

**APROVECHAMIENTO DE LOS DESECHOS ORGÁNICOS SÓLIDOS  
GENERADOS POR LOS RESTAURANTES UBICADOS EN CHAPINERO,  
BOGOTÁ, COLOMBIA. MEDIANTE EL MÉTODO DE VERMICOMPOSTAJE.**

**JHONATAN LEONARDO INFANTE ROJAS**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C  
2020**

**APROVECHAMIENTO DE LOS DESECHOS ORGÁNICOS SÓLIDOS  
GENERADOS POR LOS RESTAURANTES UBICADOS EN CHAPINERO,  
BOGOTÁ, COLOMBIA. MEDIANTE EL MÉTODO DE VERMICOMPOSTAJE.**

**JHONATAN LEONARDO INFANTE ROJAS**

**Proyecto integral de grado para optar el título de:  
INGENIERO QUÍMICO**

**Director:  
LUIS CARLOS GARCÍA SÁNCHEZ  
QUÍMICO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C  
2020**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

---

Juan Camilo Cely Garzon  
**Jurado 1**

---

Juan Andres Sandoval Herrera.  
**Jurado 2**

Bogotá D.C. 20 de septiembre de 2020.

## DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente Institucional y Rector del Claustro.

Dr. Mario Posada García-Peña

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos.

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones.

Dra. María Claudia Aponte González

Vicerrector Administrativo y Financiero.

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro.

Secretaria General.

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Decano Facultad de Ingeniería.

Ing. julio cesar fuentes Arismendi

Director Programa de Ingeniería Química.

Ing. Iván Ramírez Marín

Las directivas de la universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

*A mi madre, mi padre, mi hermana y mi familia, por siempre apoyarme acompañarme y ser incondicionales todos los días con el objetivo de que este proyecto se logre. y todos mis amigos de carrera que de una u otra forma fueron ayudantes y consejeros.*

## **AGRADECIMIENTOS**

En la elaboración del presente trabajo de grado, agradezco a:

La Universidad América y Universidad Distrital Francisco José de Caldas por permitirme estudiar en sus instalaciones y efectuar el proyecto de grado. a sus docentes por compartir sus conocimientos contribuyendo en el proceso.

A mis padres y hermana por su apoyo incondicional en este Proyecto y ayuda para su desarrollo.

A mi director el profesor Luis Carlos García Sánchez, y al compañero de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas Andrés Villamil, por su apoyo y confianza en cada paso del desarrollo de este proyecto.

A las demás personas que hicieron parte en la realización del proyecto.

## CONTENIDO

|   | pág.      |
|---|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN</b>                                   | <b>22</b> |
| <b>OBJETIVOS</b>                                      | <b>25</b> |
| <b>1. MARCO TEÓRICO</b>                               | <b>26</b> |
| 1.1. GENERALIDADES.                                   | 26        |
| 1.1.1. RESIDUOS ORGÁNICOS.                            | 26        |
| 1.1.2. RESIDUOS ORGÁNICOS BIODEGRADABLES.             | 26        |
| 1.2. COMPOSTAJE.                                      | 27        |
| 1.3. FASES DEL COMPOSTAJE.                            | 28        |
| 1.3.1. FASE MESÓFILA I.                               | 28        |
| 1.3.2. FASE TERMÓFILA O DE HIGIENIZACIÓN.             | 29        |
| 1.3.3. FASE MESÓFILA II O DE ENFRIAMIENTO.            | 29        |
| 1.3.4. FASE DE MADURACIÓN.                            | 30        |
| 1.4. PARÁMETROS IMPORTANTES DEL COMPOSTAJE.           | 30        |
| 1.4.1. TEMPERATURA                                    | 31        |
| 1.4.2. PH   | 31        |
| 1.4.3. HUMEDAD.                                       | 31        |
| 1.4.4. OXÍGENO.                                       | 31        |
| 1.4.5. RELACIÓN C: N.                                 | 32        |
| 1.4.6. TAMAÑO DE PARTÍCULA.                           | 32        |
| 1.4.7. MATERIAS PRIMAS.                               | 32        |
| 1.5. MÉTODOS A EVALUAR                                | 34        |
| 1.5.1. PILAS VOLTEADAS O SISTEMA ABIERTO.             | 35        |
| 1.5.2. EN REACTORES O CONTENEDORES (IN-VESSEL SYSTEM) | 36        |
| 1.5.3. REACTORES VERTICALES.                          | 37        |
| 1.5.4. REACTORES HORIZONTALES.                        | 38        |
| 1.5.5. VERMICOMPOSTAJE O LOMBRICULTURA.               | 40        |
| 1.5.6. LOMBRICULTURA DOMÉSTICA.                       | 41        |
| 1.5.7. LOMBRICULTURA MUNICIPAL.                       | 42        |
| <b>2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.</b>                   | <b>43</b> |
| 2.1. SELECCIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE.             | 44        |
| 2.1.1. BENEFICIOS DEL VERMICOMPOST.                   | 45        |
| 2.1.2. LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA.                     | 46        |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.1.3. EJEMPLOS DEL USO DEL VERMICOMPOSTAJE.                        | 47        |
| 2.2. CONDICIONES DE OPERACIÓN.                                      | 49        |
| 2.2.1. RENDIMIENTO.   | 50        |
| 2.2.2. ALIMENTACIÓN.  | 50        |
| 2.2.3. TEMPERATURA.   | 50        |
| 2.2.4. REPRODUCCIÓN.  | 50        |
| 2.2.5. PH. 50   |           |
| 2.2.6. LUZ. 50  |           |
| 2.2.7. HUMEDAD.   | 50        |
| 2.2.8. AIREACIÓN.   | 51        |
| 2.2.9. RELACIÓN CARBONO-NITRÓGENO.                                  | 51        |
| 2.3. VERMICOMPOSTERA.   | 51        |
| <b>3. DIAGNÓSTICO</b>   | <b>52</b> |
| 3.1. PROCESO DE INVESTIGACIÓN                                       | 52        |
| 3.1.1. MARCO DEMOGRÁFICO.   | 53        |
| 3.1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA LOCALIDAD.                           | 53        |
| 3.2. ESTIMACIÓN DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS EN LA LOCALIDAD. 54    |           |
| 3.2.1. DISPONIBILIDAD DE RESIDUOS.                                  | 55        |
| 3.2.2. RESIDUOS PROVENIENTES DE LOS RESTAURANTES.                   | 55        |
| 3.3. DESARROLLO EXPERIMENTAL.                                       | 56        |
| 3.3.1. TÉCNICA DE MUESTREO.   | 57        |
| 3.3.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO.                      | 61        |
| 3.3.4. FABRICACIÓN DE VERMICOMPOSTERA.                              | 62        |
| 3.4. ELABORACIÓN DEL VERMICOMPOSTAJE.                               | 63        |
| 3.4.1. FASE INICIAL   | 63        |
| 3.4.2. BALANCE DE MATERIA Y RENDIMIENTO                             | 65        |
| 3.4.3. SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL PROCESO DE VERMICOMPOSTAJE         | 69        |
| 3.4.4. OBTENCIÓN DE VERMICOMPOST                                    | 71        |
| 3.4.5. ANÁLISIS DEL VERMICOMPOST FINAL.                             | 72        |
| <b>4. DISEÑO CONCEPTUAL.</b>  | <b>74</b> |
| 4.1. RECOLECCIÓN EN LA FUENTE.                                      | 74        |
| 4.1.1. SEPARACIÓN EN LA FUENTE.                                     | 74        |
| 4.1.1. RECOLECCIÓN DE LOS RESIDUOS.                                 | 74        |
| 4.2. DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA.                                 | 75        |
| 4.2.1. RECEPCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y MATERIAS PRIMAS.             | 75        |
| PREPARACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA Y PRODUCCIÓN DE VERMICOMPOSTAJE. | 77        |
| 4.3. CONTROL DEL PROCESO.   | 81        |
| 4.3.1. HUMEDAD.   | 81        |
| 4.3.2. TEMPERATURA.   | 83        |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.3.3. PH.   | 83        |
| 4.4. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL COMPOST.        | 84        |
| <b>5. EVALUACIÓN ECONÓMICA</b>                         | <b>85</b> |
| 5.1. INVERSIÓN.  | 85        |
| 5.1.1. COSTOS DE ADQUISICIÓN Y ADECUACIÓN DEL TERRENO. | 85        |
| 5.1.2. EQUIPOS.  | 86        |
| 5.1.3. INSUMOS.  | 86        |
| 5.1.4. CAPITAL DE TRABAJO.                             | 87        |
| 5.2. COSTOS  | 88        |
| 5.2.1. COSTOS DIRECTOS DE PRODUCCIÓN.                  | 88        |
| 5.2.2. MANO DE OBRA.                                   | 88        |
| <b>6. CONCLUSIONES</b>                                 | <b>90</b> |
| <b>7. RECOMENDACIONES.</b>                             | <b>91</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>                                    | <b>92</b> |
| <b>ANEXOS</b>  | <b>98</b> |

## LISTA DE TABLAS

Pág.

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1.</b> Producción de residuos orgánicos sector de comercio de restaurantes en la localidad de Chapinero en el año 2019.  | 56 |
| <b>Tabla 2.</b> Comparación de caracterización para la determinación de la Humedad, relaciones C: N y tamaño de partícula. De residuos de cocina en Colombia. Revisión bibliográfica. | 61 |
| <b>Tabla 3.</b> Comparación de parámetros del compostaje con las características de los residuos de cocina.   | 62 |
| <b>Tabla 4.</b> Comparación de caracterizaciones de vermicompuestos finales.  | 73 |
| <b>Tabla 5.</b> Cantidad de lechos por periodo de alimentación.   | 80 |
| <b>Tabla 6.</b> Adecuación del terreno.   | 86 |
| <b>Tabla 7.</b> Equipos necesarios para el proyecto de vermicompostaje.   | 86 |
| <b>Tabla 8.</b> Insumos para el proyecto de vermicompostaje.  | 87 |
| <b>Tabla 9.</b> Capital de trabajo por áreas de vermicompostaje.  | 87 |
| <b>Tabla 10.</b> Costos directos de producción.   | 88 |
| <b>Tabla 11.</b> Costo de mano de obra mensual.   | 89 |

## LISTA DE FIGURAS

|  | Pág. |
|--|------|
| <b>Figura 1.</b> Sistemas de compostaje. | 35   |

## LISTA DE CUADROS

pág.

|   |    |
|---|----|
| <b>Cuadro 1.</b> Comparación de los desarrollos experimentales para el proceso de compostaje. | 43 |
| <b>Cuadro 2.</b> Código de colores para residuos sólidos.                                     | 74 |

## LISTA DE IMÁGENES.

|   | Pág. |
|---|------|
| <b>Imagen 1.</b> Sistema de aireación de pila estática.   | 36   |
| <b>Imagen 2.</b> Sistema reactor cilíndrico rotativo.   | 37   |
| <b>Imagen 3.</b> Compostera vertical o continua.  | 38   |
| <b>Imagen 4.</b> Reactor en túneles.  | 39   |
| <b>Imagen 5.</b> Sistemas de compostaje en túneles y en tambor.   | 39   |
| <b>Imagen 6.</b> Vermicompost en agricultura familiar. Neiva (Colombia)   | 41   |
| <b>Imagen 7.</b> Sistema lombricultivo en canastillas, Municipio de Caldas (Colombia).  | 41   |
| <b>Imagen 8.</b> Lombricultivo El Copey.  | 42   |
| <b>Imagen 9.</b> Ciclo de vida de la lombriz.   | 47   |
| <b>Imagen 10.</b> Vermicompostera modelo de bandejas.   | 51   |
| <b>Imagen 11.</b> Ubicación General Localidad de Chapinero.   | 54   |
| <b>Imagen 12.</b> UPZ de Chapinero con ubicación de restaurantes.   | 58   |
| <b>Imagen 13.</b> Mezcla de material orgánico manual.   | 59   |
| <b>Imagen 14.</b> Cuarteo de los residuos sólidos orgánicos.  | 60   |
| <b>Imagen 15.</b> Puesta en marcha del desarrollo experimental del vermicompostaje.   | 64   |
| <b>Imagen 16.</b> Seguimiento y control del proceso en el laboratorio de síntesis orgánica, Universidad distrital Francisco José de Caldas. | 70   |
| <b>Imagen 17.</b> Obtención del vermicompost final.   | 71   |
| <b>Imagen 18.</b> Volqueta Kodiak de 5 toneladas.   | 75   |
| <b>Imagen 19.</b> Trituradora Pp600 de Penagos & Cía. S.A.S.  | 76   |
| <b>Imagen 20.</b> Báscula Bajo Perfil en Alfajor Ref. Bp  | 76   |
| <b>Imagen 21.</b> Mini cargador Case 40xt Año 2003.   | 77   |
| <b>Imagen 22.</b> Diseño de un Lecho para lombricultura.  | 79   |
| <b>Imagen 23.</b> Pala Redonda Mango Largo # 4 Truper.  | 81   |
| <b>Imagen 24.</b> Manguera PVC Riego Jardín 50 Metros Accesorios Instalados.  | 82   |
| <b>Imagen 25.</b> Termómetro Higrómetro Industrial 1000°C Minipa Mth-1362   | 82   |
| <b>Imagen 26.</b> PH Metro Digital Con Sobres Estándares Para Calibración.  | 83   |
| <b>Imagen 27.</b> Cosedora Cerradora Selladora De Sacos Costales Industrial.  | 84   |
| <b>Imagen 28.</b> Carretilla Platón Metálico, Llanta Anti Pinchazo.   | 84   |

## LISTA DE DIAGRAMAS.

|  | Pág. |
|--|------|
| <b>Diagrama 1.</b> Proceso de investigación.   | 52   |
| <b>Diagrama 2.</b> Diagrama de flujo del proceso experimental de un vermicompostaje. | 57   |

## LISTA DE ANEXOS.

|  | Pág. |
|--|------|
| <b>Anexo A.</b> Generación promedio anual y caracterización de residuos sólidos para los años 2018, 2019, 2020 en la localidad de Chapinero, Bogotá, Colombia.   | 99   |
| <b>Anexo B.</b> Generación promedio mensual y caracterización de residuos sólidos para los años 2018, 2019, 2020 en la localidad de Chapinero, Bogotá, Colombia. | 100  |
| <b>Anexo C.</b> Merma de alimentos usados por los restaurantes.  | 102  |
| <b>Anexo D.</b> Balance de masa para el proceso productivo de vermicompostaje de 3 meses.  | 104  |

## GLOSARIO.

**ABONO ORGÁNICO.** Es un fertilizante que proviene de animales, restos vegetales de alimentos, restos de cultivos u otra fuente orgánica y natural.

**ACTIVIDAD BIOLÓGICA.** La actividad biológica es el efecto que tiene un determinado compuesto sobre las células. La determinación de las propiedades biológicas de los compuestos y el estudio de su perfil toxicológico.

**AEROBIO.** Microorganismo o proceso, que se usa y se desarrolla en presencia de oxígeno.

**BIOAEROSOLES.** (abreviatura de aerosoles biológicos) son una subcategoría de partículas liberadas a la atmósfera desde los ecosistemas terrestres y marinos. Consisten en componentes vivos y no vivos, como hongos, polen, bacterias y virus. Las fuentes comunes de bioaerosoles incluyen el suelo, el agua y las aguas residuales.

**BIOSÓLIDOS.** Los biosólidos son residuos orgánicos sólidos, semisólidos o líquidos que resultan del tratamiento de las aguas residuales procesadas en las Plantas de Alcantarillado Sanitario. Por su alto valor nutricional pueden ser usados para la agricultura y jardinería. Su contenido de macro y micronutrientes promueven el crecimiento de las plantas y cultivos.

**COMPOSTAJE.** Es un proceso controlado de descomposición de los restos (restos de frutas y verduras, de podas, pasto, hojas, etc.), orgánicos principalmente por parte de microorganismos (hongos, bacterias, actinomicetos) y de la fauna típica del suelo (gusanos de tierra, caracoles, cochinillas, etc) para la obtención de abono orgánico.

**ECONOMÍA CIRCULAR.** Se presenta como un sistema de aprovechamiento de recursos donde prima la reducción de los elementos: minimizar la producción al mínimo indispensable, y cuando sea necesario hacer uso del producto, apostar por la reutilización de los elementos que por sus propiedades no pueden volver al medio ambiente.

**ESTABILIDAD.** Es una etapa en la descomposición de la materia orgánica y es una función de la actividad biológica. Es una función del proceso y a menudo se relaciona con la duración del tiempo en que se lleva a cabo el proceso. Cuanto más estable es el compost, más lento o más bajo es la actividad biológica. En un producto estable hay menos posibilidad de olores y recalentamiento.

