedores adicionales: siempre hay que tener a disposición unos contenedores libres y desocupados, que puedan ser empleados para reiniciar el proceso de lombricompostaje al extraer todas las lombrices.

Punto C - Poner una malla: tras haber finalizado las dos semanas o el tiempo que haya tomado el ayuno, se procede a cubrir el lecho o la canastilla con una malla plástica que contenga una capa de material precompostado de 10 o 15 centímetros de altura; adicionalmente, esta malla debe contener orificios lo suficientemente grandes como para que las lombrices puedan pasar sin problemas, aproximadamente con 5 milímetros de diámetro.

Hecho este procedimiento, se deja que la malla actúe por un tiempo aproximado de 3 a 5 días; así se permite el traslado progresivo de las lombrices hasta la capa de sustrato que está en la malla sobre el vermicompostaje.

Igualmente, es menester aclarar que esta actividad se repite un total de dos veces, con el objetivo de asegurar que las lombrices salgan completamente del humus sólido que se va a comercializar;



es fundamental cerciorarse que, el humus resultante no contenga huevos o lombrices.

Cabe mencionar que, el alimento sobre la malla para las lombrices tuvo que ser puesto a prueba con anterioridad, para saber si la lombriz aprueba o desaprueba este sustrato; de esta forma, el sustrato puesto sobre la malla atraerá al mayor número de lombrices.

Punto D - Retirado de la malla: cuando se termine el tiempo de espera, se retira la malla plástica junto con las lombrices dentro y, a estas se las ubica en un contenedor que ya esté listo con un nuevo sustrato, para ser empleado por ellas.

Punto E - Extracción del humus: retirada la malla plástica, es necesario llevar todo el lombricompostaje por medio de una pala hacia una carretilla; de esta forma, se debe transportar todo el material procesado hasta un espacio de sombra en el cual se deja el abono orgánico en una superficie de plástico hasta que pierda aproximadamente el 50 % de su humedad total; esto llevará alrededor de 3 a 5 días, dependiendo de las condiciones climáticas (Sepúlveda y Alvarado, 2013).

Paso 9) Almacenamiento y comercialización

Finalmente, tras la culminación de este proceso, se hace indispensable usar un cernidor metálico con un diámetro de tamiz entre 4 y 5 milímetros. Luego se procede a filtrar todo el compost hasta obtener un compuesto libre de impurezas como raíces, piedras, palos, paja y demás elementos que no son esenciales. Posteriormente, se hace el respectivo pesaje para proceder con el almacenamiento del lombricompostaje en sacas o costales para, finalmente, poder comercializarlos.

6.2 Compostaje de Pila por volteo

El compostaje se define como un producto que resulta de la degradación de diferentes RSO que llegan de las plazas de mercado (Figura 20). Según Mendoza (2012), el compost es un fertilizante orgánico que surge de un proceso de transformación aeróbica de los materiales orgánicos como, por ejemplo, los residuos de vegetales y animales, degradados por la acción de los microorganismos presentes en el suelo. Cabe mencionar que este es un compuesto que actúa como una enmienda orgánica, favoreciendo la estabilidad y estructura de la tierra gracias a sus nutrientes, así como también, puede utilizarse como un abono para fertilización en jardinería y cultivos; incluso, para sacar un provecho económico a partir de la comercialización del compost (Wardle, citado por Carvajal et al., 2019).



Figura 20

Compostaje a partir de residuos sólidos orgánicos



Fuente: Wunderstock, 2021.

Considerando lo anterior, se dice que es un proceso aerobio, debido a que existe presencia de oxígeno, que se realiza a través de volteos y, es muy necesaria, para poder alcanzar temperaturas elevadas, acelerar su transformación y eliminar olores, parásitos y agentes patógenos (Mendoza, 2012).

Este producto surge como una propuesta que se emplea para darle un segundo uso a los RSO, ayudando a minimizar y mitigar los impactos negativos sobre la salud humana y el medio ambiente. El objetivo principal del compostaje es disminuir el volumen de residuos producidos por actividades comerciales, para luego transformarlos en material orgánico, como el fertilizante que puede ser usado como enmienda y sustrato para suelos (Mendoza, 2012).

6.2.1 Sistemas de compostaje

Actualmente, existen diferentes maneras de ejecutar el proceso de compostaje; según Dios-Pérez (2008), el objetivo de los distintos procedimientos de compostaje realizados a partir de RSO es intentar alcanzar, en todos los casos, parámetros óptimos de aireación y temperaturas, dado que, al obtener valores que oscilan entre 40 y 65 °C, se elimina toda clase de organismos patógenos, la actividad microbiana es más acelerada y, por ende, se degrada mayor cantidad de material orgánico. Teniendo en cuenta esto, se puede inferir que un sistema efectivo es aquel que puede transformar gran parte de material orgánico en un corto plazo.



Los sistemas para llevar a cabo el compostaje pueden ser clasificados en dos grupos, dependiendo del medio en el que sean realizados y, de su movimiento (estáticos o dinámicos); así, es posible distinguir en sistemas abiertos y cerrados. En la Tabla 11 se puede observar algunos ejemplos:

Tabla 11

Clasificación de sistemas de compostaje, dependiendo de su movimiento

Movimiento	Sistemas Abiertos	Sistemas Cerrados
Estáticos	Pilas estáticas con aireación forzada	Reactores verticales
	Pilas estáticas con aireación natural	Túneles de compostaje
Dinámicos	Pilas dinámicas o, por volteo	Reactores horizontales

- **Sistemas abiertos o pilas de compostaje.** Tienen como generalidad, la agrupación del material orgánico de manera homogénea y por montones, adoptando una figura triangular o cuadrada. Los residuos a compostar deben ser apilados de tal forma que su masa no rebose la pila, debido a que, por su peso pueden ser comprimidos y, consecuentemente, se reduce el espacio disponible para que el aire pueda quedar retenido, generando así condiciones anaeróbicas, al igual que, casi siempre tiene lugar la compactación de la masa de residuos. Lo recomendable es estar pendientes con los volteos y dar estructura a la pila. Por el contrario, si la altura del material es muy baja, la temperatura desciende rápidamente; por tanto, provoca la disminución de humedad y, seguidamente, no se logra eliminar por completo los microorganismos patógenos (Dios-Pérez, 2008).

Acorde a lo anterior, los RSO a compostar deben ser dispuestos adecuadamente, sin que su masa sea demasiado grande o muy pequeña, ya que se podría complicar su transformación, de suerte que, los materiales deben ser apilados sin que se compriman demasiado, para facilitar el proceso de volteo, que puede ser manual o mecánico.

- **Pilas dinámicas o por volteo.** Para el sistema de pilas por volteo, los residuos son dispuestos al aire libre, siendo así, oxigenados periódicamente de forma manual o mecánica, con el fin de lograr niveles óptimos de temperatura, humedad, higiene y, una buena calidad de compost; en dicho sistema, el periodo de volteos es directamente proporcional con el tiempo de transformación del compostaje.



Si el intervalo de tiempo por volteos es muy amplio, se presenta un déficit de oxígeno, el cual requiere de más tiempo para la obtención del compost; pero, si el intervalo de tiempo es muy mínimo, se produce una pérdida de calor y generaría una afectación al desarrollo óptimo de algunos microorganismos, ya que estos están en constante cambio y son importantes para la ejecución en el proceso.

