

**IDENTIFICACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO EN LA
VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE ALIMENTOS GENERADOS EN LA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE**



**YULIANY QUINTERO ARCE
2166269**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA Y MECÁNICA
PROGRAMA INGENIERÍA AMBIENTAL
SANTIAGO DE CALI
2021**

**IDENTIFICACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO EN LA
VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE ALIMENTOS GENERADOS EN LA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE**



YULIANY QUINTERO ARCE

**Proyecto de grado Para optar al título de
Ingeniero Ambiental**

**Director
FANOR BERMUDEZ MOSQUERA
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA Y MECÁNICA
PROGRAMA INGENIERÍA AMBIENTAL
SANTIAGO DE CALI
2021**

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Ambiental

LUZ MARINA FLORES

Jurado

MARIO ANDRES GANDINI

Jurado

Santiago de Cali, 17 de marzo de 2021

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo le doy muchas gracias a Dios por iluminarme y guiarme durante mi carrera, por darme la fortaleza en los momentos de dificultad y por regalarme la oportunidad de continuar con mis estudios profesionales.

A mi padre, Madre y Hermana quienes compartieron cada momento vivido y quienes por medio de su amor, consejos alentadores, comprensión y apoyo incondicional permitieron que hoy disfrute de este gran logro.

A mi director de trabajo de grado, Fanor Bermúdez Mosquera gracias por su paciencia y colaboración.

A la profesora Verónica Manzi Tarapué gracias por los conocimientos proporcionados durante el desarrollo de mi tesis.

A todas las personas que fueron fundamentales durante todo mi proceso, profesores y amistades, muchas gracias.

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	14
INTRODUCCIÓN	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
2. JUSTIFICACIÓN	20
3. OBJETIVOS	22
3.1 OBJETIVO GENERAL	22
3.2 OBJETIVO ESPECIFICOS	22
4. ESTADO DEL ARTE	23
5. ANTECEDENTES	26
5.1 ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL	26
5.2 ANTECEDENTES NIVEL NACIONAL	28
6. MARCO TEORICO	33
6.1 RESIDUOS ORGÁNICOS	33
6.2 ESQUEMA DE CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS	33
6.3 PROPIEDADES FISICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS	34
6.3.1 Contenido de Humedad	34
6.3.2 Peso específico	35

6.4 CONCEPTOS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS	35
6.4.1 Caracterización de los residuos	35
6.4.2 Producción diaria per cápita	35
6.4.3 Valorización de los residuos orgánicos	35
6.5 TRATAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS	36
6.5.1 Incineración	36
6.5.2 Digestión anaerobia	36
6.5.3 Compostaje	36
6.5.4 Lombricompostaje	38
6.6 METODOLOGÍAS PARA DETERMINAR LAS CANTIDADES DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS	39
6.6.1 Análisis de pesada total	39
6.6.2 Análisis peso-volumen	39
6.6.3 Análisis de balance de masas	39
6.6.4 Análisis por muestreo estadístico	40
6.7 METODOLOGIAS DE CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS	40
6.7.1 Norma ASTM D 5231-92 (Sociedad Americana para pruebas y materiales)	40
6.7.2 Nordtest method	40
6.7.3 Norma Oficiales Mexicanas	40
7. MARCO NORMATIVO	42
8. METODOLOGIA	43
8.1 IDENTIFICAR LOS ASPECTOS TÉCNICOS PARA EL DESARROLLO DEL PROCESO DE LOMBRICOMPOSTAJE EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE.	43

8.2 DIAGNÓSTICO DEL FUNCIONAMIENTO ACTUAL DE LA PLANTA DE LOMBRICOMPOSTAJE DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE.	43
8.2.1 Seleccionar una metodología para la caracterización física de los residuos de alimentos generados en los servicios de alimentación colectiva.	43
8.2.2 Definición de las fracciones de materiales de residuos de alimentos crudos a clasificar.	44
8.2.3 Cuantificación de las cantidades de residuos de alimentos actualmente gestionadas en la instalación de tratamiento	45
8.2.4 Identificación del funcionamiento actual de la planta de lombricompostaje.	45
8.3 PLANTEAMIENTO DE ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO PARA EL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN	45
8.3.1 Selección de las estrategias a implementar para una adecuada valorización de los residuos de alimentos.	45
9. RESULTADOS Y ANÁLISIS	47
9.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS ASPECTOS TÉCNICOS PARA EL DESARROLLO DEL PROCESO DE LOMBRICOMPOSTAJE	47
9.1.1 Generalidades de la Lombriz Roja Californiana	47
9.1.2 Etapas mínimas requeridas para un proceso adecuado.	49
9.1.3 Herramientas para el proceso de lombricompostaje	53
9.1.4 Subproductos del proceso de lombricompostaje	53
9.2 DIAGNÓSTICO DEL FUNCIONAMIENTO ACTUAL DE LA PLANTA DE LOMBRICOMPOSTAJE.	54
9.2.1 Caracterización de los residuos de alimentos en la Universidad Autónoma de Occidente.	54
9.2.2 Definición de las fracciones de materiales de residuos de alimentos crudos a clasificar.	56

9.2.3 Cuantificación de las cantidades de residuos de alimentos actualmente gestionadas en la instalación de tratamiento.	57
9.2.4 Identificación del funcionamiento actual de la planta de lombricompostaje.	59
9.3 ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO PARA LA VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE ALIMENTOS GENERADOS EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE, DE MANERA QUE SE CONTRIBUYA A MEJORAR EL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN EN LA PLANTA DE COMPOSTAJE.	62
9.3.1 Acciones de mejoras para el proceso de lombricompostaje	63
10. CONCLUSIONES	69
REFERENCIAS	70
ANEXOS	76

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Composición de los residuos en países bajo y alto	26
Figura 2. Composición de los residuos de la Región de Asia Oriental y OECD.	27
Figura 3. <i>Caracterización de los residuos sólidos en Colombia.</i>	29
Figura 4. <i>Producción general de residuos sólidos en la Universidad San Buenaventura durante la segunda semana de febrero.</i>	31
Figura 5. Temperatura, Oxígeno y pH en el proceso .	37
Figura 6. Método del cuarteo	44
Figura 7. Lombriz Roja Californiana.	47
Figura 8. Pesaje de los residuos de alimentos.	55
Figura 9. <i>Homogenización de los residuos de alimentos.</i>	55
Figura 10. Caracterización de los residuos de alimentos.	56
Figura 11. Clasificación de los residuos de alimentos.	57
Figura 12. Entrada de los residuos de alimentos a la instalación de tratamiento.	60
Figura 13. Etapa de descomposición de los residuos de alimentos.	61
Figura 14. Lombriz Roja californiana en las camas.	61
Figura 15. Tamizado del humus.	62
Figura 16. <i>Separación de los residuos de alimentos y la cascara de huevo.</i>	64
Figura 17. <i>Recolección de los residuos de alimentos.</i>	65
Figura 18. <i>Reducción del tamaño y clasificación de los residuos de alimentos.</i>	66

Figura 19. *Trampeo.*

67

Figura 20. *Secado del humus*

68

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Lombricompostaje	23
Tabla 2. <i>Caracterización y cuantificación de los residuos sólidos</i>	25
Tabla 3.. <i>Generación de residuos sólidos a nivel mundial en el año 2012</i>	28
Tabla 4. <i>Composición física de los residuos sólidos por categoría y estrato socioeconómico para el sector unifamiliar urbano.</i>	30
Tabla 5. <i>Composición física de los residuos sólidos de la cafetería "escaladas café" de la Universidad Autónoma de Occidente</i>	32
Tabla 6. <i>Clasificación de residuos sólidos</i>	33
Tabla 7. <i>Datos típicos del contenido de humedad del componente de residuos de alimentos</i>	35
Tabla 8. <i>Parámetros del compostaje</i>	38
Tabla 9. <i>Parámetros en el proceso de lombricompostaje.</i>	48
Tabla 10. <i>Etapas del proceso de lombricompostaje.</i>	50
Tabla 11. <i>Construcción de las camas o lechos.</i>	53
Tabla 12. <i>Clasificación y cuantificación de los residuos de alimentos según el grupo alimenticio</i>	58
Tabla 13. <i>Parámetros de control pasados.</i>	63
Tabla 14. <i>Parámetros de control actual.</i>	63

LISTA DE ANEXOS

pág.

Anexo A. Diagrama de flujo del proceso de lombricompostaje.

76

GLOSARIO

OECD: organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.

PGIRS: plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

GEI: gas de efecto invernadero.

UAESP: unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos.

pH: potencial hidrogeno

UAO: Universidad Autónoma de Occidente

PPC: producción per cápita

C/N: relación carbono/nitrógeno

RSU: residuos sólidos urbanos

ASTM: american Society for Testing and Materials

EV: estiércol vacuno

HCIO: ácido hipocloroso

N: nitrógeno

P2O5: óxido de fósforo

K2O: óxido de potasio

UE: unión Europea

ODS: objetivos de Desarrollo Sostenible

RESUMEN

El presente trabajo busca identificar las estrategias de mejoramiento en la valorización de los residuos de alimentos generados en las cafeterías de la Universidad Autónoma de Occidente. En primera instancia se realizó una búsqueda de los aspectos técnicos y teóricos sobre los parámetros óptimos en el proceso de lombricompostaje. Se analizaron las variables de control como temperatura, humedad, pH, relación C/N, salinidad y contenido de humedad y las etapas mínimas requeridas para un proceso adecuado, medidas para la construcción de camas o lechos y las herramientas para el proceso de lombricompostaje. Se concluyó a partir del desarrollo de este primer objetivo la Universidad Autónoma de Occidente no estaban establecidos de manera adecuada los parámetros óptimos y requerimientos mínimos para el proceso de lombricompostaje.

Posterior a la búsqueda sobre los parámetros óptimos en el proceso de lombricompostaje, se procedió a realizar un diagnóstico del funcionamiento actual en la planta de la Universidad Autónoma de Occidente. Donde se realizó una revisión de las metodologías de caracterización, se definen las fracciones de materiales a clasificar y la cuantificación de las cantidades de residuos actualmente gestionadas en la instalación de tratamiento. Se concluyó que la practica en la gestión adecuada de los residuos de alimentos en las cafeterías es de vital importancia para la valorización en la instalación de tratamiento.

Finalmente se proponen estrategias de mejoramiento para la valorización de los residuos de alimentos generados en las cafeterías de la Universidad Autónoma de Occidente. Donde se realiza una comparación de los parámetros de control óptimo y los implementados en la instalación de tratamiento.

Teniendo en cuenta los parámetros óptimos, se logra realizar un diagrama de procesos con las actividades implementadas en el proceso de lombricompostaje de la UAO, para que los residuos de alimentos se puedan compostar y generar un ambiente adecuado para la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

Palabras clave: Lombricompostaje, valorización, residuos de alimentos, *Eisenia fétida*.

ABSTRACT

The present work seeks to identify the improvement strategies in the valorization of food waste generated in cafeterias at the Autonomous University of the West. In the first instance, a search was made of the technical and theoretical aspects of the optimal parameters in the vermicomposting process. The control variables such as temperature, humidity, pH, C / N ratio, salinity and moisture content and the minimum stages required for an adequate process, measures for the construction of beds or beds and the tools for the vermicomposting process were analyzed. It was concluded from the development of this first objective that the Autonomous University of the West did not consider the optimal parameters and minimum requirements for the vermicomposting process.

After the search for the optimal parameters in the vermicomposting process, a diagnosis of the current operation at the plant of the Autonomous University of the West was carried out. Where a review of the characterization methodologies was carried out, the fractions of materials to be classified and the quantification of the amounts of waste currently managed in the treatment facility are defined. It was concluded that the practice in the proper management of food waste in cafeterias is of vital importance for the recovery in the treatment facility.

Finally, improvement strategies are proposed for the recovery of food waste generated in the cafeterias of the Universidad Autónoma de Occidente. Where a comparison of the optimal control parameters and those implemented in the treatment facility is made.

Taking into account the optimal parameters, it is possible to create a process diagram with the activities implemented in the worm composting process of the UAO, so that food waste can be composted and generate a suitable environment for the Californian red worm (*Eisenia foetida*).

Keywords: Vermicomposting, recovery, food waste, *Eisenia fetida*.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la constante urbanización y el aumento progresivo de la población, la búsqueda de mejores oportunidades de empleo y calidad de vida ha causado un aumento en la generación de residuos sólidos. Trayendo consigo la valorización de la fracción de alimentos que representa la mayor generación en el flujo de residuos sólidos.