**FITOTOXICIDAD.** Se refiere a cualquier sustancia, orgánica o inorgánica, que sea tóxica para las plantas. puede no estar relacionada con el proceso, pero podría indicar que una sustancia química está siendo obtenida en la materia prima o

incluido de otro modo en el proceso.

**GENERADOR.** Cualquier persona que como resultado de sus actividades de consumo o producción libera residuos sólidos al ambiente.

**HUMUS.** Es un fertilizante orgánico y ecológico, resultado de la transformación, por parte de las lombrices rojas de California, del compostaje procedente de diferentes residuos orgánicos naturales, en humus directa e íntegramente asimilable por las plantas.

**HIGIENIZACIÓN.** Es la fase en el compostaje que sube la temperatura en el proceso superando los 60 °C y hace que elimine patógenos como bacterias y contaminantes encontradas en la materia fecal como Escherichia coli, Salmonella spp. Igualmente, también elimina los quistes y huevos de helminto.

**IMPACTO AMBIENTAL.** Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.

**LIXIVIADO O PERCOLADO.** Líquido producido fundamentalmente por la precipitación pluvial que se infiltra a través del material de cobertura y atraviesa las capas de basura, transportando concentraciones apreciables de materia orgánica en descomposición y otros contaminantes. Otros factores que contribuyen a la generación de lixiviado son el contenido de humedad propio de los desechos, el agua de la descomposición y la infiltración de aguas subterráneas.

**MADUREZ.** es una condición químico-orgánica del compost que indica la presencia o ausencia de ácidos orgánicos fitotóxicos.

**MERMA.** Es la acción y efecto de mermar (hacer que algo baje o disminuya, consumir una parte de algo, quitar alguna parte de una cierta cantidad). Una merma, por lo tanto, es una porción de algo que se sustrae o se consume naturalmente.

**NORMAS TÉCNICAS.** Son aquellas que se emiten por consenso y son aprobadas por un organismo reconocido en el marco del Sistema Colombiano de Normalización, Metrología, Acreditación y Certificación.

**RECICLAJE.** Proceso de valorización que sufre un material o producto para ser reincorporado al ciclo de producción o de consumo que consiste en transformar los residuos en materia prima secundaria para que ésta pueda ser usada en el proceso de fabricación del mismo producto o de otro. Incluye la transformación del material orgánico, pero no el aprovechamiento energético ni la transformación en materiales que se vayan a usar como combustibles o para operaciones de relleno.

**RECOLECCIÓN.** Operación consistente en recoger los residuos generados y transportarlos a las instalaciones de almacenamiento, transferencia, tratamiento, aprovechamiento y/o a un sitio de disposición final.

**REDUCCIÓN.** Conjunto de acciones encaminadas a reutilizar, reparar o compostar los residuos dependiendo su naturaleza en la fuente de generación, de manera que estos no sean entregados al operador del servicio de aseo y por tanto disminuya la cantidad de residuos a disponer en rellenos sanitarios.

**RECUPERACIÓN.** Actividad relacionada con la obtención de materiales secundarios, bien sea por separación, desmantelamiento, recolección o cualquier otra forma de selección de los residuos sólidos con el objeto de reciclarlos o volverlos a utilizar.

**RELLENO SANITARIO.** Obra de ingeniería para la disposición final segura de residuos sólidos en sitios adecuados y bajo condiciones controladas para evitar daños al ambiente y la salud.

**RESIDUOS SÓLIDOS APROVECHABLES.** Son todos los residuos susceptibles de ser sometidos a procesos de recuperación, reutilización, reciclaje, tratamiento biológico (compostaje, biodigestión) o de obtención de energía.

**RESIDUOS COMERCIALES.** Son los residuos generados por la actividad propia del comercio, al por mayor y al por menor, de los servicios de restauración, bares y cafeterías, de la hostelería, de las oficinas, de los mercados, así como del resto del sector servicios.

**RESIDUOS SÓLIDOS.** Son materiales generados en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control, reparación o tratamiento, cuya calidad no permite usarlos nuevamente en el proceso que los generó, que pueden ser objeto de tratamiento y/o reciclaje.

**RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS.** Son todos aquellos residuos que tienen en su estructura básicamente carbono, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno y pueden descomponerse por la acción natural de organismos vivos como lombrices, bacterias y hongos. Estos pueden ser cáscaras de verduras, residuos de alimentos, frutos, residuos de cosechas, hojas de árboles, entre otros, los cuales se generan en actividades de cocina, consumo de alimentos, jardinería y poda de plantas, centros de abasto de frutas, verduras u otros productos generados por acción de la naturaleza.

**TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS.** Conjunto de operaciones encaminadas a la transformación física, química, térmica o biológica de los

residuos para el aprovechamiento de los recursos contenidos en ellos o para reducir la peligrosidad de los mismos.

**VERMICOMPOSTAJE.** El vermicompost es el proceso de compostar utilizando lombrices y microorganismos. Es un proceso eólico que termina en la estabilización de la materia orgánica. Al igual que el compost maduro, el producto final es materia orgánica, pero son las lombrices quienes realizan el proceso con ayuda de los microorganismos. Es una técnica que recicla todo tipo de materia orgánica, obteniendo como fruto de este trabajo humus. El vermicompost resulta muy útil como fertilizante orgánico, biorregulador y corrector de las características físico-químicas del suelo. El vermicompost puede ser utilizado directamente en el jardín o en trasplantes, además puede mezclarse con sustratos para plantas de interior y exterior.

## RESUMEN.

Al evaluar la acumulación y el incremento de residuos orgánicos sólidos en toda el área de Bogotá, es necesario buscar la aplicación de tecnologías que sean sostenibles y amigables con el medio ambiente. Debido al creciente interés a nivel mundial por reciclar y asimismo para disminuir la contaminación e interiorizar los principios de la economía circular. Uno de los métodos más efectivos es el vermicompostaje. De hecho, la Superintendencia de Servicios Públicos y Domiciliarios (Superservicios)<sup>1</sup> estima que entre 60% y 70% de los residuos sólidos generados se pueden aprovechar de esta manera. Además, esta práctica es útil porque se estima que el 50% de la basura diaria que se tira al relleno es materia orgánica en descomposición. El surgimiento de este proyecto tiene como fin realizar un humus de buena calidad y así aprovechar los residuos orgánicos sólidos en uno de los sectores generadores de este tipo de residuos sólidos orgánicos que es el sector comercial de restaurantes ubicados en la localidad de Chapinero en Bogotá, Colombia. en donde una problemática es la generación diaria de residuos de los cerca de 523 establecimientos y que están ubicados en un área pequeña.

El proyecto consta de diferentes etapas para su realización: el muestreo de la materia prima tomada del sector, recolección y transporte de los residuos, el acondicionamiento de los residuos con la finalidad de ajustar los parámetros fundamentales para el proceso de vermicompostaje. El proceso que se genera es semicontinuo en el que se va agregando materia orgánica cada 15 días aproximadamente y se van controlando los parámetros fundamentales con una vermicompostera. Este proceso se da por terminado en un tiempo de 90 días, al observar que el humus ya tiene las características físicas finales. Con el producto final se realizan análisis de suelos y aguas. Comparándolos con la norma. NTC 5167 para productos orgánicos usados para abonos, fertilizantes y enmiendas de suelo. Al comparar estos valores con la norma NTC 5167 se observa que parámetros como, la Humedad que máximo debe ser de 35%, está en un promedio de 28,98% de humedad cumpliendo con la norma. El carbono orgánico debe ser mínimo de 15%, se observa que este valor tiene un promedio de 25,26% lo que indica que cumple. El Nitrógeno, fósforo y el potasio, son parámetros que no cumplen con la norma ya que estos tienen valores bajos. Se plantea el agregar al procedimiento residuos que aumenten estos valores. Con respecto al uso de desechos de cocina. El pH si cumple con la norma para cualquier residuo usado en el vermicompostaje.

**Palabras clave:** vermicompostaje, humus, vermicompost, residuos sólidos orgánicos, vermicompostera, Chapinero.

---

<sup>1</sup> LA REPÚBLICA. Hasta el 70% de los residuos sólidos del país se pueden transformar en compostaje. [en línea].

## INTRODUCCIÓN

La situación actual del relleno de doña Juana según el Concejo de Bogotá<sup>2</sup> es bastante compleja, teniendo en cuenta el estado en el que se encuentra la capital del país. Las principales problemáticas que se evidencian en el relleno, son el mal estado de las vías junto con la falta de mantenimiento, pues no se cuenta con una dotación mínima y permanente frente a la maquinaria, de hecho, el sistema de tratamiento de lixiviados no ha cumplido con la norma de vertimientos, por lo cual la ciudad se enfrenta al decrecimiento de la capacidad de recibir cerca de 6300 toneladas diarias de residuos sólidos que están generando dificultades. Es importante destacar que hay una creciente preocupación por el tema ya que este relleno sanitario lleva operando aproximadamente 30 años en la capital, manejando todo tipo de residuos y tiene la necesidad de cumplir con la obligación que un 20 % de los residuos sólidos que ingresan al relleno tengan un aprovechamiento. Por lo que se podría dictaminar que con el tiempo que le resta al contrato, el operador no podrá cumplir con esta obligación. Según Hábitat Bogotá<sup>3</sup> en un estudio publicado en agosto de 2018 se consideraron todos los tipos de residuos sólidos generados, los cuales son aproximadamente 227,630 toneladas al mes, de los cuales el 51,32% de estos residuos son de carácter orgánico aprovechable que están quedando a disposición del relleno.

Uno de los sectores generadores de este tipo de residuos sólidos orgánicos es el sector comercial de restaurantes ubicados en la localidad de Chapinero en Bogotá, Colombia. En donde una problemática es la generación diaria de residuos de los cerca de 523 establecimientos<sup>4</sup> que actualmente están en funcionamiento. Estos establecimientos tienen el presente modelo de economía lineal de “tomar, hacer, desechar”, y la recolección de basuras cada 3 días a la semana los cuales son el martes, el jueves, y el domingo en un horario nocturno (aproximadamente 12 de la noche) hacen que genere una acumulación de residuos. Al tener estas restricciones y analizando algunos factores como la cantidad de materia orgánica generada, el deshacerse de estos residuos terminan siendo fundamental. Esto puede llegar a ocasionar afectaciones tanto a nivel ambiental, de salubridad, y de aspectos visuales. Al no tener cómo desechar estos residuos orgánicos de manera continua y no saber qué hacer con ellos más que arrojarlos al vertedero. Es necesario el planteamiento de otro mecanismo para aliviar esta cantidad que se arroja al vertedero. Por lo que se puede proponer una economía circular que sea reparadora y regenerativa, con la que se consigan productos en general que mantengan su utilidad y valor en todo momento.

---

<sup>2</sup> CONCEJO DE BOGOTÁ. Las 6.300 toneladas de basura que llegan a Doña Juana es responsabilidad de TODOS. [en línea]

<sup>3</sup> HÁBITAT BOGOTÁ. Línea base plan de gestión integral de residuos sólidos BOGOTÁ D.C, pgirs agosto 2018. [en línea]

<sup>4</sup> INSTITUTO DISTRITAL DE TURISMO. Estudio censo gastronómico de la localidad de Chapinero 2019. [Sitio Web]. Bogotá. Col. p. 20. [Consultado 20, junio, 2020]. Archivo en PDF.

Si esta problemática no se tiene en cuenta se podrían desencadenar diferentes escenarios como lo son la proliferación de vectores contaminantes (ratones, mosquitos, plagas) siendo estos un motivo de cierre directo de cualquier restaurante, de igual forma la producción de malos olores causarían la disminución de los clientes que visiten estos establecimientos, además comenzar a tener pérdida de ingresos, los clientes son muy selectivos en cuanto al área que van a visitar y al llegar a un sitio que tiene basura en los alrededores no sería apetitivo para el usuario y así mismo dejarán de visitar este sector.

Al evaluar la acumulación de residuos en estos restaurantes y su impacto en el ambiente, en este sector ha crecido el interés por reciclar y disminuir la contaminación e interiorizar los principios de la economía circular. Por lo que es necesario una alternativa de contrarrestar la problemática de las basuras mediante el aprovechamiento de los residuos orgánicos con transformaciones químicas como es el método de vermicompostaje. De hecho, la Superintendencia de Servicios Públicos y Domiciliarios (Superservicios) estima que entre 60% y 70% de los residuos sólidos generados se pueden aprovechar de esta manera. Además, esta práctica es útil porque se estima que el 50% de la basura diaria que se tira al relleno es materia orgánica en descomposición. un método que podría ser viable por su bajo costo de operación además de su inversión inicial como el de materiales y equipos. El vermicompostaje sería un método a tener en cuenta y que consiste en la elaboración de un abono de elevada calidad (vermicompost), sin compuestos químicos y libres de patógenos a partir de materia orgánica. Es un proceso biológico, en el que intervienen microorganismos del suelo, principalmente hongos, bacterias y actinomicetos. Esta práctica le devuelve al suelo materia orgánica, enriqueciéndose de esta manera. Esto tiene efectos sobre la estructura del suelo, ya que el compost, al tener un alto contenido en materia orgánica tiende a formar (terrones) lo que ayuda a que el suelo esté aireado y no se compacte, favoreciendo la aireación y la humedad de acuerdo lo dicho por La Republica en 2018<sup>5</sup>.

Con este método se reduce la cantidad de basura que termina en el relleno o incineradora, y se obtiene la alternativa de transformarlo en un producto comercial y de valor añadido en el mercado. Aunque hay residuos orgánicos inevitables que con otras técnicas no sean usados para el compostaje se le da otra vida. El proceso de compostaje es importante dado que en el país se está perdiendo materia orgánica de los suelos, sobre todo en suelos que han sido cultivados de manera extensiva. Esta pérdida de materia orgánica supone un riesgo de desertificación<sup>6</sup>, y con esto la ética medioambiental de estos establecimientos tendría una mejora haciendo una reflexión sobre los deberes, responsabilidades

---

<sup>5</sup> LA REPÚBLICA. Hasta el 70% de los residuos sólidos del país se pueden transformar en compostaje. [en línea].

<sup>6</sup> SUPERSERVICIOS, Op. cit. 58 p.

del ser humano a nivel individual y colectivo con la naturaleza, los seres vivos y las generaciones futuras.

El presente documento se encuentra estructurado por cinco capítulos. En el primero se exponen generalidades que aplican a la propuesta a desarrollar (Marco teórico). A partir del segundo capítulo se empiezan a desarrollar los objetivos planteados por capítulo, correspondiendo así un capítulo por objetivo. Seguidamente se presentan las conclusiones del estudio y algunas recomendaciones, al igual que los anexos correspondientes. Para su realización se inicia con la búsqueda bibliográfica acerca del compostaje y sus métodos de producción, seguido de la búsqueda de una técnica de muestreo que supla con la adquisición de una muestra representativa de la materia orgánica del sector, para así realizar el muestreo de la materia prima, la recolección y transporte de los residuos al laboratorio de síntesis orgánica de la macarena B en la Universidad distrital Francisco José de Caldas, ciudad de Bogotá, donde allí se realiza el acondicionamiento de los residuos con la finalidad de ajustar los parámetros fundamentales para el proceso de vermicompostaje. El proceso inicia en este laboratorio y se controlan parámetros fundamentales de un vermicompostaje con una vermicompostera casera. Este proceso se da por terminado en un tiempo de 90 días, al observar que el humus ya tiene las características físicas finales y así se compara con la norma. NTC 5167 para productos orgánicos usados para abonos. Basado en estos parámetros experimentales se plantea el diseño conceptual de una planta piloto y un análisis financiero para un año de producción.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la producción de un vermicompostaje a partir de los desechos orgánicos sólidos generados en los restaurantes ubicados en la localidad de Chapinero, Bogotá, Colombia.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Establecer las condiciones fisicoquímicas y de operación para la elaboración de un vermicompostaje.
2. Elaborar el vermicompostaje a nivel laboratorio de acuerdo a las condiciones de operación.
3. Realizar un diseño conceptual de una planta para la producción de un vermicompostaje a escala piloto.
4. Analizar los costos de la elaboración de una planta a escala piloto de la producción de un vermicompostaje.

## 1. MARCO TEÓRICO

La implementación de una propuesta para el manejo de residuos sólidos orgánicos producidos en los restaurantes de la localidad de Chapinero, en Bogotá. En la cual por medio del manejo de los residuos se pueda utilizar como materia prima para generar un fertilizante orgánico, requiere conocer previamente todo lo relacionado con los residuos aprovechables, incluyendo propiedades que estos le otorgan al fertilizante y métodos para la producción del fertilizante orgánico, así como las variables que se ven involucradas en el proceso de fabricación.