Para ello se sugiere una frecuencia adecuada (1 o 2 veces a la semana) para realizar los volteos, a fin de mejorar la actividad microbiana para intensificar la descomposición del material orgánico y así, reducir tiempo para la obtención del fertilizante para suelos (Mendoza, 2012). Para realizar esta metodología, se debe contemplar una serie de cuatro etapas que permitirán realizar adecuadamente este procedimiento de compostaje aerobio; para ello, se empleó distintas fuentes bibliográficas; entre ellas, la más representativa fue la de Dios-Pérez (2008) quien aporta los cuatro puntos que se describe en la Tabla 12:

Tabla 12

Descripción de las cuatro etapas que se requiere para elaborar el compostaje

Etapa	Descripción
1. Etapa mesófila	En el inicio de esta etapa, los RSO a compostar se encuentran generalmente a temperatura ambiente, dependiendo de su tiempo de almacenamiento; normalmente, a temperaturas menores a 40 °C; así, empieza la degradación del material orgánico, por la acción de los microorganismos llamados mesófilos , que se van multiplicando eventualmente, de acuerdo con su cinética de crecimiento, generando una gran actividad metabólica, ocasionando la transformación de algunos compuestos como azúcares y aminoácidos, los cuales tienen un contenido calórico alto e incrementan la temperatura de la masa de residuos. En este procedimiento, el pH disminuye ligeramente por la producción de ácidos grasos.



2. Etapa termófila

En esta fase, a medida que va incrementando la temperatura y supera los 45 °C, los microorganismos mesófilos mueren o se encapsulan, para reaparecer en las siguientes etapas y luego aparecen los microorganismos termófilos, encargados de transformar Nitrógeno (N), en Amoníaco (NH₃) y, por el pH, tienden a la alcalinidad, al alcanzar temperaturas entre 60 °-65 °C; estos microorganismos cesan y aparecen nuevas bacterias llamadas esporógenas y actinomicetos, las cuales tienen como objetivo, descomponer materiales orgánicos como las ceras, las proteínas y hemicelulosas.

Teniendo en cuenta lo anterior, los cambios de temperatura afectan a la población bacteriana y de microorganismos, ya que cada una tiene condiciones ambientales distintas para su supervivencia y desarrollo; en este sentido, cuando una comunidad está empezando a aparecer y a desarrollarse, otra ya está desapareciendo.

3. Etapa de enfriamiento

La temperatura en esta etapa disminuye por debajo de los 45 °C, donde los microorganismos termófilos disminuyen; al alcanzar los 40 °C los microorganismos mesófilos empiezan a aparecer de nuevo y el pH tiende a volverse ácido.

Las tres etapas expuestas pueden ser realizadas en un tiempo corto o extremadamente largo, como consecuencia de la cantidad y tipo de material orgánico que se utiliza para efectuar el compostaje y de la dedicación y exactitud que se tenga para controlar parámetros como pH, humedad, temperatura, entre otros.



En este proceso, la temperatura ya no presenta fluctuaciones tan dispersas como en las tres etapas anteriores. Esto surge a causa de las limitaciones de la degradación, debido a que la fuente de carbono en esta fase es diferente (lignocelulosa u otras fuentes de difícil degradación). En esta etapa la temperatura tiende a estabilizarse (temperatura ambiente) y los microorganismos se dedican solamente a la producción y formación de ácidos húmicos.

4. Etapa de maduración

Para esta última fase, el pH alcanza niveles alcalinos y la temperatura disminuye; seguidamente, la actividad microbiana mesófila y la microfauna invaden completamente el material orgánico, surgiendo una competencia entre ellos para su alimentación y supervivencia, de tal manera, que es aquí, cuando aparece la formación de antibióticos, siendo estos los más importantes para la transformación de la masa orgánica. Finalmente, las reacciones que ocurren mediante la degradación del material orgánico, generan como producto definitivo, el compost o humus estabilizado.

Respecto a las etapas expuestas del proceso de compostaje, se debe tener en consideración los diferentes parámetros que se presentan en la ejecución del compostaje, los cuales definen la calidad del producto finalizado. Según Mendoza (2012), para el resultado final del compost es necesario evaluar parámetros químicos, microbiológicos y físicos, con el propósito de asegurar el uso y la comercialización del fertilizante, que deben cumplir con diferentes estándares de calidad europeos, según el Real Decreto 824 del 8 de julio de 2005, para productos fertilizantes. En la Tabla 13 se expone los rangos permisibles, teniendo en cuenta los parámetros más significativos para el compostaje.

Tabla 13

Parámetros permisibles para el compostaje según el Real Decreto 824/2005

Parámetro	Unidades	Rangos
pH	-	6,5 - 8
Humedad	(%)	40 - 60
Diámetro de partículas	(mm)	5 - 10
Nitrógeno total	(%)	0,4 - 3,5



Carbono orgánico	(%)	8 - 50
Fósforo (P_2O_5)	(%)	0,3 - 3,5
Materia orgánica	(%)	25 - 50
Cenizas	(%)	20 - 65
Potasio (K_2O)	(%)	0,5 - 1,8
Relación de C/N	-	25:1 - 30:1

Según Dios-Pérez (2008), para conseguir un buen fertilizante de suelos se debe considerar las diferentes variables que se dan en el proceso, a fin de crear condiciones óptimas para el compostaje. En la Figura 21 se indica la relación de los parámetros fisicoquímicos en el compostaje:

Figura 21

Parámetros fisicoquímicos a tener en cuenta en el compostaje



Fuente: Sepúlveda y Alvarado, 2013.

Dado lo anterior, se describe los diferentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que se debe evaluar en la ejecución del proceso, según lo indica Mendoza (2012).

6.2.2 Parámetros químicos a tomar en cuenta para el desarrollo del compostaje

- **pH.** Este parámetro indica qué tan ácido, alcalino o neutro es un producto; para este proceso se necesita un pH neutro (6.5 a 7.5), ya que interviene principalmente en la actividad microbiana; los microorganismos son los responsables directos de la degradación de residuos y no toleran niveles muy ácidos o muy alcalinos (Dios-Pérez, 2008).



Generalmente, este parámetro, al inicio del proceso, depende del tipo de material con el que se vaya a realizar. Por lo regular, un pH inicial es ácido, variando en un rango entre 5 y 7, a menos que estén presentes sustancias alcalinas; en el transcurso del proceso se evidencia valores alcalinos debido a la producción de amoníaco durante la transformación de las proteínas, a causa de la actividad bacteriana; las bacterias pueden tolerar un pH entre 6 y 7.5, mientras que los hongos aceptan un rango de pH que va desde 5 a 8 (Mendoza, 2012).