Dentro de las alternativas que se presentan viables para el aprovechamiento de los residuos orgánicos esta la producción de compostaje y lombricompostaje, ya que residuos de cafeterías, restaurantes y hogares; son materiales susceptibles de reincorporarse al suelo para uso en jardines ornamentales y productivos, agricultura urbana, recuperación de tierras degradadas, entre otros.(Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, s. f.). Por tal motivo se quiere valorizar los residuos de alimentos provenientes de las cafeterías para lograr reducir sustancialmente las toneladas dispuestas en el relleno sanitario y la contaminación ambiental producto de la descomposición de los residuos orgánicos.(Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2016)

Países como Dinamarca, Suecia, Bélgica (Flandes), Países bajos, Luxemburgo, y Francia utilizan principalmente la incineración para evitar el vertido de los residuos, sin embargo países como Alemania, Austria, España e Italia su tasa de incineración es relativamente baja, algunos de ellos con las tasas de compostaje más elevadas de la UE como son (Alemania y Austria) considerando la recuperación de materiales como método de valorización de los biorresiduos.(Parlamento Europeo, 2008)

En cuanto a la pérdida y el desperdicio total mundial, las frutas y verduras tienen la mayor participación con el 44 %, seguido por raíces y tubérculos (20%) y cereales (19%). Adicionalmente, en el mundo, del total de la oferta disponible de cada alimento, se pierdan y se desperdician el 30% de los cereales, 45% de las frutas, verduras, raíces y los tubérculos.(Departamento Nacional de Planeación, 2016)

Los residuos de alimentos que se generan en las cafeterías de la Universidad Autónoma de Occidente son llevados a la instalación de tratamiento donde se evidencia que se deben de realizar mejoras técnicas en el proceso de lombricompostaje, que afectan el rendimiento del proceso.

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo es identificar las estrategias de mejoramiento en la valorización de los residuos de alimentos generados en la Universidad Autónoma de Occidente, para mejorar el proceso de transformación de

la planta de lombricompostaje. Para lograr el objetivo general de la investigación se realizó una búsqueda de los aspectos técnicos a partir de literatura técnica y científica, con el fin de implementar acciones correctivas mediante visitas de campo, se caracterizaron los residuos que llegan a la instalación de lombricompostaje, donde se pesaron y clasificaron los residuos de alimentos, por último se propondrá estrategias de mejoramiento en la valorización, mediante un diagrama de procesos.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los residuos de alimentos generados en restaurantes conforman los denominados biorresiduos, los cuales también incluyen residuos biodegradables de jardín y otros residuos de alimentos generados en residencias, instituciones y sectores comerciales.(Parlamento Europeo, 2018). Se determina que la composición física de los biorresiduos en el relleno sanitario Doña Juana corresponde a un 60.6 % que corresponde a alimentos, se puede afirmar que este flujo es el que más se dispone en el relleno sanitario. (Anzola Parra, 2015). En la caracterización que se realizó a la ciudad de Bogotá se estima el porcentaje global, donde el 8.56 % son alimentos preparados y el 52.00 % son alimentos no preparados. (Unidad Administrativa Especial De Servicios Públicos, 2011)

En una instalación de compostaje en un municipio menor (poblaciones inferiores a 15000 habitantes) a Colombia, se estimó que la composición física de los biorresiduos es del 92.9% que corresponde a alimentos sin procesar, donde se encontraban en mayor proporción plátanos y tubérculos con un 32.6 % y frutas cítricas 15.5%. (Oviedo et al., 2017).

Los sistemas de recogida selectiva funcionan con éxito en muchos países sobre todo con los biorresiduos, entre las ventajas de la recogida selectiva para desviar los residuos fácilmente biodegradables de los rellenos sanitarios, con el fin de aumentar el poder calorífico de los RSU restantes y generar una fracción de biorresiduos más limpia que permita producir un compost de alta calidad. Aunque la disposición final de los biorresiduos en los rellenos sanitarios se considera la peor opción en la jerarquía de residuos, sigue siendo el método de eliminación más utilizada en la UE. Debido a que los residuos biodegradables se descomponen en los rellenos produciendo gas y lixiviados, donde el gas, si no se captura contribuye considerablemente al efecto invernadero y si el lixiviado, no se recoge, puede contaminar las aguas subterráneas y el suelo. (Parlamento Europeo, 2008)

Entre las opciones de gestión de los biorresiduos figuran, además de la prevención en origen, la recogida (selectiva o mixta), la digestión anaerobia y el compostaje, la incineración y el depósito en vertederos. (Parlamento Europeo, 2008). La utilización de compost y abonos representa ventajas agronómicas, como la mejora de la estructura del suelo, la infiltración de la humedad, la capacidad de retención del agua, los microorganismos del suelo y el suministro de nutrientes (el compost obtenido a partir de residuos crudos contiene alrededor de 1% de N, un 0,7 % de P₂O₅ y un 6,5 % de K₂O).(Parlamento Europeo, 2008).

La Universidad Autónoma de Occidente cuenta con una instalación para la valorización de los biorresiduos generados en los servicios de alimentación, diariamente se produce 120 kg/día de alimentos crudos, que son tratados en el proceso de lombricompostaje y compostaje tradicional. En el proceso de lombricompostaje de la Universidad no se desarrollaban los procedimientos bajo los parámetros óptimos y los requerimientos mínimos. Por esta razón en este proyecto de grado se evidencia la necesidad de proponer acciones de mejora en la valorización de los residuos de alimentos en la Universidad Autónoma de Occidente.

2. JUSTIFICACIÓN

Los biorresiduos de la Universidad Autónoma de Occidente se generan en el proceso de preparación de los alimentos, donde al finalizar la operación son llevados a la instalación de tratamiento, encontrándose una gran variedad de residuos que serán valorizados por medio del lombricompostaje y la obtención del humus, pero debido a la gran variedad de materiales en el flujo de biorresiduos no se conoce las fracciones que son de fácil degradación para la lombriz, donde pueda obtener un rendimiento óptimo en el proceso.

El compostaje es una de las opciones de mayor aplicación y efectividad para el tratamiento de los biorresiduos, el producto puede ser aplicado como acondicionador y enmienda orgánica de suelos y fuente de nitrógeno y fósforo en sistemas agroambientales (Daza Torres et al., 2014), pero aspectos como el alto grado de la contaminación de la materia orgánica, el uso de tecnologías inadecuadas, mínimas actividades operativas y de control del proceso, baja calidad del producto y poca comercialización y mercado del mismo han limitado la implementación del compostaje a mayor escala en países como Colombia (Oviedo Ocaña et al., 2012). En una evaluación del desperdicio de alimentos de Estados Unidos y Canadá para que un producto sea comercializable es esencial como una estrategia de prevención, la educación del generador en cuanto a la separación en la fuente (Levis et al., 2010) y recolección selectiva (Grima et al., 2013).

Así mismo, el aprovechamiento de materiales orgánicos e inorgánicos también logra mitigar la emisión de gases de efecto invernadero, al utilizar abonos orgánicos en sustitución a fertilizantes sintéticos, pues un reporte de la organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura reveló que en el 2011 las emisiones generadas durante la aplicación de fertilizantes sintéticos representaron el 13% del total de emisiones generadas por la agricultura, y son la fuente de emisiones de más rápido crecimiento, con un incremento del 37% desde 2001. (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2016).

Con la implementación del aprovechamiento de biorresiduos en la UAO se estudiarán soluciones para disminuir la presión sobre los rellenos sanitarios. El punto central es disponer en el relleno solo aquellas fracciones que hayan sido previamente estabilizadas, minimizando así los impactos ambientales asociados a la generación de gases y lixiviados. (Universidad Autónoma de Occidente, s. f.)

Para cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), Colombia definió algunas metas para el 2030 en materia de gestión de residuos sólidos, en donde se incluye el concepto de aprovechamiento. Para el 2030 Colombia propone con el

objetivo de consumo responsable y producción “disminuir de manera sustancial la generación de residuos mediante políticas de prevención, reducción, reciclaje y reutilización. (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2016).

Por tal razón se hace necesario la identificación de estrategias de mejoramiento en la valorización de los residuos de alimentos generados en la Universidad Autónoma de Occidente.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar las estrategias de mejoramiento en la valorización de los residuos de alimentos generados en la Universidad Autónoma de Occidente, para mejorar el proceso de transformación de la planta de compostaje.

3.2 OBJETIVO ESPECIFICOS

- ❖ Identificar los aspectos técnicos para el desarrollo del proceso de lombricompostaje.

- ❖ Realizar un diagnóstico del funcionamiento actual de la planta de lombricompostaje en la Universidad Autónoma de Occidente.

- ❖ Proponer estrategias de mejoramiento para la valorización de los residuos de alimentos generados en la Universidad Autónoma de Occidente, de manera que se contribuya a mejorar el proceso de transformación en la planta de compostaje

4. ESTADO DEL ARTE

Las tecnologías biológicas para el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos se consideran hoy en día seriamente en el mundo debido a las características de bajo consumo de energía, bajo costo e inversión, alta tasa de eliminación orgánica y cumplimiento de los requisitos de la economía circular. (Wainaina et al., 2020).

Tabla 1.

Lombricompostaje

Referencia	Nombre	Descripción
(Lim et al., 2016)	Sostenibilidad del uso de tecnologías de compostaje y vermicompostaje para la transformación de residuos sólidos orgánicos	El enfoque del artículo es evaluar la viabilidad del compostaje y del vermicompostaje como un medio para recuperar nutrientes de los residuos orgánicos y devolverlos al medio ambiente. Esta revisión muestra que el compostaje y el vermicompostaje son capaces de biodegradar varios tipos de residuos orgánicos, lo que les permite ser adoptados ampliamente. También revela que se emiten gases de efecto invernadero durante los procesos, sin embargo la introducción de la aireación intermitente, agentes de carga y abundancia de lombrices de tierra puede reducir las emisiones de gases efecto invernadero, las evaluaciones económicas de las tecnologías de compostaje y vermicompostaje, muestran que estas tecnologías son generalmente viables, excepto en algunos casos. Las diferencias se deben al amplio rango en el valor del mercado de los fertilizantes orgánicos y las diferencias de costo para el tipo de sistema de compostaje y vermicompostaje que podrían afectar su viabilidad económica.

Tabla 1. (Continuación)

Referencia	Nombre	Descripción
(Kim et al., 2019)	Evaluación de la eficacia de la aplicación de HCIO en la reducción de olores y el crecimiento de la población de lombrices de tierra durante el vermicompostaje de residuos de alimentos con <i>Eisenia Foetida</i> .	El propósito de este estudio fue evaluar las implicaciones de la aplicación de HCIO en el proceso de vermicompostaje de residuos de alimentos para eliminar el olor y aumentar el crecimiento de lombrices de tierra. El estudio demostró experimentalmente que la aplicación de HCIO puede mejorar las condiciones de vida de la lombriz de tierra y aliviar el olor de los residuos de alimentos. El aumento de la reproducción de lombrices de tierra después de la aplicación de HCIO mejoró el proceso de vermicompostaje. Las pruebas de criaderos mostraron que la aplicación de HCIO en residuos de alimentos para piensos podría promover la reproducción de lombrices de tierra y podría reducir el olor representado por las concentraciones de gas amoniacado (NH ₃) y amina (R-NH ₂) en los residuos.
(Zziwa et al., 2021)	Recuperación de nutrientes de los residuos de la piña mediante sistemas de vermicompostaje continuo y por lotes controlados.	El propósito de este estudio fue evaluar la variación en los parámetros físico-químicos en sistemas de vermicompostaje continuo y por lotes como vías potenciales para la recuperación de nutrientes de los residuos de la piña. como conclusión un sistema de vermicompostaje continuo funciona mejor que un lote en términos de retención de nutrientes en el vermicompost, así como reducción de las pérdidas de nitrógeno y carbono a la atmósfera. Se logro un mayor grado de degradación de residuos y multiplicación de lombrices en sistemas continuos. Debido al contenido razonable de nutrientes, el vermicompost producido a partir de cáscaras de piña tanto en sistemas discontinuos como continuos podría usarse como fertilizantes de cultivo. El análisis económico mostro que ambos sistemas son viables.

Tabla 2.

Caracterización y cuantificación de los residuos sólidos.