### 1.1. GENERALIDADES

Actualmente la industria de los fertilizantes ha tenido un constante crecimiento debido a la demanda de alimentos sanos para el consumo humano y a la concienciación en el cuidado del ecosistema y del medio ambiente. Por esto Colombia que es un país donde el sector de la agricultura se ve afectado por los bajos niveles de sustratos en el suelo es fundamental implementar procesos que aumenten estos valores y sean de origen orgánico sin químicos en el proceso y con esto no se vean perjudicadas las cosechas ni el suelo.

Teniendo en cuenta lo anterior los fertilizantes orgánicos serían una solución benéfica, ya que estos fertilizantes permiten aprovechar los residuos orgánicos, aumentan la actividad microbiana, favoreciendo la retención de nutrientes y permiten la fijación de carbono en el suelo, así como también mejoran la capacidad de absorber agua<sup>7</sup>. Para esto se debe profundizar en que residuos orgánicos son aprovechables y que métodos se utilizan actualmente para la producción de un fertilizante orgánico de alta calidad, a continuación, se da a conocer todos estos parámetros fundamentales para ello.

**1.1.1. Residuos orgánicos.** Son residuos de origen biológico, se descomponen naturalmente y tienen la característica que se degradan rápidamente para transformarse en otro tipo de materia orgánica como fertilizante o abono orgánico<sup>8</sup>.

**1.1.2. Residuos orgánicos biodegradables.** Son residuos que se pueden transformar en otro tipo de materia orgánica, esta transformación se logra

---

<sup>7</sup> FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Manual de compostaje del agricultor Experiencias en América Latina. [Sitio Web]. Santiago.ch. Sec. Publicaciones. p. 22. [Consultado 16, octubre, 2019]. Archivo en PDF.

<sup>8</sup> MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA – MMAyA. Guía para el Aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos Mediante Compostaje y Lombricultura. [Sitio Web]. LaPaz.bo. Sec. Biblioteca. p. 5. [Consultado 16, octubre, 2019]. Archivo en PDF.

mediante el proceso de compostaje, o vermicompostaje a partir de residuos de comida y materiales vegetales<sup>9</sup>.

## 1.2. COMPOSTAJE

De acuerdo con la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)<sup>10</sup> el proceso de compostaje permite convertir la materia orgánica residual de procesos que se generan de las explotaciones agrícolas (restos de cosecha, estiércol, pasto, comidas entre otros), en abono orgánico de gran calidad que normalmente terminan en prácticas habituales, las cuales son la quema, el enterramiento o el abandono del material a la intemperie hasta su pudrición.

Este proceso transforma de una manera segura la mayoría de residuos orgánicos en descomposición, que tienen que estar en condiciones aeróbicas para su proceso en insumos agrícolas que se emplean para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes esenciales. A continuación, se explicarán las ventajas y desventajas del proceso.

Ventajas.

- Según Eliot Epstein. Industrial Composting<sup>11</sup> esta práctica tiene una serie de ventajas como lo son: Muchos de los desechos comunitarios se pueden convertir en abono. Así, solo con la instalación de un compostaje se pueden manejar biosólidos orgánicos municipales e industriales, RSU, patio desechos, desperdicios de alimentos, etc.
- Se puede diseñar y operar una instalación de compostaje para minimizar impactos ambientales, controlando olores y bioaerosoles, además con la tecnología e instalaciones actuales no se produce hedor.
- El compostaje puede ayudar a cumplir con los objetivos estatales de reducción de vertederos y reciclaje.
- El compostaje puede descomponer o degradar muchos materiales orgánicos.

---

<sup>9</sup> Ibíd., p. 6.

<sup>10</sup> FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Manual de compostaje del agricultor Experiencias en América Latina. [Sitio Web]. Santiago.ch. Sec. Publicaciones. p. 22. [Consultado 16, octubre, 2019]. Archivo en PDF.

<sup>11</sup> ELIOT EPSTEIN. INDUSTRIAL COMPOSTING. Environmental Engineering and Facilities Management. p. 9. [Consultado 14, marzo, 2020]. Archivo en PDF.

- El compostaje produce un abono orgánico que se puede utilizar como fertilizante, pero también tiene más usos como: acondicionador del suelo, conservador de humedad y reductor de la erosión de este para mejorar la infiltración<sup>12</sup>.
- El abono agrega carbono al suelo. Por lo tanto, secuestra carbono, reduciendo el efecto invernadero.

Desventajas.

- Durante el proceso pueden producirse emisiones de olores, polvo y bioaerosoles. Estos olores y bioaerosoles se pueden controlar mediante un mejor diseño de las instalaciones<sup>13</sup>.
- Las instalaciones de algunas tecnologías de compostaje ocupan más espacio que otros sistemas de gestión de residuos, los requisitos de espacio suelen estar relacionados con el almacenamiento y con la demanda de mercado<sup>14</sup>.

### 1.3. FASES DEL COMPOSTAJE

Este proceso tiene unas etapas fundamentales para que los residuos orgánicos se convierten en compost de calidad, y que, mediante esta tecnología se realicen procesos de descomposición de manera controlada sobre la materia orgánica hasta llegar a obtener un compost o abono. La producción de compost se viene realizando desde tiempos inmemoriales ya que la naturaleza produce humus espontáneamente. Así, los agricultores de diferentes culturas desde la antigüedad han emulado esta forma de producir humus por parte del medio natural descomponiendo restos orgánicos. lo que hace la naturaleza por sí sola, donde transforma los restos vegetales y animales en nutrientes para reiniciar el ciclo de vida<sup>15</sup>.

**1.3.1. Fase Mesófila I.** Según la Consejería de medio ambiente y ordenación del terreno (ADT)<sup>16</sup> es el período de aclimatación de los microorganismos a su nuevo medio y el inicio de la multiplicación y colonización de los residuos, se inicia con la

---

<sup>12</sup> *Ibíd.*, p. 9.

<sup>13</sup> *Ibíd.*, p. 10.

<sup>14</sup> *Ibíd.*, p. 10.

<sup>15</sup> CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA. Manual de compostaje para Agricultura Ecológica. [Sitio Web]. España. p. 10. [Consultado 25, julio, 2020]. Archivo en PDF.

<sup>16</sup> CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRENO. Manual de Compostaje. [Sitio Web]. España. p. 12. [Consultado 25, julio, 2020]. Archivo en PDF.

degradación por parte de las bacterias de los elementos más biodegradables. Como consecuencia de la acción de estas primeras bacterias mesófilas esta fase dura pocos días que oscila entre 2 y 8, en los cuales el material orgánico está a temperatura ambiente y tiene un incremento de la temperatura hasta los 45 °C, que se debe a la actividad microbiana que utilizan toda esta fuente de C y N. Al descomponerse los compuestos solubles como azúcares produce ácidos orgánicos, por lo que el pH baja hasta un rango de 4 a 5,5.

**1.3.2. Fase termófila o de higienización.** Dependiendo del material de partida y de las condiciones ambientales, el proceso puede durar entre una semana, en sistemas acelerados, y uno o dos meses en sistemas de fermentación lenta. Como consecuencia de la intensa actividad de las bacterias y el aumento de la temperatura alcanzado en la pila de residuos. Esta fase inicia cuando la temperatura supera los 45 °C de la fase Mesófila I, y en la cual los microorganismos de temperatura media Mesófilos. Son reemplazados por microorganismos de temperatura mayores llamados termófilos, que en su mayoría son bacterias y que actúan degradando fuentes de C más complejas como la lignina y la celulosa. Estos microorganismos transforman el nitrógeno en amoníaco lo que sube el pH<sup>17</sup>.

De acuerdo con la FAO<sup>18</sup> cuando la temperatura supera los 60 °C se comienzan a producir bacterias que emiten esporas y actinobacterias, que son las encargadas de descomponer los compuestos complejos de C. En esta fase se puede variar el periodo correspondiente, mediante el material de partida, el lugar, las condiciones climáticas, entre otros factores. Los cuales pueden hacer que esta fase dure algunos días o incluso meses.

Esta fase es conocida de higienización ya que al subir la temperatura elimina bacterias y contaminantes encontradas en la materia fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* Igualmente, también elimina los quistes y huevos de helminto.

**1.3.3. Fase Mesófila II o de enfriamiento.** La FAO<sup>19</sup> indica que en esta fase ya se agotan las fuentes de C y N en el material, lo que hace que la temperatura disminuya por lo que la actividad microbiana termófila disminuye nuevamente hasta los 40-45 °C. En esta fase se degradan polímeros como la celulosa y aparecen hongos. En estas temperaturas vuelven a iniciar la actividad de microorganismos mesófilos y el pH desciende levemente, esta fase de enfriamiento dura varias semanas y en ocasiones se confunde con la siguiente fase la de maduración.

---

<sup>17</sup> *Ibíd.*, p. 12.

<sup>18</sup> FAO, *Op. cit.*, p. 23.

<sup>19</sup> *Ibíd.*, p. 24.

**1.3.4. Fase de maduración.** De acuerdo con la ADT<sup>20</sup> es un período de fermentación lenta (puede llegar a durar 3 meses), en el que la parte menos biodegradable (la más resistente) de la materia orgánica se va degradando. La temperatura de la pila va disminuyendo lentamente al igual que la actividad de las bacterias, produciéndose la colonización de la pila por todo un mundo de organismos y microorganismos que ayudan a la degradación de esas partes menos biodegradables del residuo. Esta fase ocurre a temperatura ambiente y tiene un periodo que demora varios meses, en este periodo ocurren reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados. Las cuales producen ácidos húmicos y ácidos fúlvicos<sup>21</sup>.

Esta fase es la más importante en el proceso de acuerdo con Cornell Composting Science & Engineering<sup>22</sup> ya que en esta fase es cuando el compost llega a una estabilidad, madurez y fitotoxicidad óptima. Es la fase que logra que el compost tenga una alta calidad, los términos anteriores a menudo se malinterpretan y se confunden por lo que su comprensión es muy importante, particularmente con respecto a la calidad del compost en relación con el proceso. La estabilidad es una etapa en la descomposición de la materia orgánica y es una función de la actividad biológica. Cuanto más estable es el compost, más lento o más baja es la actividad biológica, minimizando la posibilidad de olores y recalentamiento. Un producto inestable cuando se aplica al suelo robará al suelo el nitrógeno. La madurez es una condición químico-orgánica del compost que indica la presencia o ausencia de ácidos orgánicos fitotóxicos. La fitotoxicidad puede no estar relacionada con el proceso, pero podría indicar que una sustancia química está obtenida en la materia prima o incluido de otro modo en el proceso que puede ser dañino a las plantas.

#### **1.4. PARÁMETROS IMPORTANTES DEL COMPOSTAJE**

La FAO<sup>23</sup> considera que estos factores deben ser fundamentales para la producción de un compost de calidad, como lo son la temperatura, el pH, el tamaño de partícula, la humedad del material, el oxígeno en el material y la relación C:N. puesto que este proceso es llevado a cabo por microorganismos hay que tenerlos en cuenta para un adecuado crecimiento y reproducción. De estos parámetros dependerá el compostaje final, dando unas condiciones ambientales, un método utilizado, y otros elementos, los cuales deben estar monitoreados para mantenerlos en un rango adecuado.

---

<sup>20</sup> ADT, Op. cit., p. 13.

<sup>21</sup> FAO, Op. cit., p. 24.

<sup>22</sup> CORNELL COMPOSTING SCIENCE & ENGINEERING. The Science and Engineering of Composting. p. 22-23. [Consultado 14, marzo, 2020]. Archivo en PDF.

<sup>23</sup> FAO, Op. cit., p. 25.

**1.4.1. Temperatura.** El rango para este parámetro es amplio debido a que tiene varias fases. Estas inician a temperatura ambiente y se elevan hasta una temperatura de 65°C sin necesidad de un calentamiento externo, para después de un periodo llegar nuevamente a una temperatura ambiente de 20°C, este cambio de temperatura es ideal que sea prolongado ya que este incremento de temperatura hace que haya un aumento en la velocidad de descomposición y una mayor higienización del compost<sup>24</sup>.

Como se comentó anteriormente, en cada fase del proceso intervienen una serie de microorganismos, cada uno de ellos con un rango de temperatura diferente.

- Fase de latencia y crecimiento: (15 – 45) °C.
- Fase termófila: (45 – 70) °C.
- Fase de maduración: inferior a los 40 °C<sup>25</sup>.

**1.4.2. pH.** Este parámetro dependerá de la fase en que se encuentre el proceso y de los materiales de origen. En la fase Mesófila por la formación de ácidos orgánicos el pH se acidifica y tiene que estar en un intervalo de 4.5-6.5, en la fase termófila por la transformación de amonio en amoniaco el pH se alcaliniza y tiene que estar en un intervalo de 7.5-8.5, finalmente este debe estabilizarse en valores neutros. Este factor es de gran importancia ya que determina la supervivencia de los microorganismos encargados del proceso<sup>26</sup>.

**1.4.3. Humedad.** Este parámetro está vinculado con los microorganismos, ya que el agua es un medio de transporte de nutrientes y de elementos energéticos. Una humedad óptima está en 45%-60% de agua en peso de material base, y esta varía por el estado físico del material, el tamaño de partícula de este y el método utilizado en el proceso<sup>27</sup>. En la práctica del compostaje, siempre se ha de evitar una humedad elevada porque desplazaría al oxígeno y, en consecuencia, el proceso pasaría a ser anaeróbico (ausencia de aire) o, lo que es lo mismo, una putrefacción<sup>28</sup>.

**1.4.4. Oxígeno.** Es importante mantener este parámetro a lo largo del proceso ya que este es aerobio, y este evita que el material se compacte o se encharque y que haya una baja aireación, apareciendo condiciones anaerobias, que, además de entorpecer el proceso, dan lugar a la aparición de olores y a un producto de inferior calidad. Para que no se inicie el proceso anaeróbico, debe superarse un mínimo del 5% de aireación<sup>29</sup>. Impidiendo la evaporación del agua y produciendo

---

<sup>24</sup> *Ibíd.*, p. 28.

<sup>25</sup> ADT, *Op. cit.*, p. 13.

<sup>26</sup> *Ibíd.*, p. 29.

<sup>27</sup> FAO, *Op. cit.*, p. 27.

<sup>28</sup> ADT, *Op. cit.*, p. 13.

<sup>29</sup> *Ibíd.*, p. 13.

malos olores y acidez por la presencia de ácido acético, metano y ácido sulfhídrico en el material. También permite que en todo el material se realice la respiración de los microorganismos y así se genera dióxido de carbono a la atmósfera. Las necesidades de oxígeno son mayores en la fase termófila por lo que se debe mantener una adecuada mezcla del material. Los rangos óptimos de oxígeno deben estar entre un 5%-15% siendo un nivel de 10% el ideal. La saturación de oxígeno en el medio no debe bajar del 5%, siendo el nivel óptimo<sup>30</sup>.

**1.4.5. Relación C: N.** Esta relación debe variar desde 35:1 hasta 15:1, esta relación está en función del material de partida, y se obtiene dividiendo el %C total en el contenido de %N total. Y esto ya depende de los materiales a compostar<sup>31</sup>.

**1.4.6. Tamaño de partícula.** Este parámetro debe estar en un rango de 5 a 20 cm para que sea ideal para el proceso, este tamaño está relacionado con la actividad microbiana y ayuda con la facilidad de acceso al sustrato, a la densidad del material, a la aireación y la humedad. La densidad al inicio es aproximadamente (150 -250 kg/m<sup>3</sup>)<sup>32</sup>, conforme avanza el proceso el tamaño disminuye y, por tanto, la densidad aumenta, 600-700 kg/m<sup>3</sup>.

Según Cornell Composting Science & Engineering<sup>33</sup>. Estos valores de tamaño de partícula evitan una porosidad inadecuada. La distribución del tamaño de partícula, la densidad aparente y la porosidad de una mezcla de compost son el segundo grupo de factores que pueden conducir a condiciones anaeróbicas. Estas características físicas de la mezcla de compost pueden interactuar con altos niveles de humedad para reducir el transporte de oxígeno. Los tamaños de partículas pequeños reducen el número de los poros dilatados y aumentan la probabilidad de que el oxígeno deba difundirse a lo largo de los poros pequeños. La forma, el tamaño y la estructura de las partículas afectan la forma en que se depositan, con arreglos de empaque ajustados aumentando la densidad aparente y reduciendo la porosidad llena de aire.

**1.4.7. Materias primas.** La gestión de materias primas depende en gran medida del tipo de materia prima y sus propiedades físicas. Las propiedades químicas afectan principalmente a las características del producto. Sin embargo, algunas características químicas pueden influir en la producción de olores. Dado que la gestión de olores debe considerar la manipulación y el almacenamiento de la materia prima y el proceso<sup>34</sup>. A continuación, se describen las materias primas que

---

<sup>30</sup> FAO, Op. cit., p. 23.