- **Materia orgánica.** Mendoza (2012) menciona que la actividad microbiana es directamente responsable de la transformación de los RSO a compostar al inicio del proceso, con ayuda de enzimas especializadas, las cuales son las encargadas de controlar la velocidad en que la materia orgánica es degradada; algunas de las enzimas más fundamentales que participan en la ejecución del compostaje son: las celulosas, ureasa, fosfatas y arilsulfatasa.
- **Carbono orgánico.** El carbono orgánico actúa como fuente generadora de energía para los microorganismos, siendo estos los responsables de la transformación de los RSO, pues en algunas ocasiones, en el transcurso del procedimiento, se puede presentar un exceso de este compuesto, que afecta directamente en el tiempo de la degradación, debido a una menor disponibilidad de nitrógeno, causando un retraso en la actividad microbiana (Dios-Pérez, 2008).
- **Balance de nutrientes y la relación C/N.** El carbono aporta energía a la actividad de los microorganismos, puesto que acelera los procesos metabólicos y, el nitrógeno es totalmente necesario para sintetizar proteínas. El equilibrio de estos dos elementos es importante, ya que determina la velocidad de transformación de sustrato; la relación de estos se debe presentar aproximadamente entre 25:1 y 30:1, con el objetivo de mantener un crecimiento y desarrollo óptimos de los microorganismos (Sepúlveda y Alvarado, 2013).

En este sentido, se determina como una relación baja, cuando el nitrógeno se presenta en altas concentraciones y, por consecuencia, la concentración de amoníaco disminuye, generando alto consumo de oxígeno y presentando condiciones anaeróbicas, de tal forma que, la pila empieza a presentar olores indeseados. Por el contrario, en una relación alta, disminuye la concentración de nitrógeno y afecta al crecimiento de los microorganismos, de tal manera que el material se enfría y su descomposición se vuelve relativamente lenta (Dios-Pérez, 2008).



6.2.3 Parámetros físicos a tomar en cuenta para el desarrollo del compostaje

- **Temperatura.** Este parámetro es fundamental, ya que es un indicador directo de la actividad microbiológica, dado que los distintos grupos de microorganismos trabajan mejor en condiciones específicas de temperatura.

La variación de temperatura puede darse mediante el desarrollo de las etapas de este proceso, dado que, la descomposición de los residuos orgánicos interactúa con diferentes grupos de microorganismos. A continuación, en la Tabla 14 se detalla la relación existente entre la temperatura y las cuatro etapas del compostaje.

Tabla 14

Relación entre la temperatura y las cuatro etapas desarrolladas en el compostaje

Etapa	Temperatura (°C)
Etapa mesófila	20 a 45
Primera etapa termófila	45 a 65
Segunda etapa termófila	65 a 75
Etapa de enfriamiento	75 a 45
Etapa de maduración	45 a 25

- **Humedad.** Según Dios-Pérez (2008), la humedad es un componente que incide principalmente en la optimización del compostaje con ayuda del agua (Figura 22), ya que es indispensable para la actividad biológica de los microorganismos, dado que el agua es el medio de transporte para ciertos elementos solubles y nutrientes. El contenido de agua disponible en el material orgánico a compostar, los microorganismos, el oxígeno disponible y la temperatura, son parámetros que se relacionan directamente con la humedad. Cuando sucede la degradación de la materia orgánica, la humedad debe encontrarse en un rango entre 40 y 70 %, dependiendo de los RSM utilizados y la metodología de compostaje. No obstante, los elevados contenidos de esta pueden impedir la difusión de aire en la pila, generando un efecto anaerobio, que significa que los microorganismos no tendrían oxígeno, de modo que desaparecerían y, la actividad microbiana patógena tomaría el control.



Por el contrario, si la humedad se presenta por debajo del 20 %, disminuye la temperatura y así mismo, la actividad de los microorganismos, formando un proceso de transformación de residuos muy lento hasta, finalmente, detenerse. Si se llega a presentar un ambiente seco en la pila, los microorganismos producen esporas, siendo estas expulsadas al ambiente, pudiendo originar impactos negativos en la salud humana, como enfermedades respiratorias y alergias.

En función de lo anterior, se determina que un intervalo óptimo de humedad debe presentarse entre el 40 y 70 %, para los distintos tipos de residuos a comportar; se puede obtener este intervalo mediante la realización de volteos periódicos en la pila. Según la NTC 5167 (ICONTEC, 2011), al estar finalizado el proceso, la humedad debe alcanzar niveles de 35 %.

Figura 22

Humedad óptima en el material orgánico a compostar



Fuente: Visualhunt, 2021.

- **Olor y Color.** El compost presentará un color que variará según la etapa del proceso y también, dependerá del tipo de RSO que se utilice; pero, generalmente, se observa en color marrón oscuro, según el grado de maduración y estabilidad en la que se encuentre (Figura 23). Su olor no debe ser desagradable; normalmente, en la fase final de este procedimiento se debe percibir un olor a tierra de bosque húmedo.



Figura 23

Color óptimo del compostaje



Fuente: Everypixel, 2022.

6.2.4 Parámetros microbiológicos a considerar en el compostaje

Como bien se ha mencionado, los microorganismos son un elemento muy importante para la degradación de todo material orgánico; aproximadamente el 95 % de estos lo conforman las bacterias y los hongos y, el 5 % restante, los actinomicetos y protozoos (Mendoza, 2012). En este sentido, se determina que los organismos partícipes en este proceso son heterótrofos; esto significa que adquieren las concentraciones de carbono (C) y nitrógeno (N) a partir de los RSO que se usa para compostar.

Al transcurrir el proceso de compostaje, se evidencia cuatro etapas (ver Tabla 12), en las cuales ocurren cambios importantes en el desarrollo de los microorganismos, debido a los diferentes factores tanto físicos como químicos; entre ellos, la humedad, el pH, la temperatura, etc. Algunas especies de microorganismos se reproducen, mientras otras empiezan a desaparecer, para dar lugar al crecimiento de otras comunidades microbianas.

En la Tabla 15 se da a conocer los índices de calidad de los microorganismos existentes en el compost. Cabe destacar que, estos datos son un aproximado de la cantidad de población microbiana que puede estar presente en el compost, para usarlo como fertilizante en suelos o en plantas.



Tabla 15

Índices de calidad microbiológica del compostaje

Grupos Funcionales	UFC/g de Compost
Bacterias totales	5×10^{10}
Hongos totales	$1 \times 10^3 - 1 \times 10^7$
Actinomicetos totales	$1 \times 10^4 - 1 \times 10^8$
Bacterias que fijan el nitrógeno	1×10^5
Pseudomonas	$1 \times 10^3 - 1 \times 10^4$
Salmonella	No se presenta en 25 g compost

Fuente: Bonilla y Mosquera, 2007.

6.2.5 Determinación del área requerida para el compostaje de pilas por volteo

Contemplando los anteriores procedimientos y pasos para elaborar el compost, también se debe considerar las diferentes áreas para efectuar este proceso de la mejor forma, como los siguientes:

1. Área de recepción: en esta zona se dispone y almacena todos los RSO recolectados de las plazas de mercado, para luego realizar su clasificación apartando los residuos y elementos no deseados, que pueden afectar el proceso.

2. Área de triturado: destinada para recibir todos los residuos de gran tamaño, para ser picados o triturados, a fin de ayudar a acelerar la degradación.