Referencia	Nombre	Descripción
(Zotesso et al., 2016)	Análisis de la generación de residuos sólidos en una cafetería universitaria en Brasil: un estudio de caso	El objetivo de este estudio fue determinar las cantidades y los tipos de residuos generados por una cafetería universitaria en Brasil. Durante este estudio, ocurrieron situaciones de segregación inadecuada y eliminación temporal de residuos sólidos en la cafetería. Los residuos orgánicos están destinados a la alimentación de cerdos. Los resultados de la cuantificación de los residuos sólidos generados se realizó durante cuatro semanas, durante este periodo se sirvieron 40,650 comidas entre el desayuno, el almuerzo y la cena, durante los cuales la cantidad de residuos generados fue de 6,553.5 kg, la preparación previa de vegetales, frutas y granos representaron el 24,7% del total de residuos. Los residuos orgánicos procesados y no procesados representan un total de 74.1%, este resultado indica la importancia de considerar un tratamiento de residuos orgánicos para reducir el volumen de residuos enviados a los vertederos.
(Morales, 2011)	Caracterización de residuos sólidos en la universidad Iberoamericana, Ciudad de México.	El objetivo general del presente estudio fue analizar la situación actual del manejo de residuos sólidos en el campus universitario a fin de presentar propuestas de mejora. La cuantificación y caracterización de los residuos sólidos totales se realizó conforme a la normativa mexicana vigente (SECOFI 1985 a, b, c), con un muestreo aleatorio estratificado, a partir de los resultados de la composición del residuo obtenida se observa que el 52 % del residuo total en la Ibero es susceptible al proceso de composteo, 27% es material reciclable y únicamente 21 % es residuos que se destinaria al relleno sanitario.
(Coyago et al., 2016)	Caso de estudio: Universidad Politécnica salesiana, campus sur, Quito	El objetivo general del artículo es proveer recomendaciones y determinar la cantidad, composición y calidad de residuos sólidos generados al interior de la universidad, Los residuos sólidos se cuantificaron por categorías entre las que se mencionan los residuos orgánicos como los residuos de jardín (ramas de desechos de jardín, hojas, hierba y otros materiales vegetales). Residuos de comida (todos los residuos de comida excepto huesos). El contenido de agua supera el 50% lo que conlleva a concluir que el mayor porcentaje dentro de la composición de los residuos corresponde a materia orgánica y dentro de ella un 46.47%, que no cumple con las cantidades y macronutrientes para ser considerada como abono, por esta razón, no se recomienda un sistema de compostaje.

5. ANTECEDENTES

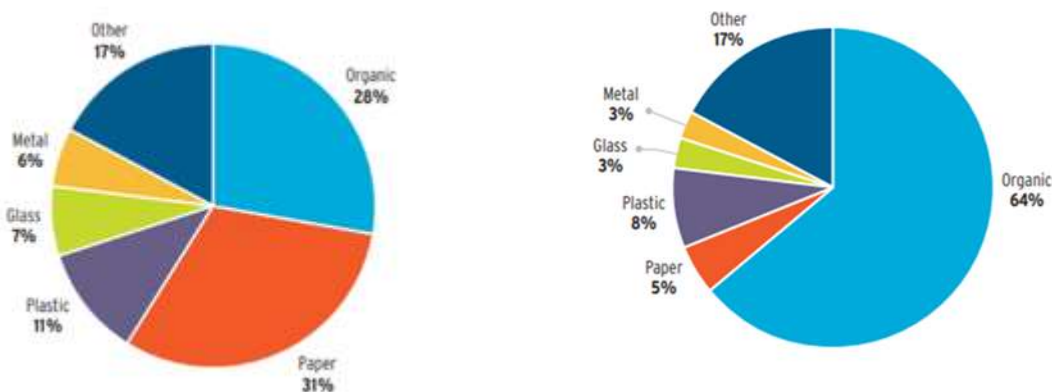
La composición de los residuos está influenciada por muchos factores, como el nivel de desarrollo económico, las normas culturales, la ubicación geográfica, las fuentes de energía y el clima. Generalmente los países de ingresos bajos y medianos tienen un alto porcentaje de materia orgánica en el flujo de residuos urbanos que oscila entre 40 y el 85% del total. (Hoornweg y Bhada Tata, 2012).

5.1 ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL

La fracción orgánica tiende a ser más alta en los países de bajos ingresos y más baja en los países de altos ingresos, la cantidad total de desechos orgánicos tiende a aumentar de manera constante a medida que la riqueza aumenta a un ritmo más lento que la fracción no orgánica. (ver Figura 1).

Figura 1.

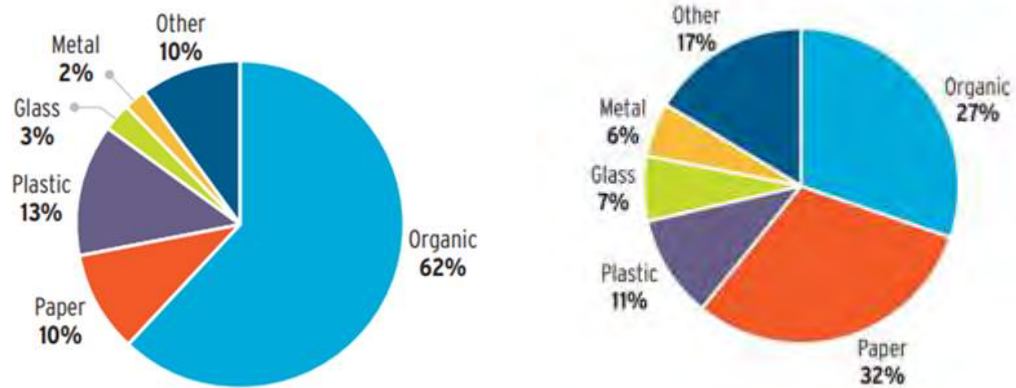
Composición de los residuos en países bajo y alto



Nota: Muestra las diferencias entre países de ingresos bajos y altos, los orgánicos constituyen el 64% del flujo de RSU para los países de ingresos bajos mientras que en los países de ingresos altos es el 28%. Tomado de “what a waste” (p. 19), por World Banck, 2012 Disponible en <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17388>

Figura 2.

Composición de los residuos de la Región de Asia Oriental y OECD.



Nota: La composición de RSU por región se muestra en la (ver Figura 2), donde la Región de Asia Oriental y el Pacífico tiene mayor fracción de residuos orgánicos (62%) en comparación con los países de la OECD, que tienen la menor (27%). Tomado de “what a waste” (p. 21), por Hoornweg y Bhada tata (2012). Disponible en <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17388>

Se observa como los países de la OCDE producen casi la mitad de los residuos del mundo, mientras que las regiones de África y Asia meridional producen la menor cantidad de residuos.(ver Tabla 3)

Tabla 3

Generación de residuos sólidos a nivel mundial en el año 2012.

Región	Población urbana (millones)	PPC (Kg/habitante/día)	Cantidad de residuos (Tonelada/día)
África	260	0,65	169,119
Este de Asia y Pacífico	777	0,95	738,958
Asia oriental y central	227	1,1	254,389
Latinoamérica y caribe	399	1,1	437,545
Oriente medio y África del norte	162	1,1	173,545
OECD	729	2,2	1,566,286
Sur de Asia	426	0,45	192,410
Total	2,980	1,2	3,532,252

Nota: Muestra las estimaciones de generación de residuos (Tonelada/día), con su respectiva PPC y la población por región a nivel mundial en el año 2012. Tomada “what a waste” (p. 21), por (Hoorweg y Bhada Tata, 2012). Disponible en <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17388>.

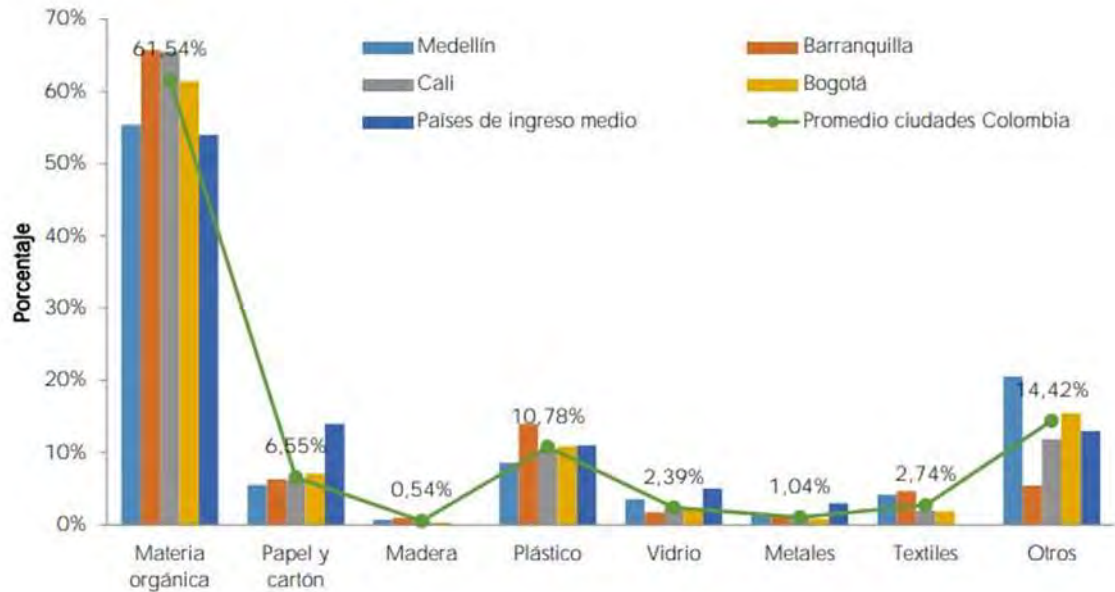
5.2 ANTECEDENTES NIVEL NACIONAL

De acuerdo con la composición de los residuos sólidos, el 30% de los residuos generados está compuesto por materiales con potencial de aprovechamiento como papel, cartón, metal, vidrio, textiles y plástico. El manejo inadecuado que se está dando a estos residuos está causando presión sobre la capacidad de los rellenos sanitarios y desperdiciando materia prima y energía. (Política Nacional Para La Gestión Integral De Residuos Sólidos, 2018).

Considerando la composición y tipificación de la generación de residuos sólidos, se observa que, en las grandes ciudades del país, los residuos orgánicos corresponden al 61,5% de la generación de ciudades. (ver Figura 3).

Figura 3.

Caracterización de los residuos sólidos en Colombia.



Nota: Caracterización de los residuos sólidos en las ciudades de Medellín, Cali, Barranquilla y Bogotá. Tomado de Política Nacional para la Gestión de los Residuos Sólidos por (Política Nacional Para La Gestión Integral De Residuos Solidos, 2018), p. 34. Disponible en <https://bit.ly/3imgAzH>

En el PGIRS de la ciudad de Bogotá, para el periodo 2016-2027, la UAESP realizó en 2011 estudios de caracterización para los generadores residenciales. Como es usual en los países en desarrollo, la mayor parte de los residuos generados en Bogotá corresponde a residuos de alimentos, cerca del 60,56% y un 0,87% de jardinería. (Unidad Administrativa Especial de Servicio Público-UAESP, 2015)

En el PGIRS de la ciudad de Cali, para el periodo de 2015-2027 se aprecia para el sector unifamiliar urbano que alrededor del 52,25% de los residuos generados en la ciudad provienen de alimentos procesados y sin procesar. (Departamento Administrativo de Planeación Distrital-DAPD, 2020) (ver Tabla 4).

Tabla 4.

Composición física de los residuos sólidos por categoría y estrato socioeconómico para el sector unifamiliar urbano.

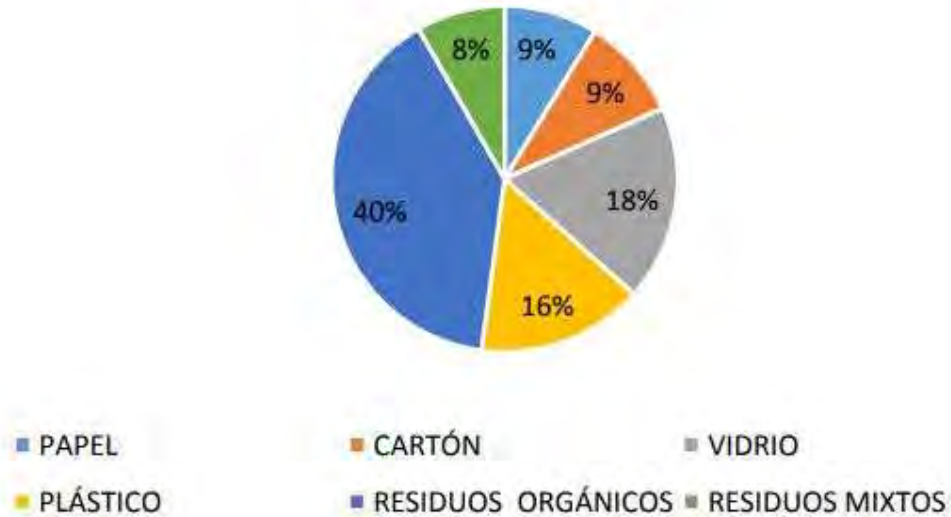
Categoría	Global
Orgánico	52,25
Papel	1,89
Cartón	2,79
Resinas plástico	10,24
Vidrio	2,32
Metálicos	0,83
Otros residuos	29,21
Respel	0,47

Nota: un consolidado de tipologías para la categoría de residuos orgánicos, muestra que la tipología que más se genera es la de alimentos no preparados y representa entre un 64% y 80%, siendo el sector multifamiliar urbano rural el de mayor generación. Tomado de PGIRS, Alcaldía de Santiago de Cali, 2015-2027, Plan de gestión integral de residuos sólidos de Santiago de Cali. Disponible en <https://bit.ly/2NR8wEi>

La Universidad San Buenaventura de Cartagena realizó una caracterización de los residuos sólidos provenientes de las cafeterías donde se obtuvo la composición física de los residuos sólidos en el mes de febrero. (ver Figura 4).