<sup>31</sup> *Ibid.*, p. 29.

<sup>32</sup> *Ibid.*, p. 30.

<sup>33</sup> CORNELL COMPOSTING SCIENCE & ENGINEERING, Op. cit., p. 13.

<sup>34</sup> *Ibid.*, p. 25.

se pueden utilizar para el proceso y las que se deben evitar para la obtención de un abono orgánico de calidad.

- Materia prima aprovechable generada en la cocina, estiércoles y procesos de jardinería.

Materiales de descomposición rápida

- Equinaza.
- Porcinaza.
- Bovinaza.
- Gallinaza y pollinaza.

Otros (con criterio profesional).

Características.

- Aporte de nitrógeno.
- Aporte humedad.

Material marrón.

- Hojas secas.
- Aserrín.
- Viruta.
- Hierba seca.

Características:

- Seco.
- Aporte de carbono.
- Estructura la mezcla<sup>35</sup>.

Materiales de descomposición moderada a rápida

- Poda triturada.
- Césped.

Características:

- Aporte de nitrógeno.
- Humedad moderada.
- Da poca estructura<sup>36</sup>.

Materiales de descomposición lenta.

- Paja y heno viejo.
- Restos de plantas.
- Flores viejas y plantas de macetas.
- Desbroces de setos jóvenes.
- Malezas perennes.

---

<sup>35</sup> ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL – ACODAL. Manual de Compostaje. Manual de Aprovechamiento de Residuos Orgánicos a través de Sistemas de Compostaje y Lombricultura en el Valle de Aburrá. [Sitio Web]. Colombia. p. 48. [Consultado 25, marzo, 2020]. Archivo en PDF.

<sup>36</sup> *Ibíd.*, p. 49.

- Lechos de hámster, conejos y otros animales domésticos (herbívoros)<sup>37</sup>.
- Restos de verduras, frutas y hortalizas.
- Restos de frutas y sobras de comida.
- Restos de carne y pescado.
- Cáscaras de huevo.
- Ripio de café y restos de infusiones.
- Servilletas de cocina o comedor sin material sintético.

Características:

- Aportan carbono y nitrógeno.
- Aportan humedad.
- No proporcionan mucha estructura<sup>38</sup>.

Otros materiales.

- Ceniza de madera (espolvorear en cantidades pequeñas)
- Cartón, cartones de huevos, servilletas bolsas y envases de papel
- Periódicos (en pequeñas cantidades)<sup>39</sup>

- Materia prima no aprovechable.

- Carne y pescado.
- Productos derivados de la leche.
- Productos que contengan levaduras o grasas.
- Ceniza de carbón y de coque.
- Heces de perros y gatos.
- Pañales desechables.
- Revistas ilustradas.
- Restos de aspiradora.
- Filtros de cigarrillos.
- Tejidos sintéticos<sup>40</sup>.

## 1.5. MÉTODOS A EVALUAR

El proceso de compostaje tiene varios métodos para su desarrollo, todos estos tienen la finalidad de controlar y optimizar los parámetros del proceso de compostaje, para obtener un compost final con la suficiente calidad requerida para utilizarlo como abono orgánico. Estos métodos requieren infraestructura, equipos, personal y el apoyo tanto de autoridades como de la población, para el desarrollo de cada uno<sup>41</sup>.

---

<sup>37</sup> ADT, Op. cit., p. 9.

<sup>38</sup> ACODAL, Op. cit., p. 49.

<sup>39</sup> ADT, Op. cit., p. 9.

<sup>40</sup> ACODAL, Op. cit., p. 50.

<sup>41</sup> MMAyA. Op. cit., p. 50.

Tales métodos varían según el tamaño de partícula, materiales necesarios, el tamaño y área de la infraestructura destinada al proceso. Los más conocidos y eficaces se clasifican en dos grupos: Los sistemas abiertos, el proceso se lleva a cabo en montones, pilas o hileras, en lugares abiertos o con cubierta., Y los sistemas cerrados: el proceso se lleva a cabo en reactores o en composteras, como lo indica la figura 1.

**Figura 1.** Sistemas de compostaje.



**Fuente:** MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA – MMAyA. Guía para el Aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos Mediante Compostaje y Lombricultura. [Sitio Web]. LaPaz.bo. Sec. Biblioteca. p. 50. [Consultado 25, octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <https://redcompostaje.mmaya.gob.bo/index.php/biblioteca/guias>

**1.5.1. Pilas volteadas o sistema abierto.** El ministerio de medio ambiente y agua (MMAyA)<sup>42</sup> dice que el material orgánico se debe amontonar por capas formando pilas o hileras, como se muestra en la imagen 1. Estas capas deben formar una sección piramidal y un volumen suficiente para conseguir un adecuado equilibrio entre la aireación y la humedad. Estas pilas deben tener un tamaño recomendable que el ancho en su base sea de (2,5 a 3) m. Normalmente, el alto será la mitad de la base, este tamaño influye en la temperatura del proceso.

Para asegurar que el proceso sea aeróbico se debe garantizar que en toda la pila haya oxígeno y otros factores, se deben realizar volteos para la eliminación de un exceso de calor y controlar la humedad. Estos volteos pueden realizarse de manera manual o mecánica, y así habrá una ventilación por convección natural a través de los espacios generados por este.

De acuerdo con el MMAyA<sup>43</sup> los volteos se deben realizar periódicamente dependiendo de la humedad, el tipo de material, el tamaño de partícula y de la rapidez que se desea realizar el proceso. Lo normal es un volteo cada 6 a 10 días

<sup>42</sup> *Ibíd.*, p. 51.

<sup>43</sup> *Ibíd.*, p. 51.

o incluso cada 20 días. Este proceso se puede realizar al aire libre o en infraestructuras cubiertas, que ayudan a disminuir los lixiviados generados y controlar la humedad de la pila. Dependiendo las condiciones locales y el proceso de homogeneización estará dado el tiempo total de la fase termófila es de 2 a 3 meses.

Algunas plantas instaladas en Colombia son a cielo abierto. La mayoría trabaja el sistema de pilas que requieren volteo mecánico con ayuda de máquinas volteadoras o mezcladoras para facilitar su aireación y así garantizar el manejo aerobio del proceso. En algunos casos, para el tratamiento de pilas estáticas (sin volteo) se han instalado sistemas de inyección de aire desde el piso, que también cumplen la función de airear el material para evitar anaerobiosis.

**Imagen 1.** Sistema de aireación de pila estática.



**Fuente:** ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL – ACODAL. Manual de Compostaje. Manual de Aprovechamiento de Residuos Orgánicos a través de Sistemas de Compostaje y Lombricultura en el Valle de Aburra. [Sitio Web]. Colombia. p. 48. [Consultado 25, marzo, 2020]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://www.earthgreen.com.co/descargas/manual-compostaje.pdf>

**1.5.2. Reactores o contenedores (in-vessel system).** Este sistema se aplica cuando se requieren tasas elevadas de transformación y condiciones muy controladas. Son sistemas más complejos y más costosos de construir, operar y mantener. Normalmente están provistos de un sistema de agitación que permite una aireación y homogeneización de la masa.

Su funcionamiento depende del tipo reactor y frecuentemente el producto fresco entra por un lado y sale procesado por el otro. Su utilización está indicada en el caso de mezclas complejas con algún tipo de dificultad. Se consiguen tasas de procesado de hasta una semana frente a los sistemas tradicionales que duran entre uno y tres meses, dependiendo de la tecnología aplicada<sup>44</sup>, como el mostrado en la imagen 2. La mayoría de reactores usan ventilación forzada y estos se puede realizar en dos tipos que pueden ser verticales (Continuos o Discontinuos) o horizontales (Estáticos o Con rotación).

**Imagen 2.** Sistema reactor cilíndrico rotativo.



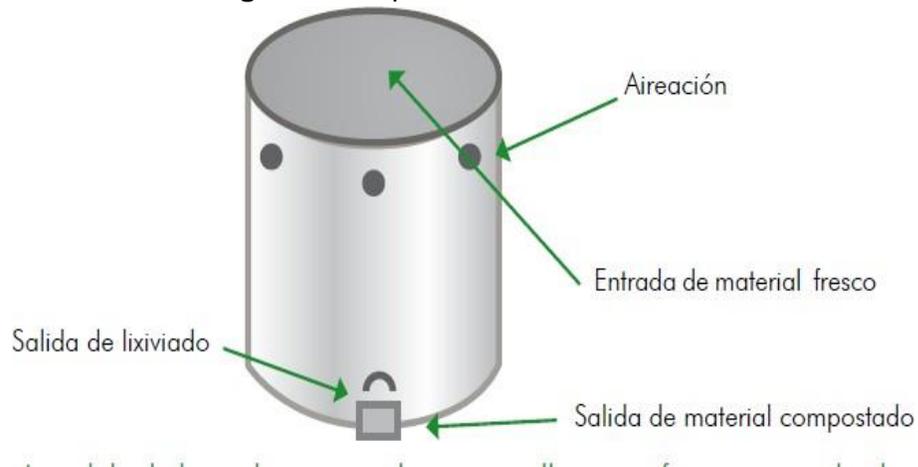
CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA. Manual de compostaje para Agricultura Ecológica. [Sitio Web]. España. p. 10. [Consultado 25, julio, 2020]. Archivo en PDF. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/311789650\\_Manual\\_de\\_compostaje\\_para\\_Agricultura\\_Ecologica](https://www.researchgate.net/publication/311789650_Manual_de_compostaje_para_Agricultura_Ecologica)

**1.5.3. Reactores verticales.** Estos reactores llegan a tener una altura de 4 a 10 metros y los cuales son cilindros que están cerrados y aislados térmicamente, como se muestra en la imagen 3. Estos tienen ventilación además de un sistema de extracción en su parte inferior del material compostado. Este sistema hace que a medida se va extrayendo el material se va añadiendo material fresco en el reactor, estos reactores por lo general tienen un tiempo de residencia de 2 semanas en el reactor para que posteriormente pase a su fase de maduración en otra sección<sup>45</sup>.

<sup>44</sup> CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA, Op. cit., p. 10.

<sup>45</sup> Ibíd., p. 55.

**Imagen 3.** Compostera vertical o continua.



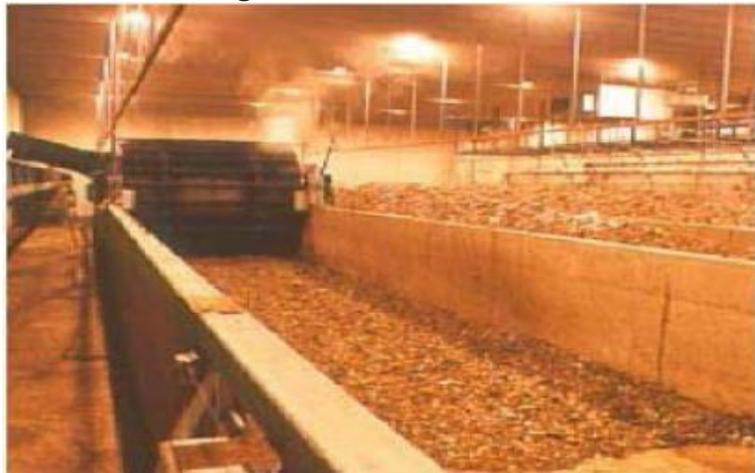
**Fuente:** FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Manual de compostaje del agricultor experiencias en américa latina. [Sitio Web]. Santiago.ch. Sec. Publicaciones. p. 62. [Consultado 16, octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://www.fao.org/publications/card/en/c/1cea1861-e379-57f9-988e-93be04982954>.

**1.5.4. Reactores horizontales.** El reactor túnel o de volteo periódico, como se muestra en la imagen 4. Tienen unas dimensiones aproximadamente de 4 metros de altura, 5,5 metros de ancho, y una longitud variable según el volumen que se desee tratar. El volteo en estos reactores se lleva a cabo mediante sistemas hidráulicos, estos reactores en su mayoría tienen ventilación forzada en su parte inferior. Estos reactores por lo general tienen un tiempo de residencia de 2 semanas en el reactor para que posteriormente pase a su fase de maduración en otra sección<sup>46</sup>.

---

<sup>46</sup> *Ibíd.*, p. 55.

**Imagen 4.** Reactor en túneles.



**Fuente:** MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA – MMAyA. Guía para el Aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos Mediante Compostaje y Lombricultura. [Sitio Web]. LaPaz.bo. Sec. Biblioteca. p. 56. [Consultado 29, octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <https://redcompostaje.mmaya.gob.bo/index.php/biblioteca/guias>.

Los procesos tipo túneles, contenedores o en tambor son modulares y permiten ampliar la capacidad para el tratamiento, porque añaden unidades necesarias para éste. Comúnmente se hace uso de la ventilación forzada, similar en la operación a una pila estática ventilada, como el mostrado en la imagen 5.

**Imagen 5.** Sistemas de compostaje en túneles y en tambor.



CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA. Manual de compostaje para Agricultura Ecológica. [Sitio Web]. España. p. 10. [Consultado 25, julio, 2020]. Archivo en PDF. Disponible en:

**1.5.5. Vermicompostaje o lombricultura.** Es una técnica que consiste en la utilización de lombrices como una fuente de trabajo, reciclando todo tipo de materia orgánica obteniendo como fruto de este trabajo humus. El vermicompost resulta muy útil como fertilizante orgánico, biorregulador y corrector de las características físico-químicas del suelo. El vermicompost puede ser utilizado directamente en el jardín o en trasplantes, además puede mezclarse con sustratos para plantas de interior y exterior. Es uno de los medios más rápidos y eficientes para la recuperación de suelos de las zonas rurales<sup>47</sup>.

Las lombrices de tierra hacen la mayor parte del trabajo de descomposición entre los organismos de compostaje más grandes. Su túnel airea el compost y permite que el agua, los nutrientes y oxígeno logren filtrarse en la materia orgánica. A medida que el suelo o la materia orgánica pasan a través del sistema digestivo de una lombriz de tierra, es roto y neutralizado por las secreciones de carbonato de calcio de las glándulas calcíferas cerca de la molleja de la lombriz. Una vez en la molleja, el material se muele finamente antes de la digestión. Jugos intestinales digestivos ricos en hormonas, enzimas y otras sustancias fermentadoras continúan el proceso de descomposición. El asunto sale del cuerpo del gusano en forma de moldes, que son la calidad más rica y fina de todos los humus. Los cilindros frescos son notablemente más altos en bacterias, material orgánico y nitrógeno, calcio, magnesio, fósforo y potasio que el suelo mismo<sup>48</sup>. Esto promueve el cultivo de lombrices de tierra que aumenta continuamente y así se obtiene una cosecha sostenible. La lombriz se utiliza para expandir una operación de vermicompostaje o vender a clientes que los utilizan para otros fines. Además de los múltiples beneficios de aplicación de los productores orgánicos.

- El vermicompost es en general superior al producido convencionalmente con el compostaje de varias formas importantes.
- El vermicompost es superior a la mayoría de los compost como inoculante en la producción de té de compost.
- La lombriz tiene otros usos posibles en las granjas, incluido el valor como alimento de alta calidad
- El vermicompostaje y la lombriz ofrecen potencial a los agricultores orgánicos como fuentes de ingresos suplementarios.

Todo lo anterior se discutirá en detalle más adelante en este documento.

---

<sup>47</sup> ACODAL, Op. cit., p. 75.

<sup>48</sup> CORNELL COMPOSTING SCIENCE & ENGINEERING, Op. cit., p. 75.

**1.5.6. Vermicompostaje doméstico.** Para el MMAyA<sup>49</sup> es una técnica que puede llevarse a cabo en lugares reducidos, como se muestra en la imagen 6 que fue realizado en Neiva Colombia, este proceso es llevado a cabo en contenedores cortados a la mitad para hacer la cama de la lombriz y allí introducir la materia orgánica. Además de ser técnicas sencillas con bajo costo y que por medio de las lombrices hay un reciclaje del material orgánico doméstico las cuales son las encargadas de ayudar con su movimiento a mezclar, mover y airear la masa de residuos. Para realizar un vermicompostaje doméstico se debe conocer la cantidad mensual producida de materia orgánica y así construir un vermicompostador capaz de procesar esa cantidad y lograr el manejo del lixiviado generado.

**Imagen 6.** Vermicompost en agricultura familiar. Neiva (Colombia)



**Fuente:** FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Manual de compostaje del agricultor experiencias en américa latina. [Sitio Web]. Santiago.ch. Sec. Publicaciones. p. 70. [Consultado 16, octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://www.fao.org/publications/card/en/c/1cea1861-e379-57f9-988e-93be04982954>.

Además, se observa una práctica muy conocida la cual consta en realizar el proceso de vermicompost con un Sistema de canastillas como se observa en la imagen 7.