3. Área de biodegradación o compostaje: en este lugar se realiza la formación de las pilas, para luego disponer todos los residuos triturados uniformemente, capa por capa en cada pila. En esta área también se realiza los riegos, los volteos, el secado del compost y la medición de parámetros como la humedad y la temperatura.

4. Área de tamizado: espacio donde se efectúa el cribado del compost, para separar todos los residuos que no alcanzaron a degradar completamente; para ello se utiliza tamices o una máquina llamada vibro tamizadora.

5. Área de almacenamiento del producto final: zona donde se dispone todo el material compostado en sacos o en recipientes, para luego ser llevado a comercializar.

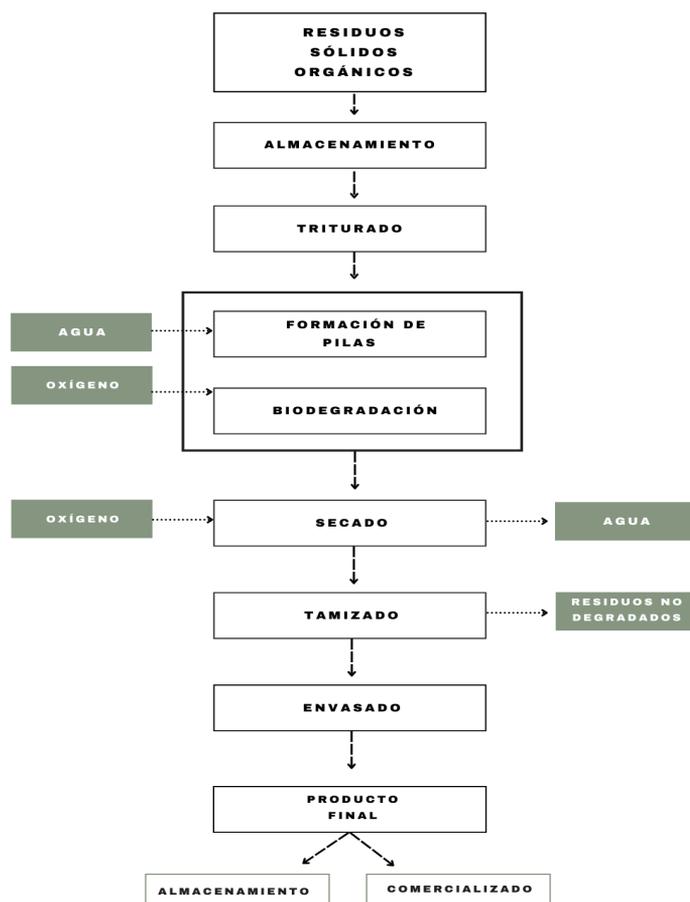


6. Área de mantenimiento: en este sitio se guarda los elementos utilizados para el proceso de compostaje, como: el termómetro, palas, sacos, trituradora y demás herramientas que se utilizará para el mantenimiento y limpieza del lugar.

En la Figura 24 se muestra un diagrama donde se relaciona todas las operaciones unitarias que se presentan mediante los procedimientos para la elaboración del compost:

Figura 24

Operaciones unitarias en el transcurso del procesamiento del compostaje



Fuente: Puente, 2017.

Para la ejecución de la metodología de compostaje de pila por volteo de forma manual o mecánica, se ha resumido una serie de doce pasos, que permitirán realizar adecuadamente este procedimiento, el cual está fundamentado en Sepúlveda y Alvarado (2013) y Mendoza (2012).



Paso 1) Selección de un área para llevar a cabo el compost en pilas por volteo

En primera instancia, es necesario seleccionar un sitio adecuado, el cual será destinado especialmente para construir la infraestructura de las pilas para la ejecución del compostaje; así, se asegurará un lugar determinado para almacenar y guardar todos los instrumentos y materiales que son indispensables para desarrollar esta alternativa; en ese marco de ideas se debe adecuar el área seleccionada, definiendo sus límites y acondicionando toda la zona, como se puede visualizar en la Figura 25.

Figura 25

Delimitación y adecuación del área de trabajo para el compostaje



Paso 2) Preparación del terreno para ejecución del compost

Una vez elegido el lugar de trabajo, se debe acondicionar limpiando elementos indeseados que puedan afectar negativamente el proceso de compostaje, como: malezas, piedras y ramillas. Del mismo modo, realizar una nivelación en el suelo, al menos del 2 %, para poder drenar excesos de agua cuando se realice el respectivo riego al material a compostar (Figura 26).



Figura 26

Adecuación del terreno para efectuar el compostaje de pila por volteo



Nota importante: se recomienda implementar un techado con material plástico y refuerzo de acero, con el fin de manejar la humedad, sobre todo si se realiza este proceso en lugares donde hay frecuentes precipitaciones pluviales.

Paso 3) Dimensionamiento de las pilas de compostaje

El dimensionamiento para las pilas de compostaje está ligado a parámetros como: humedad, aireación, tipo de material a compostar y temperatura, de tal manera que influyen inmediatamente en la transformación de los RSO que se va a compostar.

Para esta metodología no existen dimensiones exactas, pero sí se sugiere construir las pilas mecánicas de manera alargada (Figura 27), con una sección triangular o trapezoidal, con las siguientes medidas:

- Ancho: puede estar entre 1,2 m y 1,8 m.
- Altura: puede estar entre 1 m y 1,5 m.
- Longitud: puede ser de 5 m o mayor, dependiendo de la disponibilidad del área.

Para complementar, hay que tener presente que la altura que se vaya a manejar, depende del clima de la zona donde se implemente esta tecnología, dado que, en zonas cálidas la pila no debe excederse en altura, debido a que puede incrementar la temperatura. En climas fríos, la altura debe ser máxima, para así obtener temperaturas óptimas.



Nota importante: las dimensiones también dependen de, si la planta será de operación manual o mecanizada. Si es manual, el volumen recomendado es de un metro cúbico, por razones de seguridad industrial. Las pilas con forma trapezoidal tienden a tener mayor estabilidad estructural y, en consecuencia, son menos propensas a derrumbes.

Figura 27

Construcción de pilas para la ejecución del proceso de compostaje de pila por volteo



Nota importante: para el diseño de una pila trapezoidal se sugiere los siguientes dimensionamientos:

- Alto: 1.2 metros.
- Largo: 1.6 metros a 4 metros, implementando estructuras de soporte lateral.
- Ancho: 1 metro.

Paso 4) Recolección, clasificación y triturado de los RSO de la plaza de mercado

Una vez realizado el dimensionamiento de la estructura en la que se hará el compost, se procede a asegurar que todos los RSO estén dispuestos en las bolsas de color verde, los cuales deben ser transportados hasta el sitio donde se llevará el proceso; para poder llevar a cabo de mejor manera este proceso, se explica lo siguiente:



Punto A - Recolección: para el proceso de compostaje se debe recolectar todos los RSO; es decir, todo tipo de verduras y frutas podridas, cáscaras de toda clase, residuos de poda como ramas, hojas, hierbas, así como también, material sobrante de frutas y verduras, entre otros (ver Figura 28).

Figura 28

Recolección de RSO para la elaboración del compostaje de pila por volteo



Se sugiere recolectar todos los RSM que son producidos en la plaza de mercado, con un vehículo que esté diseñado especialmente para almacenarlos adecuadamente, con el propósito de aumentar la masa del compost y reducir la contaminación en el medio ambiente por el inapropiado uso de los mismos.