Figura 4.

Producción general de residuos sólidos en la Universidad San Buenaventura durante la segunda semana de febrero.



Nota: La Figura 4 muestra la composición física de la Universidad de San Buenaventura en la segunda semana de febrero, donde se normalizan las actividades en el campus universitario, los residuos con mayor generación, fueron los residuos orgánicos con un 40%. Tomado de la caracterización de residuos sólidos en la cafetería de la universidad de San Buenaventura de Cartagena: propuesta de alternativas de uso con énfasis biotecnológico, (p. 114), por (Henao Ruiz, 2017). Disponible en <https://bit.ly/3jdkx1l>

En la Tabla 5 se muestra la composición en porcentaje en masa por tipo de residuo de la cafetería “escaladas café” de la Universidad Autónoma de Occidente.

Tabla 5.

Composición física de los residuos sólidos de la cafetería "escaladas café" de la Universidad Autónoma de Occidente.

Tipo de residuo	% masa
Papaya	6
Mazorca	1
Banano	4
Melón	2
Zapallo	1
Yuca	0
Papa	11
Huevo	3
Cebolla larga	3
Lechuga	7
Plátano	14
Piña	26
Rebano	0
Zanahoria	1
Brócoli	1
Cebolla cabezona	1
Cilantro	1
Corona de piña	6
Tomate	0
Resto	12
Totales	100

Nota: En la determinación de la composición física de los residuos sólidos de la cafetería "ESCALADA CAFÉ" se observó que los tipos y cantidades de residuos varían según el menú del día con relación al almuerzo, sin embargo, se observa que los residuos están compuestos mayormente por piña (26%), papa (11%), papaya (6%), corona de piña (6%) y plátano (14%) representando el 70% de la cantidad total de los mismos. Tomado de Estudio de las propiedades fisicoquímicas de compost de residuos sólidos orgánicos residenciales, a partir de su caracterización térmica. Por (Pardo Carmona, 2017) (p. 76). Disponible en <https://bit.ly/3q6efV7>

6. MARCO TEORICO

6.1 RESIDUOS ORGÁNICOS

La Unión Europea en el libro Verde define a los biorresiduos aquel residuo biodegradable de jardines y parques, residuos alimentarios y de cocina procedentes de hogares, oficinas, restaurantes, mayoristas, comedores, servicios de restauración colectiva y establecimientos de consumo al por menor, y residuos comparables procedentes de plantas de transformación de alimentos. (Parlamento Europeo, 2018). Los residuos orgánicos son residuos naturales que se descomponen fácilmente en el ambiente. Entre estos se encuentra: restos de residuos vegetales y alimenticios (cuncho de café), papeles no aptos para reciclaje que no tengan tintas, pasto, hojarasca, estiércoles de la cría de animales domésticos, residuos de cosechas, aserrines puros o con mezclas de excretas animales, líquidos biodegradables, madera y otros residuos que pueden ser transformados fácilmente en materia orgánica. (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, s. f.).

6.2 ESQUEMA DE CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

Tabla 6.

Clasificación de residuos sólidos.

Según su fuente de generación	
Provenientes del barrido de calles	Pueden encontrarse desde restos de frutas hasta papeles y plásticos.
Institucionales	Se caracteriza por contener papeles y cartones y también residuos de alimentos provenientes de los comedores institucionales.
Mercados	Son aquellos residuos provenientes de abastos y otros centros de venta de productos alimenticios.
Origen comercial	Son residuos provenientes de los establecimientos comerciales, en los que se incluyan tiendas y restaurantes
Domiciliarios	Contiene restos de verduras, frutas, residuos de alimentos preparados, podas de jardín y papeles.
Según su naturaleza y/o característica física	
Residuos de alimentos	Son restos de alimentos que provienen de restaurantes, comedores, hogares, y otros establecimientos de expendio de alimentos.

Tabla 6. (Continuación)

Según su naturaleza y/o característica física	
Estiércol	Son residuos fecales de animales (ganado) que se aprovechan para su transformación en bio-abono o para la generación de biogás
Restos de vegetales	Son residuos provenientes de podas o deshierbe de jardines, parques u otras áreas verdes; también se consideran algunos residuos de cocina que no han sido sometidos a procesos de cocción como legumbres, cáscara de frutas, etc.
Papel y cartón	Son residuos con un gran potencial para su reciclaje.
Cuero	Son residuos mayormente derivados de artículos de cuero en desuso.
Plástico	Son considerados como residuos de origen orgánico ya que se fabrican de compuestos orgánicos como el etano (componente de gas natural), también son fabricados utilizando algunos derivados de petróleo.

Nota: Existen muchas formas de clasificación de los residuos orgánicos, sin embargo las más conocidas están relacionadas con su fuente de generación y con su naturaleza y/o generación características físicas. Tomado de Guía práctica para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, por (Programa de gestión urbana, 2003).

6.3 PROPIEDADES FISICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

Las propiedades físicas de los residuos sólidos deben tenerse en cuenta para desarrollar y diseñar sistemas de gestión integrada de residuos sólidos, ya que deben constituir la base para la toma de decisiones respecto a dicha gestión. Las características físicas más importantes de los residuos sólidos incluyen el peso específico, contenido de humedad, tamaño de partícula y porosidad de los residuos compactados.

6.3.1 Contenido de Humedad

El contenido de humedad de un residuo sólido, generalmente, se expresa como el peso de humedad por unidad de peso de material húmedo o seco.(ver Tabla 7)

Tabla 7.

Datos típicos del contenido de humedad del componente de residuos de alimentos.

Componente	Rango	Típico
Residuos de alimentos	50-80	70

Nota: Datos típicos del contenido de humedad de los residuos de alimentos en un rango de 50-80. Tomado de Desechos sólidos: Principios de ingeniería y administración por: Tchobanoglous George; Theisen Hilary; y Vigil Samuel, 1994, P. 56.

6.3.2 Peso específico

Se define como el peso de un material por unidad de volumen (kg/m³). Como el peso específico de los RSU frecuentemente se refiere a residuos sueltos, encontrados en los contenedores, no compactados, compactados etc. Los datos sobre el peso específico a menudo son necesarios para valorar la masa y el volumen total de los residuos que tienen que ser gestionados. (Nádales, 2015)

6.4 CONCEPTOS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

6.4.1 Caracterización de los residuos

Determinación de las características cualitativas y cuantitativas de los residuos sólidos, identificando sus contenidos y propiedades de interés con una finalidad específica. (Ministerio de Vivienda, 2017).

6.4.2 Producción diaria per cápita

Cantidad de residuos sólidos generadas por una persona, expresada en términos de Kg/hab-día.

6.4.3 Valorización de los residuos orgánicos

Es el uso potencial de aprovechamiento de residuos sólidos biodegradables que por procesos de transformación pueden ser utilizados como enmiendas, acondicionadores de suelo o abonos orgánicos. (Ministerio de Vivienda, 2017).

6.5 TRATAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS

El material orgánico se puede reutilizar de las siguientes maneras. Para alimentar animales (forrajes), para mejorar el suelo (compost), y para producir energía (biodiesel, biogás o briquetas).(UNESCAP, 2010). El tratamiento y la valorización son más eficaces cuando (a nivel local o regional), hay empeño en la reducción de la cantidad de residuos, evitando el desperdicio, reaprovechando los materiales, separando los reciclables y desechando los residuos de forma correcta.

6.5.1 Incineración

Es un proceso de combustión controlada que transforma la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos en materiales inertes (cenizas) y gases, no es un sistema de eliminación total, pero determina una importante reducción de peso y volumen de los residuos originales. La reducción de peso es aproximadamente del 70% y el volumen del 80 al 90%.

6.5.2 Digestión anaerobia

Es un proceso natural, en el cual intervienen microorganismos que requieren de oxígeno para descomponer, digerir o degradar la materia orgánica transformandola en un material estable y mineralizado conocido como compost.(Presidente de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2018).

6.5.3 Compostaje

El compostaje es un proceso aeróbico biológico que convierte los residuos orgánicos fácilmente degradables en dióxido de carbono y materia orgánica estable. (Christensen, 2010) Proceso aerobio de degradación de la materia orgánica, con aumento de la temperatura controlado; se realiza por acción de microorganismos en presencia de aire para generar el abono orgánico llamado compost. (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, s. f.). El proceso de compostaje presenta variaciones de temperatura durante el proceso, Las diferentes etapas del compostaje se dividen según la temperatura en: (Pilar et al., 2013).

❖ **Fase mesofílica:** El material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días, la temperatura aumenta hasta los 45°C, se presenta la descomposición de compuestos solubles, como azúcares.

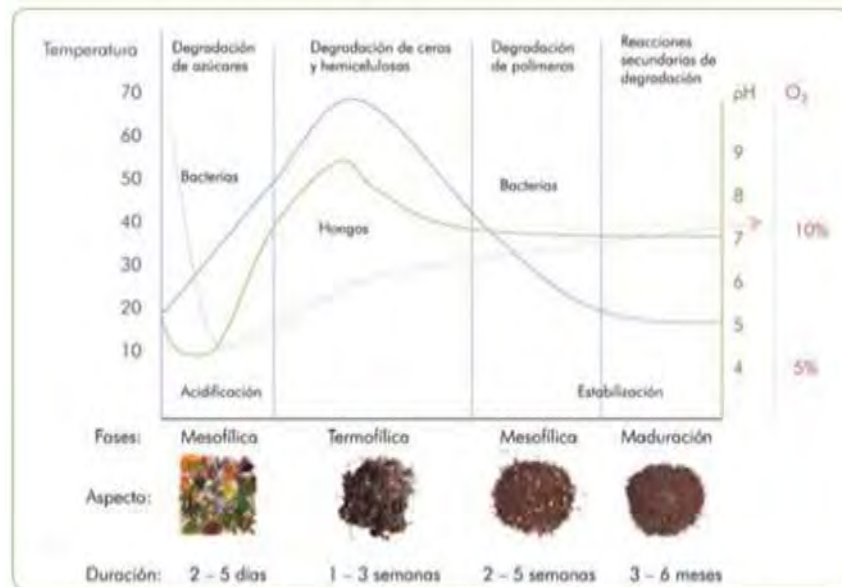
❖ **Fase termofílica o de higienización:** El material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, a partir de los 60 °C, las bacterias son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de carbono complejos.

❖ **Fase de enfriamiento o mesófila II:** la temperatura desciende hasta los 40-45 °C, durante esta fase continua la degradación de polímeros como la celulosa.

❖ **Fase de maduración:** es un periodo donde se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.

Figura 5.

Temperatura, Oxígeno y pH en el proceso del compostaje.



Nota: El proceso de compostaje presenta cuatro fases como son la fase mesofílica, termofílica, mesofílica II Y maduración en las cuales se presenta el aspecto y la duración de los días para cada fase. Tomado de Manual de compostaje del agricultor (p. 25), Por Pilar et al., 2013. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

Tabla 8.*Parámetros del compostaje.*

Parámetro	Rango ideal al comienzo (2-5 días)	Rango ideal para compost en fase termofílica II (2-5 semanas)	Rango ideal del compost maduro (3-6 meses)
C:N	25:1-35:1	15/20	10:1-15:1
Humedad	50%-60%	45%-55%	30%-40%
Concentración de oxígeno	~10%	~10%	~10%
Tamaño de partícula	<25cm	~15cm	<1,6cm
pH	6,5-8,0	6,0-8,5	6,5-8,5
Temperatura	45-60 °C	45 °C temperatura ambiente	Temperatura ambiente
Densidad	250-400 kg/ m3	<700 kg/m3	<700 kg/m3
Materia orgánica (Base seca)	50%-70%	>20%	>20%
Nitrógeno Total (Base seca)	2,5-3,0%	1-2%	~1%

Nota: El proceso de compostaje es un proceso biológico que depende de las condiciones ambientales por lo tanto se debe tener en cuenta los parámetros que afectan la producción y crecimiento de los microorganismos. Tomado de. Manual de compostaje del agricultor, (p. 31). Por Pilar et al., 2013 Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>.

6.5.4 Lombricompostaje

El lombricompostaje implica la combinación de microorganismos y lombrices de tierra, los microorganismos se encuentran en el intestino y el intestino de la lombriz de tierra se nutre del material orgánico y lo descomponen en partículas más finas. De esta manera, los microorganismos proporcionan alimento a las lombrices de tierra y, a su vez la lombrices de tierra promueven una mayor actividad microbiana al producir material fecal o heces que son microbianamente activas de lo que consumen. (Usma et al., 2014).