<sup>49</sup> MMAyA. Op. cit., p. 116.

**Imagen 7.** Sistema lombricultivo en canastillas, Municipio de Caldas (Colombia).



Fuente: ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL – ACODAL. Manual de Compostaje. Manual de Aprovechamiento de Residuos Orgánicos a través de Sistemas de Compostaje y Lombricultura en el Valle de Aburra. [Sitio Web]. Colombia. p. 48. [Consultado 25, marzo, 2020]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://www.earthgreen.com.co/descargas/manual-compostaje.pdf>

**1.5.7. Lombricultura municipal.** Como lo menciona el MMAyA<sup>50</sup> este proceso es similar al compostaje anteriormente descrito, pero la principal diferencia radica en que las lombrices son las encargadas del 100% de la transformación de la materia orgánica. Y son procesos que se desarrollan en plantas municipales con este método de grandes capacidades. Como se muestra en la imagen 8.

**Imagen 8.** Lombricultivo El Copey.



CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA. Manual de compostaje para Agricultura Ecológica. [Sitio Web]. España. p. 10. [Consultado 25, julio, 2020]. Archivo en PDF. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/311789650\\_Manual\\_de\\_compostaje\\_para\\_Agricultura\\_Ecologica](https://www.researchgate.net/publication/311789650_Manual_de_compostaje_para_Agricultura_Ecologica)

<sup>50</sup> *Ibíd.*, p. 116.

## 2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Para este desarrollo experimental se debe escoger un proceso de compostaje que sea rápido y que ocupe un área pequeña. En el cuadro 1 se realiza la comparación de los tipos de compostaje.

**Cuadro 1.** Comparación de los desarrollos experimentales para el proceso de compostaje.

| asunto                        | Pilas volteadas   | Compostador cerrado   | vermicompost  |
|-------------------------------|---|---|---|
| Objetivo                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Producción de compost como abono orgánico</li> <li>➤ Aprovechamiento o valorización de los residuos orgánicos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Producción de compost como abono orgánico</li> <li>➤ Aprovechamiento o valorización de los residuos orgánicos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Producción de humus como fertilizante</li> <li>➤ Aprovechamiento o valorización de los residuos orgánicos</li> </ul> |
| Cantidad de compost producido | Aproximadamente 30% a 60% del peso de los residuos orgánicos crudos   | Aproximadamente 30% a 60% del peso de los residuos orgánicos crudos   | Aproximadamente 30% a 60% del peso de los residuos orgánicos crudos   |
| Siembra de lombrices          | No aplica   | No aplica   | 600- 700 lombrices o 200 gr de lombrices por m <sup>3</sup> paralelo a la cosecha del producto  |
| Tiempo necesario              | 3 – 6 meses   | 3 – 6 meses   | 3 – 6 meses   |
| producto                      | compost   | compost   | Compost enriquecido   |
| Problemas de olores           | Durante la descarga de material y la mezcla/revuelta  | Durante la descarga de material y la mezcla/revuelta  | Poco (durante la descarga de material y la mezcla/revuelta)   |
| Areas                         | Grande para el volteo   | Baja y mediana depende del equipo utilizado   | Baja y mediana depende de la cantidad de materia orgánica y de lombrices.   |
| inversion                     | Baja debido a que depende de un área de pila, si es cubierto, volteo mecanizado   | Alta debido a que los reactores mucha más inversión por ser un método muy tecnificado y el consumo energético es alto.  | Media debido a que el lombricompostador no tienen altas tecnificaciones, además las lombrices son de bajo costo y de fácil adquisición.                       |

Modificado por el autor del MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA – MMAyA. Guía para el Aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos Mediante Compostaje y Lombricultura. [Sitio Web]. LaPaz.bo. Sec. Biblioteca. p. 117. [Consultado 29, octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <https://redcompostaje.mmaya.gob.bo/index.php/biblioteca/guias>.

## 2.1. SELECCIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE.

Este proyecto tiene como fin obtener un compost de buena calidad y la disminución de áreas utilizadas. Se observan 3 desarrollos experimentales, los cuales tienen ciertas diferencias en cuanto al área, la inversión, problemas de olores, y producto final. El objetivo es establecer criterios técnicos estandarizados para el diseño e implementación del proyecto para el aprovechamiento y valorización de residuos, de tal forma que el desarrollo de este tipo de proyecto se establezca las materias primas a usar. Esta sección tiene como objetivo identificar la metodología que cumpla con estos parámetros en el proceso de compostaje. intervenciones que tienen el fin de mejorar la eficiencia del proceso en Colombia<sup>51</sup>.

Para un desarrollo experimental en el que se desea una producción de compost rápida, de bajo precio y de mejor calidad. Se observa que el mejor método sería el vermicompost. Ya que en este método según el MMAyA<sup>52</sup> se usan áreas bajas las cuales son ocupadas por la vermicompostera que depende de la cantidad de materia orgánica y de lombriz usada. De la misma manera la inversión inicial no es alta a comparación con los demás métodos experimentales, por motivo de la baja tecnificación de la vermicompostera y de su fabricación. Además de esto las lombrices producen un humus de alta calidad con una estructura muy estable, lo cual supone una serie de ventajas frente a otro tipo de abonos orgánicos<sup>53</sup>.

**2.1.1. Beneficios del vermicompost.** las lombrices de tierra hacen la mayor parte del trabajo de descomposición entre los organismos de compostaje más grandes. Su túnel airea el compost y permite que el agua, los nutrientes y oxigena. A medida que el suelo o la materia orgánica pasan a través del sistema digestivo de una lombriz de tierra, es roto y neutralizado. Además de esto se mostrarán los beneficios del vermicompost en comparación con los demás desarrollos experimentales, a continuación.

- El humus fresco es notablemente más alto en bacterias, material orgánico, nitrógeno, calcio, magnesio, fósforo y potasio que el suelo mismo<sup>54</sup>.
- Llega hacer una actividad basada en criar a una especie domesticada de lombriz como una herramienta de trabajo, obteniendo como resultado vermicompost, Un coproducto que es la lombriz, harina de lombriz, lixiviado. Los cuales tienen un mayor valor comercial que el mismo vermicompost.
- El vermicompost doméstico, practicado por personas con sentido de responsabilidad hacia el medioambiente fomenta el reciclaje de sus residuos domésticos, de cocina y jardín. Permitiendo reciclar hasta en un 60% de los desechos orgánicos de cada núcleo familiar.
- Es una actividad con muy bajo costo de iniciación.
- En conjunto, las ciudades disminuyen los costos de transporte de desechos a su lugar de disposición final (vertederos, rellenos sanitarios, etc.).
- Los niños crecen entendiendo y practicando el proceso de reciclaje.

---

<sup>51</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Construcción de criterios técnicos para el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos con alta tasa de biodegradación, plásticos, vidrio, papel y cartón. Manual 1: Generalidades. Bogotá D.C: El Ministerio, 2008. p 14.

<sup>52</sup> MMAyA, Op. cit. 117 p.

<sup>53</sup> ADT, Op. cit., p. 19.

<sup>54</sup> CORNELL COMPOSTING SCIENCE & ENGINEERING, Op. cit., p. 75.

- Se elimina la necesidad de comprar nutrientes químicos como abonos para jardines y huertos.
- Posibilita la creación de ingresos extra al vender el humus como producto final<sup>55</sup>.
- El vermicompost puede ser utilizado directamente en el jardín o en trasplantes, además puede mezclarse con sustratos para plantas de interior y exterior.
- Es uno de los medios más rápidos y eficientes para la recuperación de suelos de las zonas rurales.
- Protege el suelo de la erosión, mejora las características físico-químicas del suelo, de su estructura (haciéndola más permeable al agua y al aire), aumentando la retención hídrica, y la capacidad de almacenar y liberar los nutrientes requeridos por las plantas de forma equilibrada.
- Fruto del proceso se obtiene un líquido conocido como lixiviado que puede ser recogido y resulta ser un excelente fertilizante para abonar las plantas, al ser un fertilizante líquido muy fuerte necesita ser diluido en una proporción de una parte de lixiviado por tres de agua (1/3) para su uso.
- Resulta una solución atractiva en el compostaje si se carece de espacio físico (Jardín, Parcela, Terraza, etc.) para poder realizarlo.
- Existen en el mercado varias empresas que comercializan vermicompostadores y colonias de lombrices a precios bastante asequibles<sup>56</sup>.
- Su paso por el material orgánico genera un túnel el cual airea el compost y permite que el agua, los nutrientes y oxígeno para filtrar. No necesita volteos para el proceso debido al movimiento de la lombriz<sup>57</sup>.

**2.1.2. Lombriz roja californiana.** La lombriz roja Californiana (*Eisenia Foetida*) es un pequeño gusano de la clase de los oligoquetos. Entre las lombrices se conocen cerca de 8.000 especies, de las que sólo se han conseguido "domesticar" 3 de ellas. Aunque cualquier lombriz podría usarse para el proceso de compostaje, la más utilizada en América es la lombriz roja de California (*Eisenia foetida*) por varios motivos:

- Gran longevidad (hasta 16 años).
- Es muy prolífica (puede duplicar su población en unos pocos meses).
- Es muy voraz. Ingiere diariamente una cantidad de materia orgánica equivalente a su propio peso, lo que en individuos adultos es en torno a 1 gramo. De esto el 60% se transforma en vermicompost.
- Vive en climas templados.
- Color rojo oscuro y cuerpo dividido en anillos. Mide 8-10 cm de longitud y 3-5 mm. de diámetro.
- Viven en lugares con bastante humedad, en torno a 70- 80.

---

<sup>55</sup> MMAyA, Op. cit. 117 p.

<sup>56</sup> ELIOT EPSTEIN. INDUSTRIAL COMPOSTING, Op. cit. 137 p.

<sup>57</sup> *Ibíd.*, p. 138.

- Su rango óptimo de temperaturas se halla entre 18° y 25°C.
- Resisten un rango amplio de pH (entre 5 y 8,4)<sup>58</sup>.
- requieren de altas concentraciones de materia orgánica para su alimentación.

El cuerpo de la lombriz parece una cadena formada de anillos, destacándose un anillo más grande, que contiene los órganos reproductivos, denominada clitelo. La lombriz es hermafrodita, es decir que en un mismo individuo tiene los dos sexos, pero para la reproducción se requiere de dos individuos. Los dos individuos producen huevos, llamados Cocón. Los individuos juveniles inician el periodo reproductivo a los 3-4 meses, cuando pasan a ser adultos y están sexualmente maduros<sup>59</sup>. El ciclo de vida de la lombriz se muestra en la imagen 9.

**Imagen 9.** Ciclo de vida de la lombriz.



**Fuente:** FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Manual de compostaje del agricultor experiencias en américa latina. [Sitio Web]. Santiago.ch. Sec. Publicaciones. p. 69. [Consultado 16, octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://www.fao.org/publications/card/en/c/1cea1861-e379-57f9-988e-93be04982954>.

**2.1.3. Ejemplos del uso del vermicompostaje.** A continuación, se describen 3 casos exitosos del vermicompostaje para la disposición final de residuos orgánicos.

- En Cuernavaca, Morelos, México. El trabajo tuvo como objetivo evaluar la eficiencia del vermicompostaje para la estabilización del lodo residual producido en los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Los lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales, fueron caracterizados

<sup>58</sup> ADT, Op. cit., p. 19.

<sup>59</sup> FAO, Op. cit., p. 69.

mediante parámetros microbiológicos, parasitológicos y físico-químicos. El efecto de la actividad de la lombriz (*Eisenia* spp.) sobre los lodos residuales, se evaluó mediante un diseño experimental con cuatro tratamientos y tres repeticiones cada uno: T1 (Lodo residual crudo), T2 (Lodo residual + lombrices), T3 (Lodo residual + composta + lombrices) y T4 (Lodo residual + material vegetal fresco + lombrices). Los resultados fisicoquímicos del lodo crudo y de los diferentes tratamientos demostraron que tienen un alto potencial como fertilizantes orgánicos. Los resultados de cuenta viable de microorganismos manifestaron un importante incremento de UFC/g en los tratamientos, demostrando una relación entre la estimulación de las lombrices inoculadas y la actividad microbiana. El tratamiento (T4) demuestra resultados de incremento significativo en la población de lombrices, fueron los más eficientes en la remoción de huevos de helmintos y coliformes fecales, sin embargo, no consiguieron la eliminación de *Salmonella*. Dando un correcto desarrollo de la lombriz en el consumo de material orgánico y convirtiéndolo en abono orgánico<sup>60</sup>.

- En Remangará, Distrito Karnataka, India, las bodegas producen cerca del 80% de material orgánico. Residuos procedentes básicamente de la transformación de uvas al mosto y del vino, del que el desperdicio de orujo constituye el 50% en peso del total de residuo. Oenocianina es un tinte rojo natural presente en el orujo de uva y hace que el color que es inaceptable para desechar, tenga un olor fermentado, amenaza de moscas y lixiviados a medida que avanza el proceso de fermentación. Esto se puede superar y se sugiere que los productores de vino deben tener unidades de vermicompostaje en sus instalaciones. Ya que los componentes químicos del orujo rojo como su celulosa, azúcares no fermentables, taninos, ácidos tartáricos, antocianinas y fenólicos aromáticos, indican la utilización del material con el propósito de vermicompostaje.

El presente estudio ha demostrado convertir el residuo de orujo de baja producción a una gran escala, que bajo las circunstancias indias son ideales desde el punto de vista de enriquecimiento de suelos, especialmente el de los viñedos. Los análisis físico-químicos de vermicompost de desechos de orujo rojo, revela que es apto para la aplicación al suelo como el C: N. La proporción es de 15:1 con reacción básica y se puede usar tanto en suelos ácidos como alcalinos. El ácido soluble constituyente indica la mayor idoneidad del material para su aplicación en ácidos a suelos neutros. El contenido total de nitrógeno y Fósforo indica la liberación lenta de nutrientes. Ideal para la agricultura orgánica

---

<sup>60</sup> VERA-REZA Ana, SÁNCHEZ-SALINAS Enrique, ORTIZ-HERNÁNDEZ Ma. Laura, PEÑA-CAMACHO Justina Leticia, ORTEGA-SILVA Ma. Magdalena. Estabilización de lodos residuales municipales por medio de la técnica de lombricompostaje. Centro de Investigación en Biotecnología, Laboratorio de Investigaciones Ambientales, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México. [en línea]. p 12. [Consultado el 20 de julio de 2020]. Archivo en pdf.

sostenible. Los porcentajes del contenido de Ca y Mg total muestra la idoneidad como factor para suelos ácidos y para suelos con déficit de Ca<sup>61</sup>.

- En Accra, Ghana. Los desechos de la piña, un desecho orgánico abundante, fueron vermicompostados en Vermidigestores triplicados a escala piloto que contienen alrededor de 90 lombrices de tierra y otras tres cajas de control sin lombrices de tierra se alimentaron con pulpa o cáscaras de piña, y se controló la pérdida de masa húmeda durante 20 semanas. En un segundo experimento, se alimentó por triplicado una mezcla 1:1 de cáscaras de piña y pulpa (p / p) Vermidigestores y cajas de control a escala piloto durante un período de 20 semanas. Un mes después de que terminó la alimentación, el vermicompost y los desechos compostados (control) se secaron al aire y se analizaron. Durante la primera experiencia, la pulpa y cáscaras de piña vermicompostadas perdieron el 99% y 87% de su masa húmeda, respectivamente, indicando el potencial de vermicompostaje. Los desechos de piña fresca exhibieron un pH inicial de 4.4, pero después de 24 semanas, el vermicompost y el compost habían adquirido un pH de neutro a alcalino de 7,2 a 9,2. El vermicompost contenía hasta 0,4% de N total, 0,4% de P total y 0,9% de K total, y tenía una relación C: N de 9-10. La reducción de 31 a 70% en las cargas de *Escherichia coli* más *Salmonella* y de 78 a 88% en la carga de *Aspergillus* fue observado durante el vermicompostaje. La rápida descomposición de los desechos de la piña por demuestra la viabilidad del vermicompostaje como una tecnología simple y de bajo costo para reciclar estos desechos en una enmienda del suelo que podrían utilizar los 2500 productores de piña<sup>62</sup>.

## 2.2. CONDICIONES DE OPERACIÓN

Para el MMAyA<sup>63</sup> Para este proceso es fundamental el uso de la lombriz roja californiana. que es la más común en América Latina. Las lombrices de la especie *Eisenia Foetida*, (lombriz roja californiana), ingieren grandes cantidades de materia orgánica descompuesta, que excreta en vermicompost. Este constituye un sustrato ideal para la proliferación de microorganismos útiles. Las lombrices transforman los minerales no asimilables presentes en los residuos municipales y residuos animales, en nitratos y fosfatos directamente asimilables por las plantas.