Punto B - Clasificación: todo el material orgánico recolectado de las bolsas verdes se debe llevar al sitio de trabajo para efectuar su clasificación, apartando todos los RSM y elementos que no sean adecuados para esta operación y, separando los plásticos, papeles, residuos de comida, piedras, entre otros; hecho esto, los RSO que sean seleccionados pasarán al proceso de triturado.



Figura 29

Clasificación de los residuos sólidos de las plazas de acuerdo al nuevo código de colores



Nota importante: todos aquellos residuos que vayan a ser compostados deben ser seleccionados correctamente, asegurando que no tengan ningún tipo de contaminación; esto es, que el material orgánico no haya tenido contacto con residuos peligrosos como: pilas, baterías, medicamentos vencidos; tampoco deben estar cerca de cualquier tipo de agroquímico o residuos con COVID-19.

Punto C - Picado y triturado: llevar los RSO a un contenedor para que puedan ser picados de manera manual o con ayuda de maquinaria (1 a 5 cm), con el objetivo de facilitar la degradación de este material y así conseguir una masa homogénea que pueda facilitar su degradación y que, además, se aplique en las pilas o montones, formando una capa con más de 10 centímetros de altura (Figura 30).



Figura 30

Picado de los RSO de forma manual para el compostaje de pila por volteo



Paso 5) Formación de pilas para el compostaje con material orgánico

Respecto a lo anterior, cabe decir que, para obtener el compost se requiere de cierto tiempo y cuidados, puesto que, mediante el proceso existen diferentes etapas (ver Tabla 12) las cuales requieren hasta 13 meses para su culminación.

En este sentido, una vez establecida la cantidad de material orgánico a compostar, se inicia la formación de pilas de compostaje para su posterior transformación. Para ello, se sugiere ciertos puntos a tener en cuenta:

- Excavar aproximadamente 10 centímetros de profundidad en el suelo para la formación de las pilas (ver Figura 31).



Figura 31

Excavado para el dimensionamiento de pilas de compostaje



- Al tener la cantidad disponible de materia orgánica, se la debe depositar por capas en toda la zona establecida para formar las pilas (ver Figura 32).

Figura 32

Deposición por capas de material orgánico en pilas



Fuente: Pexels, 2022.



- Seguidamente, en el desarrollo de formación de pilas, se recomienda ir agregando agua y humedeciendo el material orgánico.
- Al humedecer el material orgánico se debe evitar la formación de lixiviados, con la finalidad de no interferir negativamente en el procedimiento del compost.
- Para optimizar el compostaje hay que percatarse de que no haya elementos orgánicos de gran tamaño, debido a que la transformación de RSM será más lenta; de esta manera, se debe garantizar que cumplan con una proporción adecuada (Figura 33).

Figura 33

Material orgánico a compostar



Fuente: Pixabay, 2022.

Paso 6) Frecuencia de volteos de la pila a compostar

Dependiendo del control de los diferentes parámetros en el proceso del compost, se puede definir su calidad, de modo que, es necesario hacer una revisión frecuente de cada parámetro y, también, realizar volteos seguidamente, para mantener un equilibrio en la humedad y la temperatura. La aireación en el proceso es muy importante, ya que aporta el oxígeno necesario para que la microbiota respire y sobreviva.

Para dar oxigenación a la masa orgánica hay dos métodos: el primero se hace mediante la aireación forzada con el equipamiento de maquinaria; y el segundo, con volteos periódicos manuales (ver Figura 35). Este último depende principalmente de la humedad, la fermentación del material orgánico y la temperatura.



Para llevar a cabo los volteos en las pilas, se recomienda los siguientes puntos:

- Realizar volteos en las pilas de compost, mínimo dos veces a la semana, dependiendo de las proporciones de material que se vaya a transformar.
- Airear las pilas de acuerdo con el aumento o disminución de la temperatura y humedad.
- Verificar la humedad durante el proceso de volteo; dependiendo de ello, se realiza un riego con agua, para que el material permanezca húmedo (ver Figura 34).

Figura 34

Verificación del porcentaje de humedad



Nota importante: el ingreso de oxígeno debe ser suficiente para que se pueda desarrollar óptimamente la actividad microbiana; es importante no llegar a condiciones anaeróbicas, dado que puede haber olores indeseados.



Figura 35

Volteo de compostaje de manera manual



Fuente: Pexels, 2021.

Paso 7) Verificación del porcentaje de humedad

Para mantener la masa orgánica húmeda permanentemente, se debe realizar un riego frecuente, de manera uniforme, asegurándose que todas las pilas reciban la misma cantidad de agua. El agua es muy esencial para las actividades de los microorganismos y también para el transporte de los micronutrientes, permitiendo que estos estén ubicados en todo el material orgánico a compostar.

Al respecto, se debe verificar diariamente cuál es el porcentaje de humedecimiento presente en el compost. Si no se tiene los equipos necesarios para llevar a cabo la evaluación de manera experimental, se sugiere aplicar "el método del puño" (Ver Figura 36) el cual se explica en los siguientes pasos:

- En primer lugar, se debe tomar una porción de material orgánico con la mano extendida.
- Acto seguido, se aprieta con fuerza la masa orgánica.
- Si se observa que se expide un flujo de agua continuo de 4 a 6 gotas, se deduce que el material consta de un 40 % - 60% de humedad.
- Si el material residual no presenta un flujo de agua y permanece moldeado, se puede identificar que contiene una humedad de 20 % a 30 %.



- Como paso final, si se suelta el material orgánico y se esparce, se puede concluir que la masa contiene una humedad del 20 %.

Figura 36

Medición del porcentaje de humedad en el material orgánico a compostar



Fuente: Visualhunt, 2022.

Paso 8) Medición de temperatura

Parámetro fundamental para que la materia orgánica pueda degradarse con ayuda de la microbiota; también es un factor determinante en cuanto al tiempo para obtener el compuesto final, que es el compost.

En el transcurso de este proceso, es preciso realizar un manejo y control de las temperaturas (ver Figura 37); se recomienda medir la temperatura tres veces al día: la primera, por la mañana; la segunda vez en horas del mediodía y, finalmente, la tercera, en horas de la tarde. Para esto es necesario ayudarse con un termómetro de punzón para material orgánico; se sugiere tomar la temperatura en el mismo lugar. Esto se hace con el objetivo de tener un manejo adecuado de la temperatura e identificar las medidas correspondientes si hubiere condiciones muy frías o muy cálidas.



Figura 37

Control de temperatura en el material orgánico a compostar



Fuente: Flickr, 2022.

Nota importante: para un desarrollo óptimo de compostaje, la temperatura debe oscilar entre 50 y 60 °C, dado que, en estos valores los microorganismos se desarrollan más rápido y, por ende, degradan mayor cantidad de material orgánico.

Paso 9) Secado y tamizado

En este proceso se retira el suministro de agua al producto y se deja secar por una semana más, sin dejar de realizar el volteo correspondiente; luego de esta semana, se separa todos los residuos que no llegaron a descomponerse totalmente del compost (Figura 38), para lo cual se puede utilizar una máquina llamada vibro-tamizadora o tamices de 25 mm y de 12 mm.