6.6 METODOLOGÍAS PARA DETERMINAR LAS CANTIDADES DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

Es importante realizar la caracterización de los residuos sólidos con el fin de conocer las cantidades y composición de estos para planificar su gestión de acuerdo con las características. En los estudios de caracterización se necesita implementar una metodología para obtener los datos de generación y composición con el fin de implementar estrategias de mejoramiento en la valorización de los residuos de alimentos.

A continuación se mencionan algunos métodos, para determinar las cantidades de los residuos sólidos, los cuales son: (Runfola, Gallardo, 2009).

6.6.1 Análisis de pesada total

Se pesan la totalidad de los residuos que llegan a las estaciones de transferencia, a las plantas de tratamiento y rellenos sanitarios. También se le conoce como análisis del número de cargas que implica el pesaje en básculas de un número de cargas que llegan a la instalación de tratamiento o disposición final en un tiempo determinado. Las tasas de generación por unidad se determinan utilizando datos de campo.

6.6.2 Análisis peso-volumen

En este método se determina el peso y el volumen de las cargas que llegan a las estaciones de transferencia, a las plantas de tratamiento y rellenos sanitarios, con lo que se puede conseguir las densidades suelta y compactada. Con base al volumen de carga de los camiones se puede determinar el peso y densidad, y se puede tener una idea del tipo de material contenido en los camiones de carga, este método es utilizado en la recepción de residuos en plantas de tratamiento de residuos de construcción y demolición.

6.6.3 Análisis de balance de masas

Es la mejor forma de determinar la generación y el movimiento de residuos con cierto grado de fiabilidad. El método se torna muy complejo debido a que se necesita una gran cantidad de datos, muchos de ellos no disponibles.

6.6.4 Análisis por muestreo estadístico

Este método implica la toma de un número representativo de muestras de residuos sólidos de algunas de las fuentes, durante un tiempo, determinándose los pesos totales y de sus componentes. A partir de un análisis estadístico se determina la tasa de generación y la composición, el número de muestras dependerá de la precisión que se requiera alcanzar, aplicándose métodos estadísticos.

6.7 METODOLOGIAS DE CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

De acuerdo con la revisión de las metodologías de caracterización de los residuos sólidos, existen algunas normas internacionales que se aplican a la caracterización de los residuos sólidos los cuales son:

6.7.1 Norma ASTM D 5231-92 (Sociedad Americana para pruebas y materiales)

Las normas ASTM D 5231-92 “Método de Ensayo estándar para la determinación de la composición de los residuos sólidos municipales sin procesar” establece una serie de procedimientos para la medición de los residuos sólidos mediante una selección y caracterización manual. Se aplica para la determinación de la composición media de los residuos sólidos, con base a la recolección y clasificación de un determinado número de muestras durante un periodo de tiempo mínimo de una semana.

6.7.2 Nordtest method

La función de este método de prueba es obtener información sobre la cantidad y composición de residuos sólidos, principalmente residuos domésticos y residuos mixtos similares de diversas empresas y actividades, excluyendo residuos específicos de ramas de la industria, agricultura, construcción y demolición, producción de energía y plantas de tratamiento de residuos sólidos y líquidos.

6.7.3 Norma Oficiales Mexicanas

En México existen unas normas para la realización de la caracterización de los residuos sólidos. Para la toma y procesamiento de muestras se aplica la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-15-1985 y la NOM-AA-19-1985. Para determinar la generación de residuos sólidos aplican la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-61-

1985 y para la clasificación de subproductos de residuos sólidos, la Norma Mexicana NOM-AA-22-1985 las normas están orientadas a la toma de muestras desde fuentes directas, residencial y fuera de la residencias de habitación. Plantean la realización de muestreo en base al estrato socioeconómico como única variable a considerar.

7. MARCO NORMATIVO

A continuación se describen las leyes, Decretos, Políticas, Resolución expedidas por la normativa Colombiana en cuanto a la prestación del servicio público de aseo desde la recolección hasta la valorización de los residuos de alimentos.

Aspecto general	Ley
Encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables	Ley 99 de diciembre 22 de 1993
Establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios donde se incluye el servicio público de aseo y se dictan otras disposiciones	Ley 142 de 1994
	Decreto
Se establecen los lineamientos para la adecuada prestación del servicio de aseo.	Decreto 605 de 1996
Regular la prestación de los servicios públicos.	Decreto 1077 de 2015
	Política
Política Nacional para la gestión integral de residuos	CONPES 3874
	Resolución
Por medio del cual se expide el Decreto Único reglamentario del sector vivienda, ciudad y territorio.	Resolución 1077 de 2015
	Normativa
Abonos o fertilizantes. Determinación de carbonatos totales y proporciones aproximadas de carbonatos de calcio y magnesio de calizas y calizas dolomíticas.	NTC 2581.89-06-21
Abonos o fertilizantes. Método de ensayo para la determinación cuantitativa del fósforo.	NTC 234 96-11-27
Abonos o fertilizantes. Método cuantitativo para la determinación de nitrógeno amoniacal por titulación previo tratamiento con formaldehído.	NTC 4150 97-06-25
Fertilizantes sólidos y acondicionadores de suelo. Ensayo de tamizado.	NTC 4173 97-06-25
Fertilizantes sólidos. Preparación de muestras para el análisis químicos y físicos, mediante ensayos de tamizado.	NTC 4175 97-06-25

8. METODOLOGIA

El siguiente trabajo de grado se realizó en la Universidad Autónoma de Occidente en la ciudad de Santiago de Cali, Valle del Cauca Colombia, específicamente en la instalación de tratamiento de los residuos de alimentos llamada vivero. La Universidad cuenta con 8713 estudiantes, 651 profesores, 1360 funcionarios y 551 personas en la parte administrativa.

8.1 IDENTIFICAR LOS ASPECTOS TÉCNICOS PARA EL DESARROLLO DEL PROCESO DE LOMBRICOMPOSTAJE EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE.

Se consideraron aspectos técnicos relevantes a partir de literatura técnica y científica, considerando los valores óptimos para el proceso de lombricompostaje. A continuación, se muestran las variables a tener en cuenta en el proceso.

Para identificar las variables en el proceso de lombricompostaje se llevó a cabo una búsqueda de información técnica y científica de las fracciones (sustratos iniciales) adecuadas para la alimentación de la lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*), el tamaño de partícula, la temperatura y pH. La descripción del proceso, subproductos, herramientas y construcción para el proceso de lombricompostaje.

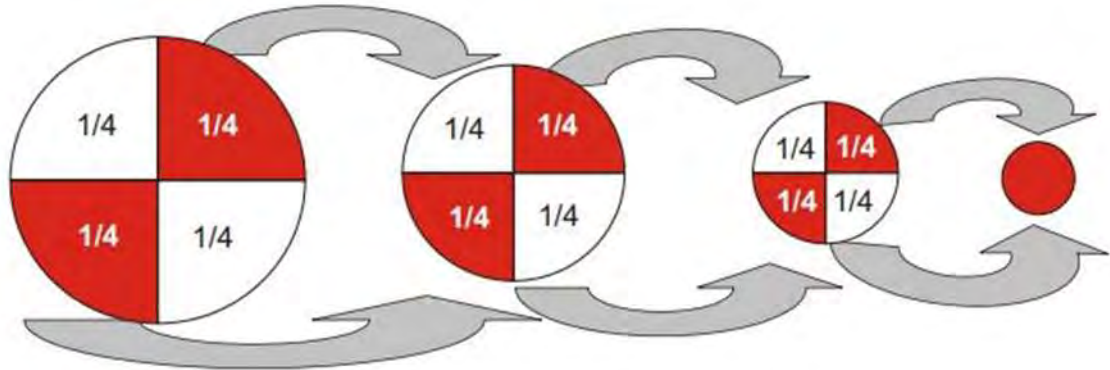
8.2 DIAGNÓSTICO DEL FUNCIONAMIENTO ACTUAL DE LA PLANTA DE LOMBRICOMPOSTAJE DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE.

8.2.1 Seleccionar una metodología para la caracterización física de los residuos de alimentos generados en los servicios de alimentación colectiva.

Para realizar la caracterización exploratoria de los residuos de alimentos en la Universidad Autónoma de Occidente se consultó en la literatura técnica y científica sobre las metodologías de caracterización de biorresiduos y en particular de residuos de alimentos. Aún no existe un método estándar internacional acordado para realizar estudios de composición de residuos sólidos. (Lebersorger y Schneider, 2011). Sin embargo, se realizó una investigación a partir de marcos de referencia, casos de estudios e implementación de metodologías de caracterización de los residuos sólidos.

Figura 6.

Método del cuarteo.



Nota: La muestra o peso final que se obtiene del cuarteo es utilizado para realizar el análisis físico y químico de los residuos orgánicos. Tomado de Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de residuos sólidos, por Cantanhede et al., 2005 (p. 74). Disponible en <https://bit.ly/3kSZeco>

Procedimiento del método del cuarteo: Para efectuar el método del cuarteo, se requirió la participación de un mínimo de tres personas, donde se toman las bolsas de polietileno conteniendo los residuos sólidos y se vació formando una pila cónica, esta pila cónica se divide luego verticalmente en cuatro partes iguales por dos líneas en ángulo recto entre sí. Luego, dos cuartos opuestos se mezclan entre sí en una muestra. Los otros dos cuartos se descartan. Este procedimiento debe repetirse hasta que se alcance el tamaño de muestra establecido.

8.2.2 Definición de las fracciones de materiales de residuos de alimentos crudos a clasificar.

Previamente a partir de un proceso de observación se identificaron las fracciones de materiales que más se generaron en la Universidad Autónoma de Occidente, y esas fracciones de materiales fueron seleccionadas en el sistema de clasificación.

8.2.3 Cuantificación de las cantidades de residuos de alimentos actualmente gestionadas en la instalación de tratamiento

Para conocer las cantidades totales de los residuos generados en los servicios de alimentación colectiva de la Universidad Autónoma de Occidente se realizó el pesaje de los residuos de alimentos que llegan a la instalación de tratamiento de un día y así durante cinco días consecutivos por medio de una báscula electrónica con capacidad de 150 kg previamente calibrada, después se realizó el pesaje de cada una de las fracciones clasificadas. Debido a factores climáticos, características físicas de las bolsas, de los residuos y a errores humanos, se estima la exactitud de este estudio en un +/-10%. (Morales, 2011).

8.2.4 Identificación del funcionamiento actual de la planta de lombricompostaje.

Actualmente, la Universidad Autónoma de Occidente cuenta con una instalación de lombricompostaje y compostaje tradicional, donde son llevados los residuos de alimentos que son generados en los servicios de alimentación colectiva como son Escalada café, Petetes, Mr. Fruit and Gourmet, D Café y Caffesabor. Los residuos de alimentos fueron almacenados por el personal de preparación de alimentos de la Universidad, posteriormente los residuos fueron recogidos y llevados en un tractor por el personal de servicio hasta la instalación de tratamiento. Se realizaron visitas de campo a la instalación de tratamiento, para conocer el funcionamiento actual y a partir de las visitas previas se realizó un diagnóstico de cada una de las operaciones desarrolladas en el proceso.

8.3 PLANTEAMIENTO DE ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO PARA EL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN

8.3.1 Selección de las estrategias a implementar para una adecuada valorización de los residuos de alimentos.

De acuerdo con las visitas de campo a la instalación de tratamiento se evidenció que el rendimiento en el proceso de lombricompostaje era muy bajo y que algunas fracciones de residuos de alimentos no fueron compostadas. Por tal motivo se hizo necesario conocer los aspectos técnicos del proceso de lombricompostaje para plantear estrategias de mejoramiento para la valorización de los residuos de alimentos generados en la Universidad Autónoma de Occidente, tales como proponer un diagrama de flujo del proceso de lombricompostaje y realizar la descripción de acciones de mejoras en el manejo de los residuos comenzando por

la generación, almacenamiento, transporte y tratamiento de los residuos de alimentos. Las estrategias de mejoramiento que se proponen se realizan debido a una visita previa en el vivero donde se evidencia que el rendimiento en el humus no era óptimo.

9. RESULTADOS Y ANÁLISIS

9.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS ASPECTOS TÉCNICOS PARA EL DESARROLLO DEL PROCESO DE LOMBRICOMPOSTAJE

9.1.1 Generalidades de la Lombriz Roja Californiana

El proceso de lombricompostaje es la utilización de lombrices para compostar residuos orgánicos. Es un proceso aeróbico en el que las lombrices, con ayuda de los microorganismos, transforman la materia orgánica en compuestos más simples. Para la obtención de lombricompostaje, la especie de lombriz que comercialmente más se emplea es *Eisenia foetida* conocida comúnmente como lombriz Roja Californiana. (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, s. f.).

Figura 7.

Lombriz Roja Californiana.