---

<sup>61</sup> Sunitha N. Seenappa. Chemical Analyses of Vermicomposted Red Pomace Waste from a Winery. Managanahalli, Hosur Post, Bidadi Hobli, Ramanagara District, Karnataka, India. [en línea]. p 5. [Consultado el 20 de julio de 2020]. Archivo en pdf.

<sup>62</sup> NANA Mainoo, SUZELLE Barrington, JOANN K, WHALEN A. Pilot-scale vermicomposting of pineapple wastes with earthworms native to Accra, Ghana. 2009 [en línea]. p 5. [Consultado el 20 de julio de 2020]. Archivo en pdf.

<sup>63</sup> MMAyA, Op. cit., p. 118.

**2.2.1. Rendimiento.** Es capaz de consumir materia orgánica equivalente a su propio peso transformando el 60% en vermicompost<sup>64</sup>.

**2.2.2. Alimentación.** Se alimenta de gran diversidad de restos orgánicos que son básicamente: todos los restos vegetales producidos, pelo, uñas, cáscaras de huevo, papel y cartón (sin tintas), humedecido y en trozos. Poca cantidad<sup>65</sup>. Lo que más consume son frutas dulces, posos de café y bolsas de infusiones. Y los restos ácidos cítricos los consumen, aunque deben ser en baja cantidad, ya que podrían variar el pH del medio. Su alimentación debe realizarse cada 15 días, y con altas concentraciones ya que esta especie lo requiere para su correcto desarrollo<sup>66</sup>.

Lo que se debe evitar agregar son: restos de carnes, pescado, comida cocinada, alimentos con salsas, lácteos o levaduras, productos inorgánicos, colillas y ceniza de tabaco, ceniza de carbón, papel de revistas ya que la tinta contiene metales pesados que dañan a la lombriz y bajarán la calidad del compost, restos de maderas no naturales. (p ej. Conglomerados), heces de perro y gato. Pueden contener sustancias u organismos patógenos<sup>67</sup>.

**2.2.3. Temperatura.** Tolera un amplio rango de temperatura que su rango óptimo entre los (15°C a 25°C), aunque soporta temperaturas entre los (3°C y 35°C)<sup>68</sup>.

**2.2.4. Reproducción.** Su reproducción se lleva aproximadamente cada 7 días en la cual deposita un huevo que en pocas semanas de un huevo eclosiona de 1 a 20 lombrices, y en 3 meses se convertirán en adultas. si las condiciones de operación son adecuadas<sup>69</sup>.

**2.2.5. pH.** Para la MMAyA<sup>70</sup> no soportan valores menores a 4,5. El óptimo se encuentra entre 6 y 8.

**2.2.6. Luz.** son fotosensibles por lo que no soportan la luz y hay que mantenerlas en ambientes oscuros<sup>71</sup>.

**2.2.7. Humedad.** Debe preverse un 60% para facilitar la ingestión del alimento y el deslizamiento de las lombrices a través de material<sup>72</sup>.

---

<sup>64</sup> FAO, Op. cit., p. 70.

<sup>65</sup> RIVAS VACIAMADRID MEDIO AMBIENTE - RIVAS. Manual de compostaje y vermicompostaje doméstico. [en línea]. p. 17-21. [Consultado 30, octubre, 2019]. Archivo en PDF.

<sup>66</sup> *Ibíd.*, p. 18.

<sup>67</sup> CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRENO, Op. cit., p. 20.

<sup>68</sup> *Ibíd.*, p. 20.

<sup>69</sup> FAO, Op. cit., p. 71.

<sup>70</sup> MMAyA, Op. cit., p. 118-119.

<sup>71</sup> FAO, Op. cit., p. 71.

<sup>72</sup> *Ibíd.*, p. 71.

**2.2.8. Aireación.** Es fundamental para la correcta respiración y desarrollo de las lombrices.

**2.2.9. Relación carbono-nitrógeno.** Con una relación C/N relativamente baja, esto hace que los restos de verduras y frutas de cocina sean de su agrado en cuanto a la relación C/N. Y tiene un rango de 15/1 a 20/1<sup>73</sup>.

### 2.3. VERMICOMPOSTERA

De acuerdo con RIVAS<sup>74</sup> para realizar un vermicompostaje se necesita un recipiente adecuado en el que se depositarán los residuos orgánicos y mantener las condiciones de operación para las lombrices. Existen varios modelos, pero se prefiere el uso de un modelo por bandejas como el mostrado en la imagen 10, este modelo facilita el manejo y la comodidad para áreas pequeñas. Este modelo consiste en varias bandejas, que presentan multitud de agujeros que permiten el paso de la lombriz por los diferentes niveles. También tienen en la parte inferior un depósito de lixiviados y un grifo para la salida.

**Imagen 10.** Vermicompostera modelo de bandejas.



CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRENO. Manual de Compostaje. [Sitio Web]. España. p. 21. [Consultado 25, julio, 2020]. Archivo en PDF. Disponible en: [http://www.madrid.org/cs/BlobServer?blobkey=id&blobwhere=1202767672745&blobheader=application/pdf&blobheadername1=Content-Disposition&blobheadervalue1=filename=MANUAL\\_COMPOST\\_ADT\\_2008.pdf&blobcol=urldata&blobtable=MungoBlobs](http://www.madrid.org/cs/BlobServer?blobkey=id&blobwhere=1202767672745&blobheader=application/pdf&blobheadername1=Content-Disposition&blobheadervalue1=filename=MANUAL_COMPOST_ADT_2008.pdf&blobcol=urldata&blobtable=MungoBlobs).

---

<sup>73</sup> FAO, Op. cit., p. 72.

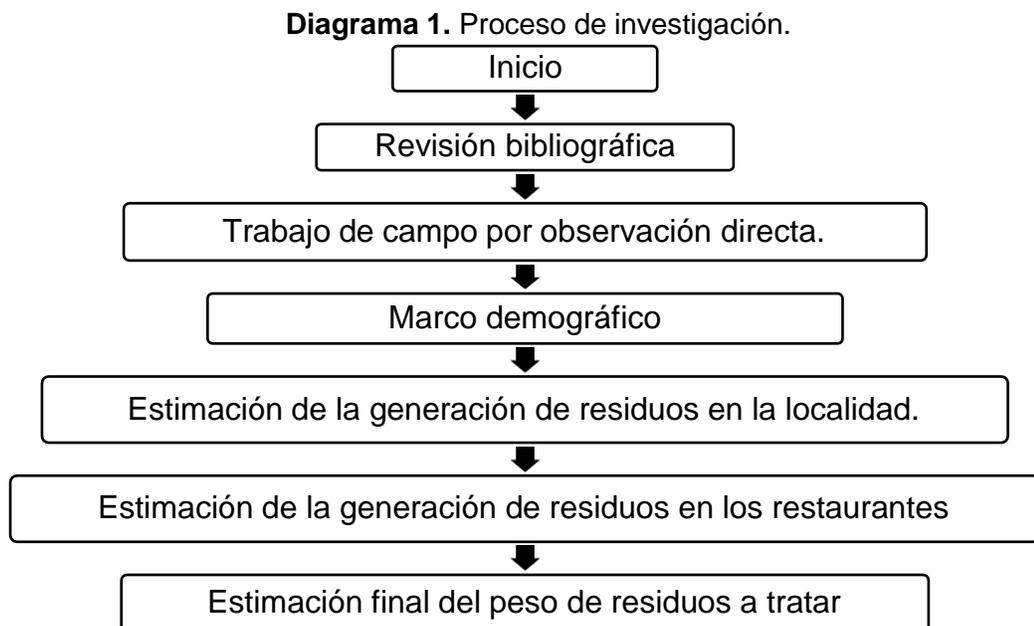
<sup>74</sup> RIVAS, Op. cit., p. 18.

### 3. DIAGNÓSTICO

Este capítulo presenta información acerca del estado actual de la generación de los residuos sólidos orgánicos, por parte de los restaurantes ubicados en la localidad de chapinero en Bogotá, Colombia, en la parte urbana de esta, ya que allí es donde hay mayor producción. Se estimará la cantidad de producción y su composición. La investigación se realizó con métodos cualitativos y cuantitativos. Ya que para el desarrollo de los objetivos fue fundamental determinar cantidades y cualidades de los procesos, aspectos, impactos ambientales; esto se hizo con el fin de plantear medidas para el aprovechamiento de los residuos del restaurante. Las herramientas de investigación que fueron utilizadas fueron las siguientes: Revisión bibliográfica, análisis de datos recolectados. Estas herramientas serán explicadas con mayor detalle en la descripción de proceso de investigación<sup>75</sup>.

#### 3.1. PROCESO DE INVESTIGACIÓN

En el diagrama 1 se muestra el proceso de investigación, donde se observan cada una de las actividades realizadas para el cumplimiento del objetivo del proyecto.



A continuación, se definen y describen las fases en las cuales se divide el proceso de investigación del proyecto: Fase 1: Revisión bibliográfica Lo primero que se

<sup>75</sup> MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Op. cit., p. 14.

hizo fue una revisión bibliográfica acorde al tema de investigación, para el caso específico de este proyecto se destaca el estudio de documentos como: Artículos sobre el tema de reciclaje en Bogotá, guías ambientales, saneamiento básico, etc. Documentos nacionales, regionales y locales sobre el manejo de residuos sólidos, enfocados al aprovechamiento de estos. El objetivo de esta sección es ofrecer una estimación de las dimensiones medioambientales, económicas y sociales de la recogida, la separación y la recuperación de los residuos orgánicos<sup>76</sup>.

**3.1.1. Marco demográfico.** De acuerdo con información reportada por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios<sup>77</sup> para el 2018, en Colombia se generaban diariamente 30979,3 toneladas de residuos sólidos urbanos. En el estudio de toneladas diarias promedio presentadas al servicio público de aseo por departamento y para el Distrito Capital, con respecto a la cantidad de personas en cada departamento es posible apreciar que la mayor parte de la distribución departamental de los residuos dispuestos del país (51,41%) se concentra en el Distrito Capital y 3 departamentos; Bogotá, D.C. (6.366,24 Ton/día, 20,55%), Valle del Cauca (3.592,68 Ton/día, 11,60%), Antioquia (3.575,26 Ton/día, 11,54%) y Atlántico (2.387,50 Ton/día 7,71%). De los cuales Bogotá es el departamento que más genera residuos en toda Colombia<sup>78</sup>.

### 3.1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA LOCALIDAD

Según la Secretaría Distrital de Salud.<sup>79</sup> La localidad de Chapinero en Bogotá, Colombia. Tiene una extensión aproximada de 3900 hectáreas, de las cuales el 21% del suelo local es la zona urbana y el 79% es zona de ladera. Limita al norte con la Localidad de Usaquén, limita al sur con la localidad de Santa Fe, al oriente limita con el páramo de Cruz Verde y con los municipios de la Calera y Choachí, y

---

<sup>76</sup> CORREDOR ROJAS Ángela María Guía ambiental para el manejo de residuos sólidos en las bodegas de reciclaje - caso piloto Bogotá - en el marco de la gestión integral de residuos sólidos. p. 17-19. Universidad Libre facultad de ingeniería departamento de ingeniería ambiental Bogotá D.C. 2013

<sup>77</sup>SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS. Disposición Final de Residuos Sólidos Informe Nacional– 2018. [Sitio Web]. Colombia. p. 20. [Consultado 25, julio, 2020]. Archivo en PDF.

<sup>78</sup> CORREDOR ROJAS. Guía ambiental para el manejo de residuos sólidos en las bodegas de reciclaje- caso piloto Bogotá - en el marco de la gestión integral de residuos sólidos. p. 17-19.

<sup>79</sup> SECRETARÍA DISTRITAL DE SALUD. Localidad Chapinero. [Sitio Web]. Bogotá. Col. p. 13. [Consultado 20, junio, 2020]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://www.saludcapital.gov.co/DSP/Documentos%20Vigilancia%20en%20Salud%20Pblica%20Geografica1/An%C3%A1lisis%20espacial%20por%20localidad/Atlas%20de%20Salud%20P%C3%ABlica/2016/Atlas%20Salud%20P%C3%ABlica%20Chapinero.pdf>.

al occidente limita con las localidades de Teusaquillo y Barrios Unidos, como lo muestra la imagen 11.

**Imagen 11.**  
General  
de



Ubicación  
Localidad  
Chapinero.

**Fuente:** SECRETARÍA DISTRITAL DE SALUD. Localidad Chapinero. [Sitio Web]. Bogotá. Col. p. 16. [Consultado 20, junio, 2020]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://www.saludcapital.gov.co/DSP/Documentos%20Vigilancia%20en%20Salud%20Pblica%20Geografica1/An%C3%A1lisis%20espacial%20por%20localidad/Atlas%20de%20Salud%20P%C3%BAblica/2016/Atlas%20Salud%20P%C3%BAblica%20Chapinero.pdf>.

La localidad está conformada según la Secretaría Distrital de Salud<sup>80</sup> por 6 UPZ, de los cuales una UPZ es área rural, (el verjón). Y cinco UPZ son área urbana. (El Refugio, San Isidro Patios, Pardo Rubio, Chico Lago y Chapinero), este proyecto se enfoca en la zona urbana debido a que allí se encuentra la mayor población.

### **3.2. ESTIMACIÓN DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS EN LA LOCALIDAD**

La generación de residuos de los restaurantes en la localidad de Chapinero está basada en el estudio del total de residuos orgánicos generados por la localidad y su porcentaje de uso del suelo por el sector de comercio de restaurantes. Para la obtención de la información se recurrió a revisión bibliográfica y de páginas webs. Para la estimación de los volúmenes generados en la Localidad de Chapinero para el año 2020. Se consideró la información de los dos años anteriores (2018, 2019), estableciendo el promedio anual y mensual. Con esto según la Unidad

---

<sup>80</sup> *Ibíd.*, p. 15.

Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP)<sup>81</sup> se realiza una tabla especificando las caracterizaciones anuales de residuos sólidos que se muestra en el anexo A. basado en esta tabla la localidad tiene en promedio 62.411 Ton/año de residuos sólidos para el 2018, para el año 2019 tiene un crecimiento del 1,22% con 63173 Ton/año, y ya para el año 2020 se observa también un crecimiento de cerca del 1,24% con 63959 Ton/año 2020. Analizando estos valores del crecimiento tan bajo en la generación de residuos en esta localidad se puede establecer una base para el desarrollo del proyecto en cuanto a saber cuánta cantidad en peso genera la localidad anualmente.

Con estos valores de períodos entre (2018 – 2020) se utilizan para la obtención del promedio por año permitiendo así una extrapolación mensual, donde se obtuvo la estimación de los valores mensuales los cuales están expresados en el anexo B.

**3.2.1. Disponibilidad de residuos.** Los residuos orgánicos considerados para el vermicompostaje provienen de una única fuente, la cual es del funcionamiento de los restaurantes en la localidad de Chapinero. Las actividades de los restaurantes se encuentran realizadas por empresas privadas de comercio<sup>82</sup>.

**3.2.2. Residuos provenientes de los restaurantes.** Según la Cámara de Comercio de Bogotá<sup>83</sup> Chapinero tiene más de 131.000 habitantes el 1,8% del total de la ciudad, el suelo de Chapinero está clasificado en tres usos: 59,5% es residencial, 33,8% es de comercio y servicios. De estos porcentajes el que nos interesa es el porcentaje de suelo para comercio y servicios, que es de 33,8%. De este valor se encuentra una división de acuerdo con la Cámara de Comercio de Bogotá<sup>84</sup> que es por la actividad económica reportada, la segunda actividad económica de mayor uso del suelo es el comercio con 26% de participación. Debido a que esta localidad tiene gran cantidad de restaurantes, que son el foco de atención en este proyecto se basará en el estudio de producción de residuos orgánicos de los restaurantes en la localidad, que dentro de esta se encuentra. Según el Instituto Distrital de Turismo<sup>85</sup> cerca de 523 restaurantes están en funcionamiento para el año 2019. Se estudiará la generación de estos restaurantes basado en los porcentajes dados por la Cámara de Comercio de Bogotá, para aprovecharlos mediante el proceso de compostaje en la tabla 1.

---

<sup>81</sup> UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE SERVICIOS PÚBLICOS - UAESP. Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) de Bogotá, Cundinamarca, 2018. 30-31 p.

<sup>82</sup> CORDOVA MOLINA Carolina Alejandra. Estudio de factibilidad técnico-económica para instalar una planta de compostaje, utilizando desechos vegetales urbanos. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Forestal. SANTIAGO - CHILE. 2006. P. 21-36.