Figura 38

Tamizado de compostaje



Fuente: Visualhunt, 2022.

Paso 10) Toma de parámetros fisicoquímicos

Luego de obtener el compostaje, se toma las muestras necesarias para analizar los siguientes parámetros físicos y químicos:

- Porcentaje de humedad.
- pH.
- Nitrógeno total.
- Carbono orgánico.
- Textura.
- Olor y color.

El análisis de estos parámetros se hace con la finalidad de calcular la relación carbono/nitrógeno.

Paso 11) Envasado, pesaje y almacenamiento del compostaje como producto final

Una vez analizados todos los parámetros fisicoquímicos, se determina si se cumple con todas las normativas vigentes para que el material resultante pueda ser comercializado. Después de esto, todo el compostaje se deposita en sacos o en recipientes para, finalmente, ser trasladado a un lugar para la venta o almacenamiento (Figura 39).



Figura 39

Compostaje como producto final



Fuente: Pexels, 2021.

Beneficios del uso del compostaje

- Es favorable para el crecimiento de las plantas, dado que contribuye a la formación de sustancias húmicas y actúa como material orgánico en el suelo.
- Mejora los suelos áridos, dado que aporta altos niveles de materia orgánica, retiene el agua y agrega nutrientes.
- Promueve la multiplicación de microorganismos que son encargados de los procesos de humificación, aumentando la retención de agua, disminuyendo los sistemas de riego y previniendo sequías.
- Reduce la utilización de fertilizantes químicos e inorgánicos que pueden afectar al medio ambiente y a la salud humana.
- A través de la alternativa de compostaje se desarrolla una economía a pequeña o gran escala, que beneficia a los comerciantes de las plazas de mercado.
- Permite la introducción de los RSO generados en plazas de mercado, a una economía circular sostenible, dado que la mayoría de estos residuos son transformados en fertilizantes para poder ser nuevamente comercializados, de tal forma que disminuye la contaminación por parte de estos residuos.

Capítulo 7



Pasos para el establecimiento de una planta de compostaje con ayuda de las alcaldías municipales y las empresas de servicios públicos

Una vez seleccionada la alternativa viable para el aprovechamiento de RSO, se hace indispensable que las alcaldías municipales y las empresas de servicio público apoyen estas iniciativas, bajo las siguientes recomendaciones:

Paso 1: las alcaldías municipales deben dejar, dentro de sus planes de desarrollo, proyectos relacionados con el aprovechamiento de los RS, en concordancia con la economía circular mencionada.

Paso 2: revisar que los programas de aprovechamiento estén en los PGIRS de las entidades territoriales.

Paso 3: tener en cuenta las siguientes recomendaciones para los residuos que serán utilizados en el aprovechamiento de los residuos:

- Los residuos deben estar limpios y debidamente clasificados por material.
- No deben estar contaminados con residuos peligrosos como: residuos hospitalarios, metales pesados o residuos post consumo.

Paso 4: para la ubicación de la planta de aprovechamiento se debe considerar lo siguiente:

- Tener en cuenta los usos del suelo establecidos en los planes de ordenamiento territorial (POT), esquemas de ordenamiento territorial (EOT) o, los planes básicos de ordenamiento territorial (PBOT).
- Se debe considerar las rutas de acceso a la planta y, realizar los estudios de tráfico vehicular.
- Las vías de acceso deben contar con señalización e iluminación.



- El terreno donde se ubicará la planta debe contar con acceso a los servicios públicos domiciliarios como acueducto y alcantarillado. Si no se cuenta con el segundo, se debe implementar un sistema para el tratamiento de aguas residuales.
- Cuando se trate de aprovechamiento para las fracciones de RSO biodegradables, la planta de compostaje se debe ubicar como mínimo a 500 metros de distancia de las áreas residenciales.
- Es importante incluir a la comunidad en general, para llegar a acuerdos. Si en el municipio hay presencia de comunidades indígenas o afrocolombianas, es necesario llamar a consultas previas para el establecimiento de la planta de compostaje.

Paso 5: para el establecimiento de la planta de compostaje es indispensable que la empresa de servicios públicos de la entidad territorial, contemple los siguientes aspectos:

- Establecer los horarios, frecuencias de recolección y forma de presentación de los RSO.
- La recolección de los RSM debe llevarse a cabo en vehículos que estén motorizados y cerrados, impidiendo el esparcimiento de residuos y líquidos.

Paso 6: igualmente, la entidad territorial, en conjunto con la ayuda de la empresa de servicios públicos, debe realizar estudios de factibilidad basados, como mínimo, en lo siguiente:

- Composición y cantidad de los RSM a tratar.
- El mercado potencial de los RSM aprovechables.
- La normatividad ambiental vigente.
- Los costos y beneficios económicos al implementar cualquiera de las alternativas para aprovechamiento de RSO.

Capítulo 8



Ideas para realizar plantas de compostaje para el tratamiento de residuos orgánicos provenientes de plazas de mercado

Se sugiere implementar las siguientes recomendaciones, cuando los municipios de sexta categoría toman como opción, la construcción de plantas de compostaje para tratar los residuos orgánicos que producen sus plazas de mercado:

- Caracterización de los residuos que serán utilizados en la planta de aprovechamiento.
- Estudio de oferta, demanda, precio y frecuencia de venta del material obtenido en el proceso de aprovechamiento.
- Reconocimiento de la zona para establecimiento de la planta de construcción de compostaje, que permite visualizar la situación predial de la zona seleccionada, como también los trabajos topográficos para el desarrollo del proyecto.
- Para la localización de la infraestructura se debe tener en cuenta: uso del suelo según el EOT, PBOT o EOT de la entidad territorial, condiciones de tráfico peatonal y vehicular, estados de las vías y, determinar si la zona escogida cuenta con los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y energía eléctrica.
- Levantamientos topográficos con el objetivo de obtener una vista real donde se desarrollará las obras de la planta de compostaje; estos levantamientos topográficos son de precisión, altimétricos y planimétricos.
- Suelos y geotecnia: son responsabilidad directa del profesional en el área, al igual que, determinar el número de muestreo para tomar decisiones sobre el diseño de la planta de compostaje.
- Estudio hidrológico: considera el nivel freático y las condiciones de permeabilidad.
- Adquisición predial: se establece las servidumbres que tiene actualmente el predio seleccionado para la construcción de



la planta, al igual que se pedirá a la alcaldía municipal o autoridad ambiental, todos los actos administrativos para llevar a cabo la construcción de la planta de compostaje.

- Permisos y licencias: el diseñador debe identificar, de acuerdo con la normatividad vigente, todo lo relacionado con autorizaciones o licencias y permisos ambientales que pueda requerir el proyecto.

8.1 Consideraciones para la infraestructura de la planta

- El diseño debe garantizar un cerramiento para la zona operativa y de almacenamiento de materiales, minimizando así el impacto visual y la infiltración de agua lluvia o la presencia de vectores.
- Diseñar el diagrama de flujo en donde se observe la recepción del material a aprovechar, el sitio de pesaje, clasificación y el proceso de transformación de los residuos orgánicos.
- Se debe tener un área de descarga y recepción de los residuos a transformar, con capacidad suficiente para almacenamiento de los residuos a transformar, previendo situaciones de contingencia y comportamiento de mercado.