Nota: El cuerpo de la lombriz parece una cadena formada de anillos, destacándose un anillo más grande, que contiene los órganos reproductivos, denominados clitelo. La lombriz es hermafrodita. La fertilización es cruzada, se realiza por la unión de los clitelos de dos lombrices. Tomada de producción abono a partir del uso de diferentes de diferentes dietas de procedencia orgánica para el proceso de Vermicompostaje y compostaje, en la Universidad Autónoma de Occidente, Cali-Valle del Cauca. Obtenido de <https://bit.ly/33pivFB>

A partir de la revisión realizada se identifican los parámetros y sus respectivos rangos teniendo en cuenta las perspectivas de diferentes autores en el proceso de lombricompostaje.

Tabla 9.

Parámetros de control en el proceso de lombricompostaje.

Parámetro	Rango
Temperatura	Se recomienda para el proceso de lombricompostaje una temperatura óptima entre 10 a 25 °C teniendo cuidado a que no descienda por debajo de 7 °C y que no supere los 35 °C. Sin embargo, este mismo valor coincide con el expresado por el autor. (Mejia A., 2010). Otros autores expresan que la temperatura óptima para el desarrollo de la Lombriz Roja Californiana debe oscilar entre 12-25 °C. (Servicio Nacional de Aprendizaje, 2017). Otro autor afirma que la temperatura óptima debe estar entre 15 a 20 °C. (Vermican, 2018)
Humedad	Se recomienda un porcentaje de humedad adecuado, entre 70 y 80%. (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, s. f.). Sin embargo, otros autores afirman que el % de humedad debe ser del 70%. (Servicio Nacional de Aprendizaje, 2017). Otro autor afirma que la humedad debe estar entre 80-90%. (Vermican, 2018)
pH	Se recomienda un pH entre 6,5 y 7,5. Valores por debajo de 4,5 y por encima de 8,5 pueden causar la muerte del lombricultivo. (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, s. f.), sin embargo, otros autores establecen un valor óptimo de 7. (Servicio Nacional de Aprendizaje, 2017). Otro Autor afirma que el pH óptimo para la Lombriz Roja Californiana debe estar entre 5 y 9.(Vermican, 2018)
Relación C:N	La relación inicial de los residuos debe ser 30:1
Salinidad	Debe estar por debajo de 0,5%.
Contenido de amonio	Se recomienda que el contenido de amonio se mantenga por debajo de 0,5 mg/g.

Tabla 9. (Continuación)

Parámetro	Rango
Sustrato	<ul style="list-style-type: none"> – Los materiales orgánicos útiles en la alimentación de lombrices son los siguientes: (Servicio Nacional de Aprendizaje, 2017) – Residuos vegetales de la cocina. – Frutas y tubérculos no aptos para el consumo. – Restos de poda de árboles y jardines. – Materiales orgánicos de residuos urbanos. – Restos de serrerías e industrias relacionadas con la madera. – Residuos vegetales procedentes de explotaciones agrícolas. – Residuos agro-industriales – Estiércol de especies domésticas. – Fangos de depuradora. – Cascara de huevo (estrujadas para acelerar el proceso y de ser posibles tostadas).(Mikolic et al., 2018).

Nota: Parámetros a tener en cuenta en el proceso de lombricompostaje. Tomado de. Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura, (p. 89). Por Pilar et al., 2013 Disponible en http://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf

En la tabla 9 se muestran los parámetros con rangos amplios, donde a partir de ellos se realizará los diferentes ajustes de las variables del proceso y los procedimientos realizados en cada una de las operaciones del proceso de lombricompostaje en la UAO.

9.1.2 Etapas mínimas requeridas para un proceso adecuado.

Se consideran aspectos técnicos relevantes para el desarrollo del proceso de lombricompostaje como las etapas mínimas para el funcionamiento del proceso, las medidas en la construcción de las camas o lechos y los subproductos obtenidos. El proceso de lombricompostaje adecuado para obtener una valorización eficiente de los residuos de alimentos debe considerar las siguientes etapas que se muestran en la (Tabla 10). (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, s. f.).

Tabla 10.

Etapas del proceso de lombricompostaje.

Proceso	Descripción
Clasificación y reducción del tamaño	<p>Se encontró que el proceso de lombricompostaje se ve afectado por algunos materiales orgánicos que requieren un tratamiento previo antes de ser agregados a las camas o lechos. Se recomienda triturar los materiales verdes para acelerar el proceso de descomposición y tener en cuenta las siguientes recomendaciones.(Vermican, 2018)</p> <ul style="list-style-type: none"> – Las lombrices son sensibles a las bajadas de pH por acidez y esto debido a las cascara de cítricos y de piña, se recomienda regularse el aporte de sustancias ácidas con la aplicación de ceniza o cascara de huevo triturada. – Huesos de moluscos, cascara de frutos secos, cascara de huevo, huesos, corchos de botella son de descomposición muy lenta y pueden aparecer en el compost final tal y como se aportan, se recomienda triturar antes de agregar – Los restos leñosos de jardín son demasiado leñosos y no se descomponen a la misma velocidad que el resto de los materiales. – Generalmente el césped se genera en grandes cantidades para aportar en el lombricompostaje en una sola vez. Se recomienda amontonar el césped y aplicarlo en finas capas mezclado con otros materiales. – Plantas tratadas con pesticidas o muy enfermas pueden resultar tóxicos para las lombrices. – Las ramas de coníferas son demasiado ácidas y desprenden resinas tóxicas que ralentizan el proceso. <p>En un estudio realizado sobre el efecto de la Lombriz Roja Californiana durante el composteo y vermicomposteo, se les realizó a los insumos utilizados (restos de cocina, pulpa de café, cartón y restos vegetales), una reducción de tamaño manualmente con dimensiones de 5 a 8 cm de longitud. (Paco et al., 2011).</p>
Pie de Cría de Lombriz	Las cantidades en las camas o lechos recomendadas son un kilogramo de pie de cría por metro cuadrado de lombricultivo.

Tabla 10. (Continuación)

Proceso	Descripción
Preparación de lecho	Para su preparación es necesario situar una capa de residuos carbonatados, como hojas secas, aserrín, paja entre otros, mezclado con una capa de estiércol de animales herbívoros. Verificar que la mezcla quedó con el porcentaje de humedad adecuado 60-70%
Preparación del alimento para las lombrices	Se puede emplear diferentes sustratos, ya sean residuos crudos, residuos secos o residuos de jardín.
Pre Compostaje	Se recomienda pasar por un proceso previo de degradación de residuos, antes de suministrárselos a las lombrices, ya que muchos residuos orgánicos tienen altos contenidos de ácidos orgánicos y otras sustancias que pueden llegar a ser perjudiciales. Los materiales vegetales verdes como restos de podas de árboles, jardines, residuos de exportaciones agrícolas y vegetales de cocina deben compostarse previamente, antes de ser mezclados con otros alimentos y suministrados a las lombrices.
Monitoreo y Control	Se debe revisar y verificar diariamente la temperatura, utilizando un termómetro. También se debe de realizar seguimiento de la humedad y pH.
Cosecha de lombriz	Cuando se tenga una apariencia granulosa, de coloración negruzca, con olor a tierra, La densidad de las lombrices se ha duplicado y la altura del lecho ha superado los 60 cm de altura es el momento de retirar las lombrices y cosechar el lombricompost. Para ellos se debe: – Suspender el riego y alimentación por cinco a diez días antes de la cosecha.

Tabla 10. (Continuación)

Proceso	Descripción
Trampeo	<p>Se extiende sobre el lombricultivo una polisombra, malla o costal. Sobre esta polisombra se coloca una capa de 5 cm de alimento, preferiblemente frutas rociadas con melaza.</p> <p>Al cabo de dos semanas pueden ser tomadas retirando la polisombra con el alimento que se colocó.</p> <p>Estas lombrices con el alimento pueden ser colocadas en una nueva cama para continuar el proceso.</p> <p>Ir cosechando el lombricompost por capas, porque es posible que en el centro conserve humedad y aún haya allí lombrices.</p> <p>Otros autores explican cómo realizar el método de trampeo que consiste en dejar de alimentar a las lombrices por 8-10 días. Posteriormente se coloca “alimento fresco” en un extremo de la cama o sobre el material en el mismo contenedor para atraer las lombrices. De esta forma la lombriz se mueve al material fresco en busca de alimento y pueden ser colectadas de allí.(Pilar et al., 2013).</p>
Secado	<p>Se procede a retirar el humus de las camas, se debe bajar la humedad al 30% al aire libre.</p>
Extracción del humus	<p>Una vez se ha cosechado el lombricompostaje es necesario pasarlo por un tamiz o zaranda cuyo tamaño de orificio no sea mayor a 1 cm. El material fino será el producto final, apto para su uso o comercialización. El material grueso puede ser llevado al lombricultivo de nuevo.</p>
Análisis nutricional del humus	<p>Según (Norma Técnica Colombiana 5167, 2011) establece los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas o acondicionadores del suelo.</p>
Empaque	<p>Debe disponerse en empaques que permitan el intercambio gaseoso del lombricompost, sin que se vea favorecida su deshidratación.</p>
Almacenamiento	<p>Debe almacenarse en lugares secos, ventilados, al resguardo del sol, la lluvia y vectores, preferiblemente sobre estibas, para que no quede en contacto con el suelo y evitar que quede en contacto con las paredes o muros, esto con el fin de favorecer la ventilación de los sacos de lombricompost.</p>

Para la construcción de las camas o lechos se deben tener en cuenta las siguientes medidas que se muestran en la (ver Tabla 11). (Guanche García, 2015).

Tabla 11.

Construcción de las camas o lechos.

Medidas	Descripción
Pendiente	La pendiente de las camas o lechos debe estar entre 2 a 3% para recoger los lixiviados mediante una tubería ubicada en el centro del lecho colocada longitudinalmente.
Ancho	Desde 1 hasta 2 metros máximo, para el buen desarrollo de labores, se consideran que un metro de ancho es ideal.
Longitud	Según disponibilidad
Altura	Entre 40-50 cm, debido a que las lombrices no se desplazan más de esa profundidad.
Separación entre lechos o camas	Mínimo 50 cm

9.1.3 Herramientas para el proceso de lombricompostaje

Las herramientas utilizadas para el proceso de lombricompostaje y registro de datos son los siguientes. (Guanche García, 2015) Termómetros, pH metro, carretilla, pala, guantes, rastrillos, bascula de piso, balanza para determinar la humedad, cubetas, malla para extraer el humus.

9.1.4 Subproductos del proceso de lombricompostaje

Los subproductos obtenidos a partir del proceso de lombricompostaje son los siguientes.

❖ **Abono orgánico (Humus):** se considera como fertilizante orgánico, rico en enzimas y microorganismos benéficos

❖ **Lixiviado:** Es el líquido que resulta del drenaje de las camas de lombricultivo, debe ser inoloro, de color muy oscuro. Es rico en nutrientes y estos se encuentran solubles, es decir que son de fácil asimilación por las plantas, por lo que se puede utilizar como fertilizante foliar.

❖ **Lombrices (proteína de lombriz):** insumos para alimentos concentrados. Lombrices para alimentación en fresco para peces, cerdos y aves. Harinas para el consumo animal. Carnes para hamburguesa para consumo humano. Carnada para pesca artesanal y deportiva.

9.2 DIAGNÓSTICO DEL FUNCIONAMIENTO ACTUAL DE LA PLANTA DE LOMBRICOMPOSTAJE.

9.2.1 Caracterización de los residuos de alimentos en la Universidad Autónoma de Occidente.

De acuerdo con las metodologías anteriormente revisadas sobre la caracterización de los residuos sólidos, el método seleccionado para la reducción de masa fue fijado por la norma Nordtest method, se escoge el método debido a que se puede obtener información sobre la cantidad principalmente sobre los residuos domésticos, donde sus componentes son fácilmente detectables y se puedan clasificar. (Biyogue Douti et al., 1995).

La caracterización de los residuos de alimentos se realizó en la instalación de tratamiento de la Universidad Autónoma de Occidente, con el fin de obtener una muestra representativa, se realizó por medio del método de reducción de masa. Los residuos de alimentos generados en las cafeterías de la Universidad son llevados a la instalación de tratamiento de la Universidad Autónoma de Occidente, donde se realiza el pesaje de cada una de las bolsas que llegan al vivero.

Figura 8.

Pesaje de los residuos de alimentos.



Seguidamente los residuos de alimentos se vaciaron en un terreno firme, donde la muestra se homogenizo y se procedió a realizar un montón cónico.

Figura 9.

Homogenización de los residuos de alimentos.



Este montón se dividió luego verticalmente en cuatro partes iguales por dos líneas en ángulo recto entre sí. Luego, dos cuartos opuestos se mezclaron entre sí en una muestra. Las otras dos se descartaron. Este procedimiento debe repetirse hasta que se alcance el tamaño de muestra establecido.

Figura 10.

Caracterización de los residuos de alimentos.



Los residuos generados en las cafeterías se dividieron en cuatro partes aproximadamente iguales A B C y D y se eliminaron las partes opuestas A y C ó B y D.