<sup>83</sup> CAMARA DE COMERCIO DE BOGOTÁ. Censo empresarial de Chapinero. [Sitio Web]. Bogotá. Col. p. 4. [Consultado 20, junio, 2020]. Archivo en PDF.

<sup>84</sup> *Ibíd.*, p. 11.

<sup>85</sup> INSTITUTO DISTRITAL DE TURISMO. Estudio censo gastronómico de la localidad de Chapinero 2019. [Sitio Web]. Bogotá. Col. p. 1. [Consultado 20, junio, 2020]. Archivo en PDF.

**Tabla 1.** Producción de residuos orgánicos sector de comercio de restaurantes en la localidad de Chapinero en el año 2019.

| Materia orgánica. | Flujo.  | Porcentaje. | Origen de producción Orgánicos |
|-------------------|---------|-------------|--------------------------------|
| 5329,9            | Ton/mes | 49%         | Orgánicos                      |
| 177,66            | Ton/día | 100%        | Orgánicos                      |
| 60,05             | Ton/día | 33,80%      | Orgánicos comercial.           |
| 15,61             | Ton/día | 26,00%      | Orgánicos restaurantes.        |

**Fuente.** Elaboración propia.

El proyecto se basará en la producción de 15,61 toneladas por día, aproximadamente de residuos sólidos orgánicos generados en el sector de comercio de restaurantes de la localidad de Chapinero, en Bogotá. Colombia.

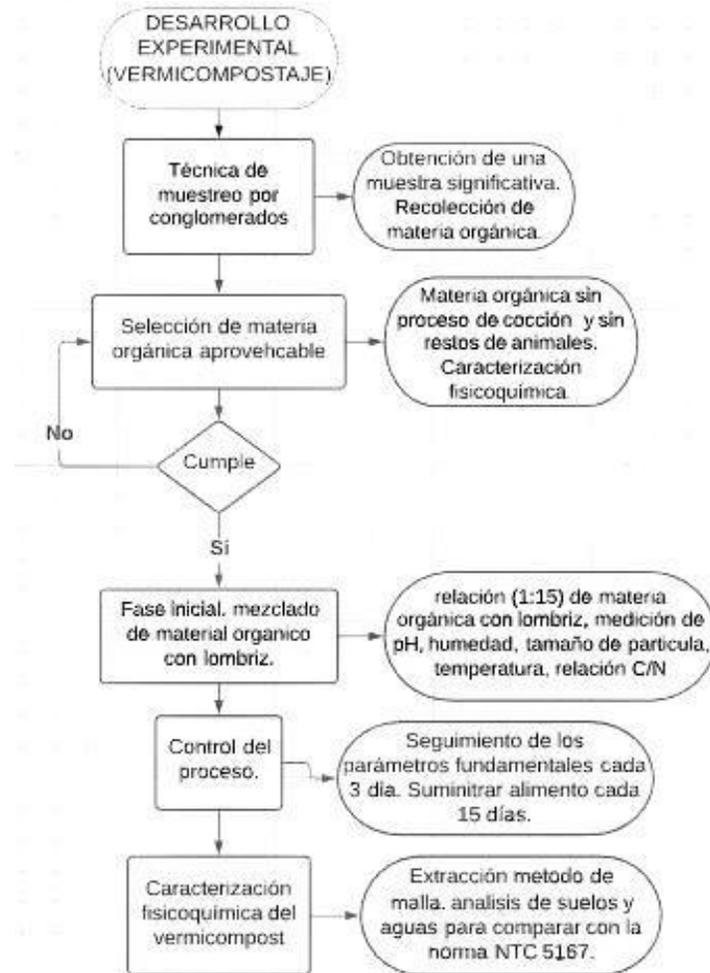
Con respecto a la pureza de los residuos, y la alimentación de la lombriz se debe obtener los residuos provenientes de la cocina, sin ningún tipo de cocción para así evitar los aceites y el cambio de pH que produce la preparación de la materia orgánica. Por lo que se plantea que en el proceso común de un restaurante la merma que es el residuo desechado antes de la cocción sea el foco del proyecto. Esto representa una disminución de una cantidad total de materia orgánica a procesar, en resumen, es una pérdida en términos físicos inevitable por las condiciones iniciales de los alimentos. Por lo que, apoyado en una investigación documental de cerca de 130 alimentos más usados, se elabora una tabla con el alimento y el porcentaje de merma que cada uno genera y se encuentra explicada en el anexo C, allí se logra obtener una merma del 27,5 % del total en peso de los residuos orgánicos. Basados en este valor el valor de residuos de cocina de las cerca de 15,61 toneladas generadas diariamente por los restaurantes la merma es aproximadamente de 4,29 toneladas por día. El resultado obtenido permite la identificación del factor influyente en el desarrollo del proyecto.

### 3.3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Este desarrollo tendrá una serie de etapas para llegar finalmente a la caracterización y análisis de la materia prima. Para así, conocer el estado actual

de los residuos sólidos del restaurante. A continuación, se describe un esquema general del proceso en el diagrama 2.

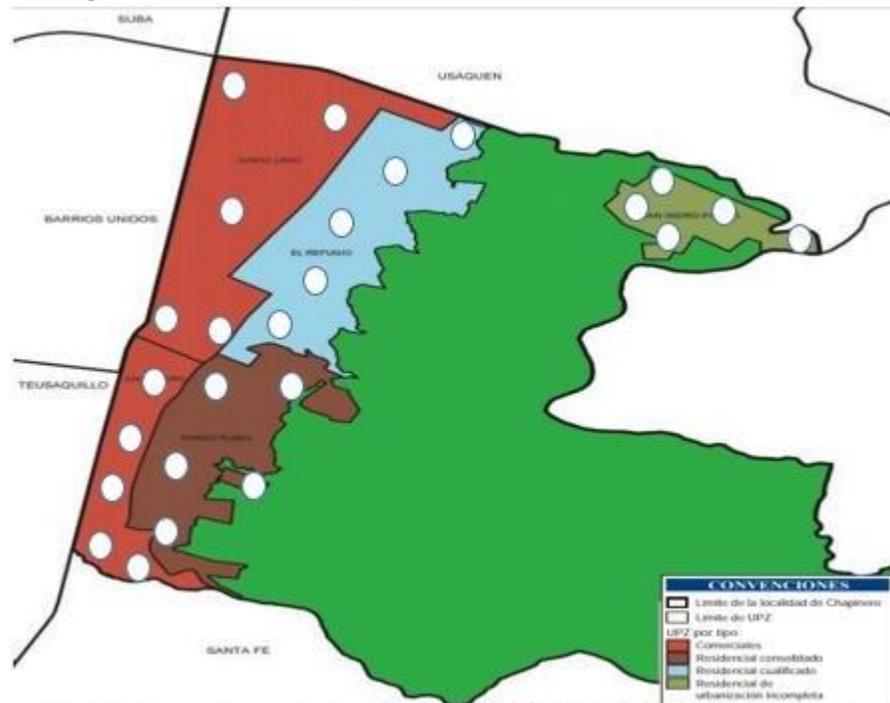
**Diagrama 2.** Diagrama de flujo del proceso experimental de un vermicompostaje.



**3.3.1. Técnica de muestreo.** Debido a la variedad de restaurantes y por la cantidad de personas que los visitan. Para lograr una predicción en el resultado de la muestra, se elige la técnica de muestreo por conglomerados según MARTÍNEZ<sup>86</sup>. Considerando la primera etapa unidades de conglomerados, las UPZ de la localidad de Chapinero, escogiendo 5 restaurantes de diferentes posiciones dentro de la UPZ. Se presentan las UPZ de la localidad de Chapinero dentro de la cual se establecieron los 5 restaurantes de recolección de material orgánico. Como se muestra en la imagen 12.

<sup>86</sup> MARTÍNEZ B., Ciro. Estadística y muestreo. En: Algunos métodos de muestreo. 13 ed. Bogotá: Eco Ediciones, 2012. P. 783.

**Imagen 12.** UPZ de Chapinero con ubicación de restaurantes.



Modificado por el autor de la ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ. Recorriendo chapinero. [Sitio Web]. Bogotá. Col. p. 18. [Consultado 20, junio, 2020]. Archivo en PDF. Disponible en: <https://www.shd.gov.co/shd/sites/default/files/documentos/Recorriendo%20CHAPINERO.pdf>.

De estos restaurantes se hace una recolección evidenciando la presencia de restos alimenticios como cáscaras de huevo, cáscaras de frutas (mango, banano, naranjas y mandarinas); cáscaras de arvejas, plátanos, tubérculos, verduras, tusa de mazorca y comida cocinada. Luego de recolectar los residuos se cuantifican recogiendo un total de 154,5 lb de residuos orgánicos. Para un posterior transporte del material orgánico al laboratorio de síntesis orgánica de la macarena B, Universidad distrital Francisco José de Caldas, ciudad de Bogotá, donde allí se realiza una selección y separación rigurosa de material aprovechable para la lombriz, allí se separan diferentes residuos los cuales afectan la supervivencia de la lombriz como lo son: Productos inorgánicos, Colillas y ceniza de tabaco, Ceniza de carbón, Papel de revistas, La tinta contiene metales pesados que dañan a la lombriz y bajarán la calidad del compost, Restos de maderas no naturales (p ej.: Conglomerados), Carnes, Pescado, Comida cocinada, Alimentos con salsas y aceites, Lácteos o levaduras, heces de perro y gato que pueden contener sustancias u organismos patógenos, muchos restos de cítricos no son de su agrado además acidifican el medio, restos de aspiradora, filtros de cigarrillos,

tejidos sintéticos, Pañales desechables<sup>87</sup>. Y así lograr un proceso efectivo de la lombriz, cumpliendo con las especificaciones en cuanto a su alimentación, para llegar a un vermicompost final de gran calidad.

**3.3.2. Toma de la muestra y caracterización fisicoquímica.** Para la toma de la muestra y de la materia prima, esta se obtiene por medio de la técnica de cuarteo, según la UNAD<sup>88</sup> que consiste en homogeneizar mezclando todos los residuos orgánicos manualmente como se muestra en la imagen 13, luego se debe reducir el tamaño adecuado de la muestra formando un círculo uniforme y dividiendo este en cuatro partes, se eliminan dos de las partes diagonalmente opuestas de manera aleatoria; se mezcla el material restante y se cuartea sucesivamente hasta conseguir la cantidad necesaria se toma 2 kg de muestra para el análisis de laboratorio y 4 kg como materia prima para el proceso experimental de compostaje.

**Imagen 13.** Mezcla de material orgánico manual.



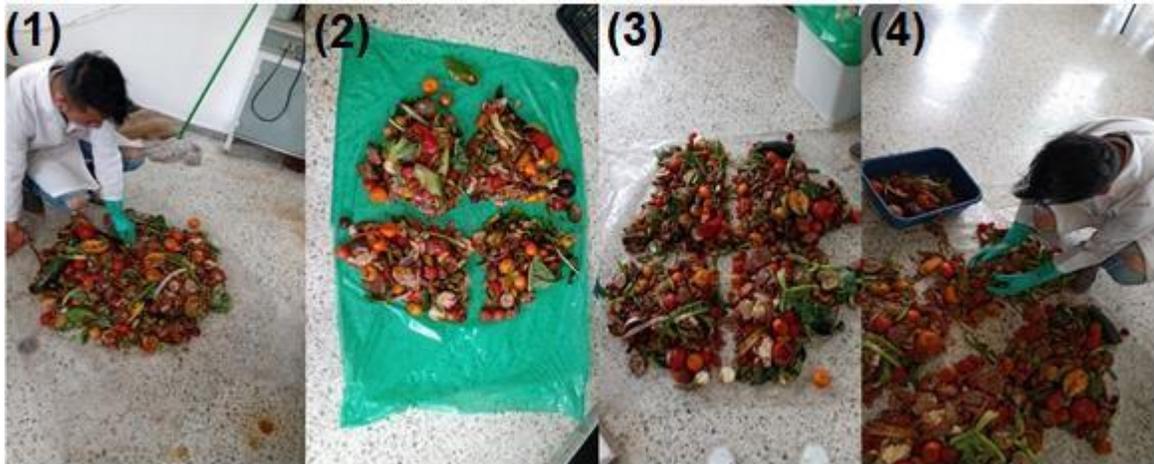
**Nota:** Fotografías tomadas del mezclado manual de los residuos en el laboratorio de síntesis orgánica de la macarena B, Universidad distrital Francisco José de Caldas, ciudad de Bogotá.

Se hizo una mezcla de la materia orgánica por medio de una bolsa en la cual se coloca todos los residuos y se mezcla manualmente para así lograr una homogeneización de todos los residuos para lograr hacer un cuarteo más eficaz. Se hicieron 4 cuarteos como se observa en la imagen 14. Para obtener las cantidades necesarias de 2 kg para la caracterización y 3 kg para el proceso de compostaje.

<sup>87</sup> CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRENO. Op. cit. 20 p.

<sup>88</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. Método Para La Caracterización. [en línea] [Consultado el 10 de noviembre de 2019]. Archivo en pdf.

**Imagen 14.** Cuarteo de los residuos sólidos orgánicos.



**Nota:** Fotografías tomadas del cuarteo de los residuos en el laboratorio síntesis orgánica de la macarena B, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, ciudad de Bogotá

Para el establecimiento de las relaciones C: N y tamaño de partícula a manejar se realizó una revisión bibliográfica, donde mediante el uso de laboratorios de suelos y aguas se le hacen análisis de materiales orgánicos. como análisis de carbono orgánico, nitrógeno total, pH, humedad. se determinarán los parámetros para el desarrollo de un compostaje. En la tabla 2 se muestran los valores que se establecieron para determinar estos parámetros, basados en diferentes documentos basados en la literatura de compostaje. Y que además tienen una gran relación con el caso de estudio ya que todas estas caracterizaciones fisicoquímicas fueron realizadas a residuos orgánicos provenientes de la cocina. Por ende, logran aportar un rango en los que están los parámetros para el compostaje y así comprobar el gran potencial del uso de residuos de la cocina para este proceso.

**Tabla 2.** Comparación de caracterización para la determinación de la Humedad, relaciones C: N y tamaño de partícula. De residuos de cocina en Colombia. Revisión bibliográfica.

| Relación C:N(%) | Tamaño de partícula (cm) | pH | Humedad(%) | lugar de residuos                | Fuente   |
|-----------------|--------------------------|----|------------|----------------------------------|--|
| 17,71%          | 2,6                      | 6  | 80,25      | Municipio el Rosal, Colombia.    | Ninco C, Sánchez J (2017) <sup>89</sup>                        |
| 25,1            | 1,5                      | 5  | 50,5       | municipio de Muzo, Colombia.     | Díaz L, Gallego L (2016) <sup>90</sup>                         |
| 19,2            | 2                        | 7  | 78,2       | municipio Sogamoso, Colombia     | Alba (2020) <sup>91</sup>                                      |
| 23,8            | -                        | 6  | 81         | Municipio de Manizales, Colombia | Cardona C, Sánchez O, Ramírez J, Álzate L (2004) <sup>92</sup> |

Fuente. Elaboración propia.

**3.3.3. Análisis de resultados del diagnóstico.** Para el proceso de caracterización fisicoquímica de los residuos orgánicos se realizan análisis como: Carbono orgánico. Se determina el contenido de carbono orgánico en muestra aplicando la técnica volumétrica de Walkley & Black la cual obedece a la volumetría de oxidación-reducción. Nitrógeno total: se determina el contenido de

<sup>89</sup> NINCO CARDOZO, Cristhian y SÁNCHEZ GONZÁLEZ, Jennifer. Propuesta para la producción de abono orgánico mediante el compostaje de los residuos sólidos del municipio el rosal, Cundinamarca. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá D.C.: Universidad de América. Facultad de Ingeniería Química, 2017. 93 p.

<sup>90</sup> DÍAZ BOHÓRQUEZ, Luisa y GALLEGO ESCOBAR, Laura. Propuesta para el manejo y disposición de los residuos sólidos generados en el municipio de Muzo, Boyacá. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá D.C.: Universidad de América. Facultad de Ingeniería Química, 2016. 255 p.

<sup>91</sup> ALBA MUÑOZ, Lina. Propuesta de aprovechamiento integral de los residuos orgánicos provenientes del conjunto residencial la Colina. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá D.C.: Universidad de América. Facultad de Ingeniería Química, 2020. 88 p.