8.2 Recomendaciones para la Fase de Diseño

- De acuerdo con la línea base, establecer un horizonte de diseño.
- Instaurar un método de llenado que puede ser: zanja, trinchera o combinado.
- Diseño de vías internas y externas, garantizando el tránsito continuo de todo tipo de vehículo.
- Diseño de impermeabilización, evitando el contacto de la masa de residuos con el suelo y, la infiltración de líquidos al subsuelo.
- Diseño hidráulico para la recolección de aguas superficiales y lixiviados en sistemas independientes.
- Diseño de tratamiento de lixiviados.
- Diseño de tratamientos de gases.
- Diseño estructural de las obras que lo requieran.



Glosario

Alternativa: se le llama alternativa a una o varias posibles opciones que existen para dar solución a un problema, pues estas pueden ser elegidas o eliminadas.

Aprovechamiento: se refiere a encontrar una manera de sacarle provecho a algo que pueda ser útil o beneficioso y que logre ser de ayuda para desarrollar una actividad.

Compostaje: elemento que se origina por la descomposición de los residuos orgánicos en el cual, la materia vegetal y animal se transforma en nutrientes para el suelo.

Enmienda: masa hecha de materia orgánica ya descompuesta, muy buena para el suelo, porque le aporta nutrientes y bastante fertilidad.

Gestión: todas las acciones necesarias que permiten desarrollar una actividad o un proceso, con el fin de cumplir con un objetivo y solucionar un problema.

Lixiviados: líquidos que son producidos a partir de los RS, sin tratar de que estén acumulados en un lugar; estas sustancias pueden tener contaminantes peligrosos para la salud y el medio ambiente. No obstante, existe también otro tipo de lixiviados, que son el resultado de la transformación de los RSO a través del lombricompostaje o compostaje y que contienen una gran cantidad de nutrientes, sales y minerales benéficos para el suelo.

Residuo: conocido también como 'basura' que, después de usado ya no se utiliza más y se bota al tarro de la basura, cuando en realidad es un subproducto que se genera cuando se compra o adquiere un objeto y luego puede ser reutilizado. Los residuos pueden ser aprovechables y no aprovechables.

- **Residuos aprovechables:** cualquier objeto o elemento que puede volverse a utilizar, creando un nuevo producto que se podría vender nuevamente.
- **Residuos no aprovechables:** cualquier objeto o elemento que no es posible reutilizar de ninguna manera; por lo tanto, no tienen ningún valor comercial.

Residuos orgánicos: aquellos productos que están compuestos naturalmente y tienen la capacidad de poder desintegrarse con facilidad.

Reutilización: acción que permite volver a emplear elementos que fueron desechados, denominados residuos, con los cuales se puede crear uno nuevo.



Residuos hospitalarios: todos aquellos residuos producidos en instituciones de salud, como los puestos de salud y hospitales; son residuos peligrosos porque pueden ser biológicos, químicos o radiactivos.

Residuos peligrosos: todos aquellos productos que pueden ser tóxicos, radiactivos, inflamables, corrosivos, explosivos e infecciosos, que pueden causar efectos negativos en la salud humana y el medio ambiente.

Residuos post consumo: productos elaborados por los seres humanos, originados en grandes cantidades en todo el planeta, y que ya no cumplen ninguna función. Estos elementos pueden generar sustancias peligrosas para el medio ambiente y la salud de las personas, como los medicamentos vencidos.

Relleno sanitario: lugar donde todos los residuos son depositados finalmente, sin causar un efecto negativo a la salud pública y, controlando las repercusiones hacia el medio ambiente.



Referencias

- Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS). (2018). *Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos*. AIDIS.
- Ávila, W.A. y Moyano, J.P. (2019). *Propuesta metodológica para el dimensionamiento de plantas de compostaje en municipios con generación de residuos orgánicos aprovechables a partir de 100 Ton/Día* [Tesis de Pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/15556/AvilaRuizWendyAndrea2019.pdf?sequence=1>
- Beltrán, L.J., Rayo, E.M. y Quao, M.L. (2020). *Propuesta para el manejo de residuos sólidos en la plaza de mercado SAPRAMA LTDA. del municipio de Chaparral, Tolima* [Tesis de Especialización, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. <https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/34256/1/emrayoc.pdf>
- Bonilla, M. y Mosquera, M. (2007). *Seguimiento de la presencia de rotavirusa un proceso de compostaje realizado a partir de residuos orgánicos domiciliarios y contenido ruminal*. Pontificia Universidad Javeriana. <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis97.pdf>
- CARE Internacional-Avina. (2012). *Programa Unificado de Fortalecimiento de Capacidades. Módulo 9 Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS)*. Avina, CARE.
- Carvajal, L., Sánchez, G. y Palomá, R. (2019). *Ciencias ambientales, base para la sostenibilidad: Memorias del 1er Congreso Internacional de Ciencias Ambientales*. Editorial UNIMAR. <http://editorial.umariana.edu.co/libros/index.php/editorialunimar/catalog/book/45>
- Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES). (2016). Documento CONPES 3874. Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3874.pdf>
- Corporación Autónoma Regional de Nariño (Corponariño). (2016). Plan de Gestión Ambiental Regional del Departamento de Nariño. PGAR 2016-2036. <https://corponarino.gov.co/wp-content/uploads/2016/11/PGAR-2016-2036-VF.pdf>
- Decreto 1505 de 2003. (2003, 6 de junio). Presidencia de la República de Colombia. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=8434>



- Decreto 2811 de 1974. (2018, diciembre). Presidente de la República de Colombia. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=1551
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2016). *Rellenos sanitarios de 321 municipios colapsarán en cinco años, advierte el DNP*. <https://www.dnp.gov.co/Paginas/Rellenos-sanitarios-de-321-municipios-colapsar%C3%A1n-en-cinco-a%C3%B1os,-advierte-el-DNP-.aspx>
- Dios-Pérez, M. (2008). *Estudio y desarrollo de técnicas respirométricas para el control de la estabilidad del compost* [Tesis Doctoral, Universidad de Córdoba]. <https://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/366>
- Elorza, M.I. (2017). Compostaje y lombricultura, la visión ecológica de la basura: devolvemos a la tierra, lo que es de la tierra. http://www.munistgo.info/medio_ambiente/biblioteca_digital/Compostaje_y_Lombricultura.pdf
- Gómez, J., Sánchez, O. y Matallana, L. (2019). Residuos urbanos, agrícolas y pecuarios en el contexto de las biorrefinerías. *Revista Facultad de Ingeniería*, 28(53), 7-32. <https://dx.doi.org/10.19053/01211129.v28.n53.2019.9705>
- González-Rosales, G., Nieto-Garibay, A., Murillo-Amador, B., Ramírez-Serrano, R., Villavicencio-Floriani, E.A., Hernández-Medina, J.D., Aguilar-Murillo, X. y Guerrero-Medrano, Z.E. (2012). *Guía técnica para la producción de lombricomposta*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
- Gutiérrez, H. (2017). *Categorización de los municipios en Colombia: importancia de las finanzas territoriales y nivel de vida en los hogares*. Universidad Católica de Colombia.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2009). Norma Técnica Colombiana GTC - 24. <https://tienex.co/media/b096d37fcdee87a1f193271978cc2965.pdf>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2011). Norma Técnica Colombiana NTC 5167. <https://tienda.icontec.org/gp-productos-para-la-industria-agricola-productos-organicos-usados-como-abonos-o-fertilizantes-y-enmiendas-o-acondicionadores-de-suelo-ntc5167-2011.html>
- Junta de Andalucía. (s.f.). ¿Qué es el consumo responsable? https://www.consumoresponde.es/art%C3%ADculos/que_es_el_consumo_responsable