9.2.2 Definición de las fracciones de materiales de residuos de alimentos crudos a clasificar.

Cuando se obtuvo el tamaño de muestra establecido, los residuos se clasificaron tras conocer las cantidades más representativas y de mayor cantidad en el flujo de residuos de alimentos. La siguiente es la clasificación de los residuos de alimentos durante la caracterización exploratoria:

Figura 11.

Clasificación de los residuos de alimentos.



Nota: Las fracciones más representativas en la caracterización fueron la cascara y tallo de piña, cascara de plátano, cascara de limón, cáscara de huevo, cáscara de frutas, vegetales y cáscara de papa.

9.2.3 Cuantificación de las cantidades de residuos de alimentos actualmente gestionadas en la instalación de tratamiento.

Para conocer las cantidades totales de los residuos generados de las cuatro cafeterías de la Universidad Autónoma de Occidente se realiza el pesaje durante cinco días consecutivos por medio de una báscula electrónica con capacidad de 150 kg previamente calibrada y después se realiza el pesaje de cada una de las fracciones clasificadas.

Tabla 12.

Clasificación y cuantificación de los residuos de alimentos.

Fecha	Peso (kg)							Total(kg)
10/29/ 2019	Toma1	Toma2	Toma3	Toma4	Toma5	Toma6	Toma 7	
	23,55%	30,54%	22,22%	13,91%	9,79%	-	-	135,9
Peso por flujo después del cuarteo								
	Cásca. Piña	Cásca. plátano	Cásca. limón	Cásca. Huevo	Cásca. Frutas	vegetales	Cásca. papa	
	3,2	2,8	0,35	0,1	1,1	3,5	0,6	11,5
10/30/ 2019	Toma 1	Toma2	Toma3	Toma4	Toma 5	Toma 6	Toma 7	
	2,67%	13,34%	19,47%	6,59%	10,12%	9,18%	38,77 %	127,4
Peso por flujo después del cuarteo								
	Cásca. Piña	Cásca. plátano	Cásca. limón	Cásca. Huevo	Cásca. Frutas	vegetales	Cásca. papa	
	4,4	3,4	0,55	0,1	0,6	4,9	0,6	14,4
10/31/ 2019	Toma 1	Toma2	Toma3	Toma4	Toma 5	Toma 6	Toma 7	
	15,99%	19,53%	24,46%	16,33%	19,96%	3,80%	15,99 %	115,7
Peso por flujo después del cuarteo								
	Cásca. Piña	Cásca. plátano	Cásca. limón	Cásca. Huevo	Cásca. Frutas	vegetales	Cásca. papa	
	2,2	2,4	0,15	4,4	0,5	4,5	0,9	14,9
11/01/ 2019	Toma 1	Toma2	Toma3	Toma4	Toma 5	Toma 6	Toma 7	
	20,51%	35,92%	24,97%	14,35%	4,25%	-	-	94,1
Peso por flujo después del cuarteo								
	Cásca. Piña	Cásca. Plátano	Cásca. Limón	Cásca. Huevo	Cásca. Frutas	vegetales	Cásca. Papa	
	1,4	2,7	0,7	-	1,2	4,3	0,2	10,4
11/05/ 2019	Toma 1	Toma2	Toma3	Toma4	Toma 5	Toma 6	Toma 7	
	25,27%	27,61%	29,29%	14,81%	3,01%	-	-	119,5
Peso por flujo después del cuarteo								
	Cásca. Piña	Cásca. plátano	Cásca. limón	Cásca. Huevo	Cásca. Frutas	vegetales	Cásca. papa	
	2,9	3,8	0,3	-	1,9	3,8	0,4	13,0

Nota: Clasificación y Cuantificación diaria de los residuos de alimentos generados en las cafeterías de la Universidad Autónoma de Occidente.

La Universidad actualmente cuenta con un registro de las cantidades generadas en el proceso de lombricompostaje y compostaje tradicional, con el fin de conocer el rendimiento en la obtención del humus

9.2.4 Identificación del funcionamiento actual de la planta de lombricompostaje.

Actualmente, la Universidad Autónoma de Occidente cuenta con una instalación de tratamiento de los residuos de alimentos generados en las cafeterías, donde cuenta con 14 camas funcionales hechas a concreto con medidas de 1 m a 6 m cubiertas con telas negra para cada una de las camas de concreto. También cuenta con un techo para propiciar un ambiente adecuado para las lombrices. A continuación se describe el funcionamiento actual de la planta de lombricompostaje.

Cuando los residuos de alimentos llegaban a la instalación de tratamiento de la Universidad Autónoma de Occidente eran dispuestos por varios días al aire libre sufriendo un proceso de fermentación dentro de las bolsas, los residuos eran dispuestos en las camas sin ningún proceso previo de selección y reducción del tamaño, no se realizaba un control de peso de los residuos, ni del alimento en las camas.

Figura 12.

Entrada de los residuos de alimentos a la instalación de tratamiento.



Nota: Muestra los residuos de alimentos dispuestos en el suelo sin realizar ninguna apertura a las bolsas.

Se evidencio que la lombriz no se alimentaba en un 100% del material, debido a la falta de un proceso previo de descomposición de los residuos de alimentos. Los residuos que no eran tratados por la lombriz son agregados al proceso de compostaje tradicional.

Figura 13.

Etapa de descomposición de los residuos de alimentos.



Figura 14.

Lombriz Roja californiana en las camas.



Nota: Se logro evidenciar que las lombrices tenían un aspecto amarillento en su cuerpo que no tiene que ver con su color original. Se evaluó que la densidad de la lombriz por metro cuadrado es muy baja (0,7 kg/m²)

El humus obtenido del proceso de lombricompostaje es tamizado por funcionarios de la Universidad, donde se realiza la separación de las impurezas del proceso,

evidenciando materiales improprios en el producto final. Se evidenciaron en las camas presencia de materiales reciclables secos (bolsas plásticas, servilletas, icopor) residuos orgánicos (comida procesada). Al humus final no se le realiza un secado ni se contaba con un análisis nutricional (análisis químico).

Figura 15.

Tamizado del humus.



Nota: Muestra que la descomposición de los residuos de alimentos no es total, el % del humus después de realizar el tamizado es del 44%.

9.3 ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO PARA LA VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE ALIMENTOS GENERADOS EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE, DE MANERA QUE SE CONTRIBUYA A MEJORAR EL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN EN LA PLANTA DE COMPOSTAJE.

Se realiza una comparación de los parámetros de control en el proceso de lombricompostaje de la Universidad Autónoma de Occidente, para revisar las mejoras en el proceso de lombricompostaje.

Tabla 13.

Parámetros de control anteriores.

Parámetro	Rango
Temperatura	28-35 °C
pH	4.0-5.0
Humedad	65-70

Tabla 14.

Parámetros de control actual.

Parámetro	Rango
Temperatura	20-25 °C
pH	6.3-7.5
Humedad	75-80

Nota: En la Tabla 13 y 14 se evidencia el ajuste de los parámetros óptimos bajo las recomendaciones técnicas.

9.3.1 Acciones de mejoras para el proceso de lombricompostaje

Las estrategias de mejoramiento implementadas en la instalación de tratamiento de los residuos de alimentos de la Universidad Autónoma de Occidente se realizaron de acuerdo con lo reportado por la literatura.

❖ **Separación en la fuente:** Los residuos de alimentos son clasificados por el personal de cocina de la Universidad a quienes les han realizado charlas para promover la separación de las fracciones que se generan en las cafeterías. Los residuos orgánicos, los residuos de cáscara de huevo y los residuos de comida (procesada) son almacenados en bolsas separadas.

Figura 16.

Separación de los residuos de alimentos y la cascara de huevo.



Nota: En este caso se muestra en la imagen los tipos de residuos que son llevados a la instalación de tratamiento de la Universidad como son los residuos de alimentos y cáscara de huevo.

❖ **Recolección y transporte:** Los residuos de alimentos son generados en las cafeterías y son recogidos in situ, después de realizar la recolección son transportados por funcionarios de la Universidad mediante un tractor a la instalación de tratamiento, allí son pesados diariamente con un peso promedio de 120 kg de residuos al día. En época activa de clases, se evidencio que los días con mayor producción de residuos eran entre los días lunes a miércoles.

Figura 17.

Recolección de los residuos de alimentos.



❖ **Clasificación y reducción del tamaño:** Los residuos después de llevarlos a la planta de lombricompostaje son vaciados en un área plana cubierta con plástico para que a partir de allí se reduzca su tamaño y se realice la clasificación de materiales que son de fácil degradación. Según lo reportado por la literatura los residuos de alimentos son picados (tritutados) manualmente con dimensiones de 5-8 cm de longitud.

Figura 18.

Reducción del tamaño y clasificación de los residuos de alimentos.



❖ **Precompostaje:** Después los residuos son agregados a una cama para realizar el proceso de precompostaje alcanzando temperaturas de 50 a 60 °C, el material empieza a degradarse y hay una liberación de lixiviados, este proceso tiene una duración entre 15 a 20 días dependiendo del material.

❖ **Monitoreo y control:** Los parámetros a registrar durante el proceso de lombricompostaje son la temperatura, pH y humedad en las etapas de precompostaje y alimentación de la lombriz.

❖ **Alimentación de la lombriz:** Cuando la temperatura baja a 30°C, se homogeniza y se deja airear el material que se obtuvo de la etapa de precompostaje. La alimentación se hace de a capas de 10 cm, pero este proceso se debe de realizar hasta alcanzar una altura de 50 cm, este proceso de descomposición dura por lo menos seis meses. Las lombrices degradan el material entre 20 a 30 días por cada capa de 10 cm. Cuando se evidencia que los residuos empiezan a tener un color negro es porque la lombriz ha realizado el proceso de degradación adecuadamente, sin embargo cuando este color se muestra es necesario agregarle residuos de alimentos debido a que las lombrices subirán en busca de alimento. La cantidad de lombrices por m² en las camas tuvo un aumento que paso de 0,6 kg/m² a 1,6 kg/m².

❖ **Trampeo:** Consiste en colocar nuevo sustrato en la parte superior de la malla milimetrada, se extraen las lombrices y se pasan a otra cama, el trampeo se realiza dos o tres veces durante ocho (8) días, el humus que sale de la cama va para un proceso de secado.

Figura 19.

Trampeo



❖ **Extracción del humus:** El humus es tamizado y las características organolépticas (olor a tierra, color negro, estructura suelta y granulosa), son indicadores que describen que el humus está listo.

❖ **Secado del humus:** El humus se extrae y después se coloca en un área plana con una bolsa plástica, en un sitio disponible en la instalación para dejar secar por medio de la luz solar.

Figura 20.

Secado del humus



❖ **Empaque del humus:** Después de este proceso se pasa el humus seco por un molino de martillo para volver el tamaño de partícula más fino, esto con el fin de que en agua sea más soluble y las raíces pueden fijar los nutrientes adecuadamente. Finalmente se realiza un análisis nutricional del humus y se realiza el empaque en bolsas.

En las estrategias de mejoramiento se plantea el diagrama de procesos del lombricompostaje para la Universidad Autónoma de Occidente. (Ver Anexo A)

10. CONCLUSIONES

A partir del diagnóstico desarrollado en la planta de lombricompostaje en la Universidad Autónoma de Occidente se determinó que no estaban determinadas las variables óptimas del proceso y muchas de las operaciones del proceso no se desarrollaban bajo los procedimientos técnicos establecidos generando deficiencias.

A partir del proceso de caracterización de los residuos de alimentos que llegan a la instalación de tratamiento de lombricompostaje se evidencio que muchos de ellos no son óptimos para generar una alimentación adecuado a la lombriz, estableciendo así los protocolos necesarios para adoptar diferentes etapas en el proceso como la implementación del precompostaje, reducción del tamaño y clasificación de los residuos de alimentos.

Las estrategias de mejoramiento aplicados a la planta de lombricompostaje a partir de los aspectos técnicos, procesos de caracterización y diagnóstico permitieron generar eficiencias en el proceso, donde el grado de pureza del humus paso de un 40 a un 80%, se realizó el monitoreo constante en las camas, donde se evidencia que los parámetros están dentro de los rangos óptimos y la cantidad de lombrices por m² en las camas paso de 0,7 kg/m² a 1,6 kg/m², está considerada dentro de los estándares esperados.