- Ley 9 de 1979. (1979, 24 de enero). Congreso de la República de Colombia. https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/LEY%200009%20DE%201979.pdf
- Ley 1551 de 2012. (2012, 6 de julio). Congreso de la República de Colombia. https://www.redjurista.com/Documents/ley_1551_de_2012_congreso_de_la_republica.aspx#/
- Martínez, N., González, L.P. y Torres, A.F. (2015). *Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura*. https://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf
- Mejía, P. (2000). *Agroflor Manual Lombricultura*. <http://agro.unc.edu.ar/~biblio/Manual%20de%20Lombricultura.pdf>
- Mendoza, M.A. (2012). *Propuesta de compostaje de los residuos vegetales generados en la Universidad de Piura* [Tesis de Pregrado, Universidad de Piura]. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1728/ING_515.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2005). *Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Monterrosa, H. (2018, 23 de agosto). *Hasta 70 % de los residuos sólidos del país se pueden transformar en compostaje*. La República.
- Moya, J. (2011). *Estudio de la calidad nutricional de la vermiharina de lombriz (Eisenia Foetida) liofilizada como materia prima para la elaboración de balanceado para alevines de trucha Arco Iris (Oncorhynchus Mykiss)* [Tesis de Pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1991/1/56T00299.pdf>
- Naciones Unidas (UN). (2018). El desperdicio de comida, una oportunidad para acabar con el hambre. <https://news.un.org/es/story/2018/10/1443382>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2020). Uso racional del equipo de protección personal frente a la COVID-19 y aspectos que considerar en situación de escasez graves. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/339341/WHO-2019-nCoV-IPC_PPE_use-2020.4-spa.pdf
- Pearce, D.W. & Turner, R.K. (1990). *Economics of natural resources and the environment*. Johns Hopkins University Press.



- Pineda, J. (2017). El Problema Ambiental de la Basura. Encolombia. <https://encolombia.com/medio-ambiente/interes-a/problema-ambiental-basura/>
- Publicaciones Semana, S.A. (27 de agosto de 2016). En el 2050 la humanidad necesitaría los recursos de 3 planetas Tierra. <https://www.semana.com/economia/articulo/en-2050-la-humanidad-necesitara-3-planetas-tierra-por-mala-gestion-de-recursos/231290/>
- Puente, H. (2017). *Propuesta de una planta de tratamiento para la obtención de compost en la ciudad de Juli – Chucuito – Puno*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7680>
- Real Decreto 824 de 2005. (2005, 8 de julio). Ministerio de la Presidencia. <https://www.boe.es/buscar/pdf/2005/BOE-A-2005-12378-consolidado.pdf>
- Resolución 2400 de 1979. (1979, 22 de mayo). Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. <https://www.ilo.org/dyn/travail/docs/1509/industrial%20safety%20statute.pdf>
- Resolución 0330 de 2017. (2017, 8 de junio). Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/0330-2017.pdf>
- Resolución 2184 de 2019. (2020, 21 de febrero). Departamento de Derecho del Medio Ambiente. <https://medioambiente.uexternado.edu.co/resolucion-2184-de-2019-por-la-cual-se-modifica-la-resolucion-668-de-2016-sobre-el-uso-racional-de-bolsas-plasticas-y-se-adoptan-otras-disposiciones/>
- Resolución 754 de 2021. (2021, 31 de mayo). Ministerio de Salud y Protección Social. https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%20No.%20754%20de%202021.pdf
- Resolución 777 de 2021. (2021, 2 de junio). Ministerio de Salud y Protección Social. https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-405413_documento_pdf.pdf
- Rosero, J., Rojas, M. y Arévalo, J. (2020). Aplicación de análisis de ciclo de vida (ACV) y evaluación de impactos ambientales a Ananás Comosus en su disposición final en procesos pos consumo para la obtención de colorante vegetal. *Revista BIUMAR*, 4(1), 68-82. <https://doi.org/10.31948/Biumar>
- Ruiz, M. (2011). *Taller de elaboración de lombricomposta: porque tener lombrices nos beneficia a todos*. Universidad Iberoamericana A.C.



- Salamanca, E.M. (2014). *Estrategias para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos producidos en la plaza de mercado de Fontibón, Bogotá D.C.* [Tesis de Maestría, Universidad de Manizales]. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/1931>
- Sánchez, G. (2003). *Técnicas participativas para la planeación.* Fundación ICA. <https://n9.cl/sr9wb>
- Sepúlveda, L.A. y Alvarado, J.A. (2013). *Manual de Compostaje. Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos a través de sistemas de compostaje y lombricultura en el Valle de Aburrá.* <https://es.scribd.com/document/502106228/Manual-Compostaje-Valle-de-Aburra>
- Somarriba, R.J. y Guzmán, F. (2004). *Guía de Lombricultura.* Universidad Nacional Agraria.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD). (2020). *Informe Nacional de Disposición Final de Residuos Sólidos 2019.* <https://es.scribd.com/document/493245482/informe-nacional-df-2020>
- Universidad Cooperativa de Colombia, Universidad Mariana, Universidad de Nariño, Universidad Antonio Nariño, Corporación Universitaria Autónoma de Nariño, Institución Universitaria CESMAG y Gobernación de Nariño. (2015). *Priorización de necesidades relacionadas con el acceso al uso eficiente de la energía.* Editorial UNIMAR.
- Viveros, D., Gómez, J. y Saa, M. (2017). *Diseño de propuesta para separación y disposición adecuada de Residuos Sólidos Orgánicos de Origen Vegetal de la Plaza de Mercado Santa Elena en la Ciudad de Santiago de Cali.* Pontificia Universidad Javeriana. <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/1991/1/56T00299.pdf>

Autores

Claudia Viviana Vargas Vallejos

Estudiante de Ingeniería Ambiental de la Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, programa de Ingeniería Ambiental.



Camilo Andrés Melo Cisneros

Estudiante de Ingeniería Ambiental de la Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, programa de Ingeniería Ambiental.



María Margarita Portilla González

Docente de Ingeniería Ambiental de la Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, programa de Ingeniería Ambiental. Miembro del Grupo de investigación Grupo de Investigación Ambiental (GIA).





Alternativas
para el buen manejo
de **residuos**
sólidos orgánicos
en plazas de
mercado



Editorial
UNIMAR

Universidad Mariana
Calle 18 No. 34 San Juan de Pasto
<http://editorial.umariana.edu.co/libros/index.php/editorialunimar>