REFERENCIAS

- Anzola Parra, D. F. (2015). *Estudio del manejo de residuos sólidos en el relleno sanitario Doña Juana con el fin de delinear un borrador de propuesta para el manejo integral de residuos sólidos en la ciudad de Bogotá D.C* [Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario]. <https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/11399/AnzolaParra-Diego-2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Biyogue Douti, N., Kojo Abanyie, S., Ampofo, S., y Nyarko Komla, S. (1995). *Solid Waste Municipal: Sampling and Characterisation*. http://nordtest.info/images/documents/nt-methods/environment/NT_envir001_Solid_waste_municipal_Sampling_and_characterisation_NordtestMethod.pdf
- Cantanhede, A., Monge, G., Sandoval, L., y Caycho, C. (2005). Procedimientos Estadísticos para los estudios de caracterización de Residuos Sólidos. En *AIDS, Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica* (Vol. 1). <http://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/13553/12897>
- Christensen, T. H. (2010). *Solid Waste Technology and Management* (Vols. 1-2). <https://doi.org/10.1002/9780470666883>
- Política Nacional Para La Gestión Integral De Residuos Sólidos, Departamento Nacional de Planeación 73 (2018). <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/3874.pdf>
- Coyago, E., Gonzales, K., Heredia, E., y Sánchez, R. G. (2016). Recomendaciones para la caracterización y cuantificación de residuos sólidos universitarios. caso de estudio: Universidad Politécnica Salesiana, Campus Sur, Quito. *La Granja*, 23(1), 60-71. <https://doi.org/10.17163/lgr.n23.2016.07>
- Daza Torres, M. C., Oviedo Ocaña, E. R., Marmolejo Rebellón, L. F., y Torres Lozada, P. (2014). Selección de sistemas agroambientales con potencial uso de compost de biorresiduos municipales. *Acta Agronomica*, 64(2). <https://doi.org/10.15446/acag.v64n2.43977>

- Departamento Administrativo de Planeación Distrital-DAPD. (2020). *Plan de Gestión Integral del Residuos Sólidos - PGIRS 2015-2027*.
- Departamento Nacional de Planeación. (2016). Pérdida y Desperdicio de alimentos en Colombia. En *Departamento Nacional de Planeación* (Vol. 39, p. 116).
- Grima, A., Masanas, M., Nohales, G., Villa, M., Amliger, F., Ventosa, I., Sora, M., Giró, F., Llobera, J., Moreno, J., y Soliva, M. (2013). Gestión de biorresiduos de competencia municipal. En *Journal of Visual Languages y Computing* (Ministerio, Vol. 11, Número 3). https://www.m-culture.go.th/mculture_th/download/king9/Glossary_about_HM_King_Bhumibol_Adulyadej's_Funeral.pdf
- Guanche García, A. (2015). *Las lombrices y la agricultura*. http://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/agec_562_lombrices_y_la_agricultura2.pdf
- Henao Ruiz, M. J. (2017). *Caracterización de residuos sólidos en la cafetería de la universidad de San Buenaventura Cartagena: propuesta de alternativas de uso con énfasis biotecnológico* [Universidad de San Buenaventura Cartagena]. [http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/4527/1/Caracterización de residuos sólidos_María Ruiz H_2017.pdf](http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/4527/1/Caracterización_de_residuos_sólidos_María_Ruiz_H_2017.pdf)
- Hoornweg, D., y Bhada Tata, P. (2012). A Global Review of Solid Waste Management - Review, Global Management, Solid Waste. En *World Bank* (Número 15). <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17388>
- Norma Técnica Colombiana 5167, Icontec Internacional 1 (2011). www.icontec.org
- Kim, C., Her, Y., Kim, Y., Jung, C., Lim, H., y Suh, K. (2019). Evaluating the effectiveness of HOCl application on odor reduction and earthworm population growth during vermicomposting of food waste employing *Eisenia fetida*. *PLoS ONE*, 14(12), 1-12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226229>
- Lebersorger, S., y Schneider, F. (2011). Discussion on the methodology for determining food waste in household waste composition studies. *Waste Management*, 31(9-10), 1924-1933. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.05.023>

- Lim, S. L., Lee, L. H., y Wu, T. Y. (2016). Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: Recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. *Journal of Cleaner Production*, 111, 262-278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.083>
- Mejia A., P. (2010). Manual Lombricultura. En *Agroflor Lombricultura* (p. 54). https://www.academia.edu/30102022/Agroflor_Manual_De_Lombricultura
- Mikolic, C., Andreoni, I., Ruffinelli, S., Gómez, A., Dárdano, B., Basile, D., y Jorge Escudero, G. (2018). *Manual De Vermicompostaje: Cómo reciclar nuestros residuos orgánicos* (pp. 1-208). <https://montevideo.gub.uy/sites/default/files/biblioteca/imvermicompostajeinterior.pdf>
- Ministerio de Vivienda, C. y T. (2017). RAS 2000, Título F - Sistemas de aseo urbano. En *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico*. <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo-f.pdf>
- Morales, M. R. (2011). Caracterización de residuos sólidos en la universidad iberoamericana, ciudad de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(1), 93-97. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000100008
- Nádales, E. (2015). Propiedades Físicas, Químicas y Biológicas de los RSU. *Gestión de RSU*, 15-26. https://aulagaasociacion.files.wordpress.com/2015/03/4_propiedades_rsu.pdf
- Oviedo Ocaña, R., Marmolejo Rebellon, L., y Torres Lozada, P. (2012). Perspectivas de aplicación del compostaje de biorresiduos provenientes de residuos sólidos municipales. Un enfoque desde lo global a lo local. *Ingengerias Universidad de Medellín*, 11(20), 67-75. <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v11n20/v11n20a06.pdf>

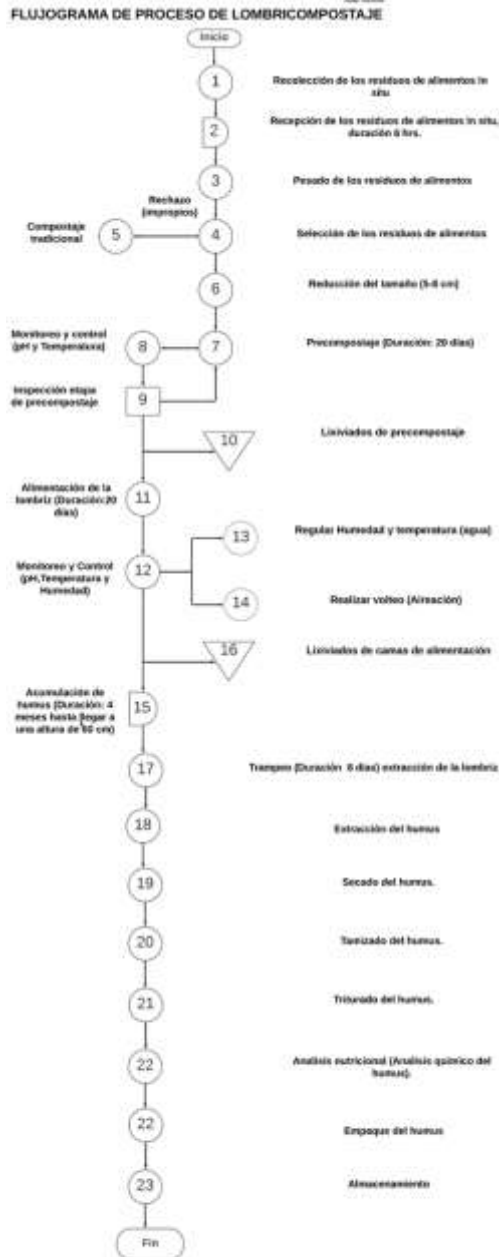
- Oviedo, R., Marmolejo, F., y Torres, P. (2017). Avances en investigación sobre el compostaje de biorresiduos en municipios menores de países en desarrollo. Lecciones desde Colombia. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 18(1), 31-42. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2017.18n1.003>
- Paco, G., Loza, M., Mamani, F., y Sainz, H. (2011). Efecto de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) durante el composteo y vermicomposteo en predios de la Estación Experimental de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 2(2), 24-39. <http://www.scielo.org.bo/pdf/jsars/v2n2/a04.pdf>
- Pardo Carmona, N. R. (2017). *Estudio de las propiedades fisicoquímicas de compost de residuos sólidos orgánicos residenciales, a partir de su caracterización térmicas* [Universidad Autónoma de Occidente]. <https://red.uao.edu.co/bitstream/10614/10064/1/T07727.pdf>
- Parlamento Europeo. (2008). Libro Verde: sobre la gestión de los biorresiduos en la Unión Europea. *Comisión De Las Comunidades Europeas*, 24. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0811:FIN:ES:PDF>
- Parlamento Europeo, C. de la U. E. (2018). Directiva (UE) 2018/851 del Parlamento Europeo y el Consejo de 30 de mayo de 2018 por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos. *Diario Oficial de la Unión Europea. Serie L*, 150, 14 de junio, 109-140. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0851&from=EN>
- Pilar, R., María, M. M., y Alberto, P. (2013). Manual de compostaje del agricultor. En *Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe* (p. 112). <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- Presidente de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. (2018). *Gestión integral de residuos sólidos* (p. 203). <https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/08/GESTION-INTEGRAL-DE-RESIDUOS-SOLIDOS-URBANOS-LIBRO-AIDIS.pdf>
- Programa de gestión urbana. (2003). *Guía práctica N.2 para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos*. <http://rfd.org.ec/biblioteca/pdfs/LG-056.pdf>

- Runfola, J. Gallardo, A. (2009). *Análisis comparativo de los diferentes métodos de caracterización de residuos urbanos para su recolección selectiva en comunidades urbanas* [De los Andes]. <http://observatoriorsu.ambiente.gob.ar/content/pdfinvestigacion/21.pdf>
- Servicio Nacional de Aprendizaje. (2017). *Manual de lombricultura*. https://issuu.com/lombriculturabarquisimetodevenezuel/docs/manual_3____m_anual_lombricultura_se
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2016). *Informe Nacional de Aprovechamiento*. file:///C:/Users/youhe/Downloads/kdoc_o_00042_01.pdf
- Tchobanoglous George; Theisen Hilary; y Vigil Samuel. (1994). *Propiedades físicas, químicas y biológicas de los residuos sólidos urbanos*.
- UNESCAP. (2010). *Guidelines for Solid Waste Management Assessment (Baseline Survey) in Secondary Cities and Small Towns in Asia and the Pacific*. April, 1-8. [https://www.unescap.org/sites/default/files/Guidelines for Solid Waste Management Assessment \(Baseline Survey\) FINAL.pdf](https://www.unescap.org/sites/default/files/Guidelines%20for%20Solid%20Waste%20Management%20Assessment%20(Baseline%20Survey)%20FINAL.pdf)
- Unidad Administrativa Especial de Servicio Público-UAESP. (2015). Plan De Gestión Integral De Residuos Solidos 2016 – 2027. En *Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos – UAESP-*. (p. 1228). http://www.uaesp.gov.co/uaesp_jo/images/direccion/PGIRS_FINAL_18-12-2015.pdf
- Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos. (s. f.). *Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura*. http://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf
- Unidad Administrativa Especial De Servicios Públicos. (2011). *Caracterización de los residuos sólidos residenciales en la ciudad De Bogota D.C 2011* (p. 69). [http://www.uaesp.gov.co/uaesp_jo/attachments/Caracterizaci?n/RESIDENCIA LES 02-29-2012\(!\).pdf](http://www.uaesp.gov.co/uaesp_jo/attachments/Caracterizaci?n/RESIDENCIA%20LES%2002-29-2012(!).pdf)
- Universidad Autónoma de Occidente. (s. f.). *Programa de Campus Sostenible UAO 2030*. <https://campussostenible.org/wp-content/uploads/2017/04/anexo-2-programa-campus-sostenible-fase-l.pdf>

- Vermican. (2018). *Manual De Vermicompostaje* (Vol. 1, Nro 2, pp. 1-208). <https://montevideo.gub.uy/sites/default/files/biblioteca/imvermicompostajeinterior.pdf>
- Wainaina, S., Awasthi, M. K., Sarsaiya, S., Chen, H., Singh, E., Kumar, A., Ravindran, B., Awasthi, S. K., Liu, T., Duan, Y., Kumar, S., Zhang, Z., y Taherzadeh, M. J. (2020). Resource recovery and circular economy from organic solid waste using aerobic and anaerobic digestion technologies. *Bioresource Technology*, 301(November 2019), 122778. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122778>
- Zotesso, J., Cossich, E., Colares, L., y Tavares, C. (2016). Analysis of solid waste generation in a university Cafeteria in Brazil: A case study. *Environmental Engineering and Management Journal*, 15(10), 2327-2336. <https://doi.org/10.30638/eemj.2016.254>
- Zziwa, A., Jjagwe, J., Kizito, S., Kabenge, I., Komakech, A. J., y Kayondo, H. (2021). Nutrient recovery from pineapple waste through controlled batch and continuous vermicomposting systems. *Journal of Environmental Management*, 279(September 2020), 111784. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111784>

ANEXOS

Anexo A. Diagrama de flujo del proceso de lombricompostaje.



Elaborado por: Gobierno Área Tecnología, Seminario Magistra Favela, Estudiante UNQ, Profesor UNQ.

Lugar: Planta de Lombricompostaje (LAD)

Actividad: Diagrama de Proceso de Lombricompostaje