<sup>92</sup> CARDONA ALZATE Carlos, SÁNCHEZ TORO Oscar, RAMIREZ ARANGO Julián, ALZATE RAMIREZ Luis. Biodegradación de residuos orgánicos de plazas de mercado. REVISTA COLOMBIANA DE BIOTECNOLOGÍA

nitrógeno en muestra aplicando el Método Kjeldal. Digestión Destilación Valoración<sup>93</sup>. Dando como resultado una relación C/N de 18.25. pH: se mide el pH de la muestra con el pH-metro y la medida es 6,22. Para la humedad, se mezcla el material orgánico y luego se forma un montón de 300 gramos. Luego se hace el método de secado al horno con diferencias entre peso húmedo y peso seco. Dando un porcentaje de humedad del 60%<sup>94</sup>. Se observa que los valores obtenidos de estos análisis son equivalentes a los mostrados por la revisión bibliográfica realizada, para la determinación de parámetros iniciales de un compostaje. Todos los valores están en un intervalo que cumplen con un compostaje. Como lo son pH de (5-7), la humedad de (50-81) %, la relación C/N (17-25) %, y el tamaño de partícula (1,5-2,6). Todas estas caracterizaciones fueron basadas en residuos de cocina en Colombia.

Analizando estos datos se adecuan bastante bien para el correcto desarrollo del proyecto ya que están dentro de los rangos óptimos dados por la FAO<sup>95</sup> de un proceso de compostaje. Los cuales se realiza un promedio de cada parámetro y se comparan con los rangos óptimos para el desarrollo de un compostaje. A continuación, se realiza una comparación en la tabla 3 donde se observa que estos residuos cumplen para el correcto desarrollo del proceso de compostaje.

**Tabla 3.** Comparación de parámetros del compostaje con las características de los residuos de cocina.

| Parámetro                                      | Relación C:N(%)  | Tamaño de partícula (cm) | pH    | Humedad(%) |
|--|------------------|--------------------------|-------|------------|
| Rango optimo de acuerdo con la FAO             | (15/1-25/1)% p/p | (15-25)mm                | (5-7) | (50-80)%   |
| Rango promedio real de los residuos de cocina. | 21/1 % p/p       | 2,03                     | 6     | 65%        |

**Fuente.** Elaboración propia.

**3.3.4. Fabricación de vermicompostera.** Para este proyecto se tendrá en cuenta un diseño que sea de baja área. Por lo cual con el director del proyecto se establece, que esta vermicompostera debe ser funcional y de un tamaño reducido para poderla utilizar tanto en cocinas, restaurantes, como en lugares cerrados. También tiene que funcionar fácil en cuanto al controlar los parámetros de operación, el cargue y descargue de la misma, y el mantenimiento de la vermicompostera.

<sup>93</sup> CIAT, Op. cit. 11 p.

<sup>94</sup> CORNELL COMPOSTING. OP. cit. p 21.

<sup>95</sup> FAO, Op. cit. 25-30 p.

Basado en el modelo de una vermicompostera de bandejas, se diseña un modelo que tiene 2 bandejas con corredera que se pueden extraer para su mantenimiento, y el cargue y descargue del proceso. Cada una de las bandejas se instala con inclinación y a cada una se le instala un recipiente para la recolección del lixiviado. Además, se tiene que asegurar el aislamiento de la luz para las lombrices, por lo que se usa una polisombra negra que forre todo el soporte de la lombricompostera. Para esto se usan los siguientes materiales: (Cubetas plásticas, Soporte metálico, Polisombra negra, Correderas telescópicas, Madera, Recipientes para el lixiviado).

### **3.4. ELABORACIÓN DEL VERMICOMPOSTAJE**

**3.4.1. Fase inicial.** Para esta mezcla de material orgánico con lombrices se debe pesar por separado. Inicialmente y de acuerdo a lo que menciona la FAO<sup>96</sup> la lombriz puede llegar a ingerir diariamente su propio peso en alimento. Y su alimentación debe ser cada 15 días. Por lo tanto, en la bandeja se introduce en relación 15:1 de material orgánico con respecto a peso de lombriz. Es decir 1,5 Kg de material orgánico y 0,1 Kg de lombriz, con tamaño de partícula estándar del alimento.

Para el control del proceso en el inicio, se mide el pH ya que es fundamental para la supervivencia de la lombriz, lo cual es realizada mediante un pH-metro y da como resultado 6,22. Para la humedad, lo que nos da un promedio de 60% de humedad, cumpliendo con los requerimientos. En cuanto a la relación C/N, esta relación con la caracterización fisicoquímica de los residuos orgánicos está en un 18,25%, el cual estaría óptimo en el rango de 15/1 a 20/1 para lombricultivo. Para la temperatura del proceso, esta propiedad se mide con un termómetro de máximas y mínimas, dando un valor de 17°C en el laboratorio inicialmente, este termómetro se introduce en la lombricompostera para tener un control en el interior de este. Y para la luz, las bandejas son introducidas a la lombricompostera y cubiertas por la polisombra negra la cual sella el 100% de la luz. con estos parámetros se inicia el proceso como se muestra en la imagen 10, y así ser medidas en los 3 meses de duración del vermicompost. En la imagen 15 se muestra la puesta en marcha del proceso experimental en el laboratorio síntesis orgánica de la macarena B, Universidad distrital Francisco José de Caldas, ciudad de Bogotá.

---

<sup>96</sup> FAO, OP. cit. 69 p.

**Imagen 15.** Puesta en marcha del desarrollo experimental del vermicompostaje.



**Nota:** Fotografías tomadas del cuarteo de los residuos en el laboratorio síntesis orgánica de la macarena B, Universidad distrital Francisco José de Caldas, ciudad de Bogotá

Para la humedad. Se toma una contraparte del montón último de la técnica de cuarteo, en el análisis de la composición de basura, se mezcla y luego se forma un montón de 300 gramos. Se pesa el recipiente ( $W1=50$ ). Se pone la muestra en los recipientes cortando bien los restos de frutas y verduras para facilitar la disección. Se pesa el recipiente con el material orgánico ( $W2=300$ ). Luego se debe secar la muestra en un horno a una temperatura de  $105^{\circ}\text{C}$ , asumiendo que el peso que se pierde es debido al agua en el proceso. Cuando se conoce el peso de la muestra seca ( $W3=150$ ) de la muestra se puede calcular la humedad en base a la siguiente ecuación <sup>197</sup>.

$$W(\%) = \frac{W2 - W3}{W2 - W1} \times 100 \quad (1)$$

$W1$ = peso del recipiente.

$W2$ = peso del recipiente con material orgánico húmedo.

W3=peso total en base seca del material orgánico.

$$W(\%) = \frac{300 - 150}{300 - 50} \times 100 = 60\%$$

Basados en esta humedad se logra establecer un porcentaje óptimo para la puesta en marcha del vermicompostaje.

**3.4.2. Balance de materia y rendimiento.** Se realiza el balance de materia para establecer la cantidad de residuos orgánicos consumidos con respecto a la alimentación y reproducción de la lombriz. Basados en información teórica, y así determinar la cantidad de materia orgánica al final de los 3 meses y la cantidad de lombriz.

Basado en lo anteriormente mencionado cada 15 días se debe agregar materia orgánica al proceso y con un rendimiento del 60% de material orgánico con respecto al compost producido de acuerdo con lo mencionado anteriormente en la sección 2.2 de condiciones de operación. Según el MMAyA<sup>98</sup> establece un promedio de un ciclo productivo de la lombriz, que de una lombriz se obtiene 10 lombrices en 3 meses. Este balance de materia se plantea para un ciclo de vermicompostaje de 3 meses en el cual se debe alimentar la vermicompostera cada 15 días con material orgánico y así lograr obtener el mayor porcentaje de rendimiento de compost al final del ciclo.

Balance de materia de la primera quincena del proceso experimental ecuación (2):  
Materia orgánica + Lombriz

$$M_{M.0.0} + M_{L0} = M_{V1} + M_{L1} + M_{UL1} \quad (2)$$

Donde

---

<sup>97</sup> CORNELL COMPOSTING. OP. cit. p 21.

<sup>98</sup> MMAyA, OP. cit. 118-119 p.

$M_{M.O.0}$ : Es la cantidad en masa de materia orgánica inicial.

$M_{L0}$ : Es la cantidad en masa de lombriz inicial.

$M_{V1}$ : Es la cantidad en masa de vermicompost producido en la primera quincena.

$M_{L1}$ : Es la cantidad en masa de lombriz para la primera quincena.

$M_{UL1}$ : Es la cantidad en masa que es utilizado por la lombriz en la primera quincena.

La ecuación (3) describe la relación en masa de lombriz con respecto a la materia orgánica para su alimentación.

$$M_{L0} = \frac{1}{15} M_{M.O.0} \quad (3)$$

La ecuación (4) describe el rendimiento de la lombriz de consumo de materia orgánica y convertirla en vermicompost.

$$M_{V1} = \frac{3}{5} M_{M.O.0} \quad (4)$$

En las ecuaciones (5) y (6) representa la equivalencia de peso de lombriz con cantidad de lombriz inicial y la igualdad en tiempo respectivamente.

$$100 \text{ lombrices} = 100 \text{ g de lombriz} \quad (5)$$

$$1 \text{ mes} = 30 \text{ días} = 2 \text{ Quincenas} \quad (6)$$

En la ecuación (7) se representa la cantidad de lombriz en Kg, que se va desarrollando durante n quincenas de un ciclo productivo.

$$M_{Ln} = \frac{M_{Ln-1} \times Q \times 10}{6} \quad (7)$$

$M_{Ln}$ : Es la cantidad en masa de lombriz para la n quincena.

$M_{Ln-1}$ : Es la cantidad en masa de lombriz para la n quincena anterior.

Q= quincena de alimentación

En la ecuación (8) se describe la masa en kg que la lombriz a usado para su supervivencia.

$$M_{UL1} = \frac{2}{5} M_{M.O.0} \quad (8)$$

El proceso experimental se inicia con 1,5 kg de materia orgánica. Este valor se reemplaza en la ecuación (3), (4) y (8) para calcular la cantidad en masa de lombriz inicial, la cantidad en masa de vermicompost producido en la primera

quincena y la cantidad en masa que es utilizado por la lombriz en la primera quincena.

$$M_{L0} = \frac{1}{15} M_{M.0.0} = \frac{1}{15} 1,5kg = 0,1kg$$

$$M_{V1} = \frac{3}{5} M_{M.0.0} = \frac{3}{5} 1,5kg = 0,9kg$$

$$M_{UL1} = \frac{2}{5} M_{M.0.0} = \frac{2}{5} 1,5kg = 0,6kg$$

Con el valor de  $M_{L0}$  encontrado anteriormente se reemplaza en la ecuación (7) para encontrar la cantidad en masa de lombriz para la primera quincena.

$$M_{L1} = \frac{M_{L0} \times Q \times 10}{6} = \frac{0,1 kg \times 1 \times 10}{6} = 0,1667kg$$

$M_{L1}$ : Es la cantidad en masa de lombriz para la primera quincena.

$M_{L0}$ : Es la cantidad en masa de lombriz inicial.

Q= quincena de alimentación.

Balance de materia de la segunda quincena del proceso experimental ecuación 9:  
Materia orgánica + Lombriz

$$M_{M.0.1} + M_{L1} + M_{V1} = M_{V2} + M_{L2} + M_{UL2} \quad (9)$$

Donde

$M_{M.0.1}$ : Es la cantidad en masa de materia orgánica para la primera quincena.

$M_{L1}$ : Es la cantidad en masa de lombriz para la primera quincena.

$M_{V2}$ : Es la cantidad en masa de vermicompost producido en la segunda quincena.

$M_{L2}$ : Es la cantidad en masa de lombriz para la segunda quincena.

$M_{UL1}$ : Es la cantidad en masa que es utilizado por la lombriz en la segunda quincena.

El proceso experimental continua con 0,1667 kg de lombriz la cual se debe alimentar con 15 veces en peso de materia orgánica ecuación 10. Este valor de materia orgánica se encuentra y se reemplaza para encontrar la cantidad en masa

de vermicompost producido en la segunda quincena ecuación 11 y la cantidad en masa que es utilizado por la lombriz en la segunda quincena ecuación 12.

$$M_{M.0.1} = 15M_{L1} = 15(0,1667kg) = 2,5kg \quad (10)$$

$$M_{V2} = \frac{3}{5} M_{M.0.0} + M_{V1} = \frac{3}{5} 2,5kg + 0,6kg = 2,1kg \quad (11)$$

$$M_{UL2} = \frac{2}{5} M_{M.0.1} = \frac{2}{5} 2,5kg = 1kg \quad (12)$$

Con el valor de  $M_{L1}$  encontrado anteriormente se reemplaza en la ecuación (7) para encontrar la cantidad en masa de lombriz para la primera quincena.

$$M_{L2} = \frac{M_{L1} \times Q \times 10}{6} = \frac{0,1667 \text{ kg} \times 2 \times 10}{6} = 0,5556kg$$

$M_{L2}$ : Es la cantidad en masa de lombriz para la segunda quincena.

$M_{L1}$ : Es la cantidad en masa de lombriz para la primera quincena.

Q= quincena de alimentación.

Densidad con la ecuación e igualdades (13).

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad (13)$$

M= masa. kg: kilogramo, Ton: tonelada, g= gramo.

V= volumen.  $\text{m}^3$ : metro cúbico,  $\text{cm}^3$ : centímetro cúbico.

En las siguientes ecuaciones se calculan los volúmenes en  $\text{m}^3$  ocupados de una tonelada de residuos sólidos orgánicos (M.O.), ecuación (14) con densidad de  $940 \text{ kg/m}^3$ , la lombriz (L). Con la ecuación (15) con densidad de  $5000 \text{ kg/m}^3$  y vermicompost (V). Ecuación (16) con densidad de  $700000 \text{ kg/m}^3$ .

$$1 \text{ kg M.O.} \times \frac{1 \text{ m}^3}{940 \text{ kg}} = 1,064 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ M.O.} \quad (14)$$

$$1 \text{ kgL}x \frac{1 \text{ m}^3}{5000 \text{ kg}} = 2x10^{-4} \text{ m}^3 \text{L} \text{ (15)}$$

$$1 \text{ kgV}x \frac{1 \text{ m}^3}{700000 \text{ kg}} = 1,42x10^{-6} \text{ m}^3 \text{V} \text{ (16)}$$

Basado en estos los parámetros, de cantidad de lombriz, cantidad de material orgánico consumido, y el de vermicompost respecto a material orgánico. Y con los supuestos de que no se tienen en cuenta la pérdida de peso por deshidratación, el factor de consolidación de la mezcla es del 100%, los residuos de restaurante son el 93,75% por peso de mezcla, el rendimiento de la lombriz roja californiana es del 60% en peso de materia orgánica suministrada, tampoco se tienen en cuenta la pérdida de los sólidos volátiles en el proceso, al final del ciclo productivo hay 10 veces la población inicial de lombriz, alimentación cada 15 días de materia orgánica fresca para lograr un consumo eficiente de la lombriz y que su ciclo productivo se lleve a cabo al finalizar los 3 meses. Con estos supuestos se genera una tabla de balance de materia general del proceso, la cual se encuentra en el Anexo D. Fundado en esta tabla se estima que la cantidad de vermicompost producido en 3 meses es de 23,4 kg, con respecto a 39 kg de materia orgánica suministrada al proceso en la 5 quincena. Y el resto de materia orgánica los 15,6 kg fueron utilizados para el mantenimiento y crecimiento de los tejidos de la lombriz según ADEX<sup>99</sup>.

**3.4.3. Seguimiento y control del proceso de vermicompostaje.** Con base en ADEX<sup>100</sup> hay procesos elementales para control de un vermicompostaje, que se deben controlar periódicamente como lo son: humedad, cosecha de lombrices y pH. Para así lograr obtener un vermicompost de muy alta calidad y la supervivencia de la lombriz.

Para la humedad, es de gran importancia la frecuencia de riego y el tipo que se haya establecido. Los tipos de riego son. Por goteo que son cada 2 días por dos horas. Por aspersión que son cada 2 días por 15 minutos de acuerdo al caudal. Y por manguera que son cada 3 días hasta mantener la humedad. Cada tipo de riego en el proceso debe garantizar una humedad del 70% en promedio.

En cuanto al pH empieza con un pH de 6,22 el cual va subiendo a medida que el proceso va avanzando, a los 15 días el pH aumenta hasta un promedio de 7, al mes este aumenta a 8. Como fue mencionado anteriormente en el cuadro 1 el proceso completo es llevado a cabo a los 3 meses. Este proceso se lleva a cabo

---

<sup>99</sup> *Ibíd.*, p. 28.

<sup>100</sup> ADEX, OP. cit. 26 p.

en los laboratorios de síntesis orgánica de la Universidad distrital Francisco José de Caldas como se observa en la imagen 16.

**Imagen 16.** Seguimiento y control del proceso en el laboratorio de síntesis orgánica, Universidad distrital Francisco José de Caldas.



**Nota:** Fotografías tomadas del seguimiento y control del proceso experimental en el laboratorio de síntesis orgánica de la macarena B, Universidad distrital Francisco José de Caldas, ciudad de Bogotá

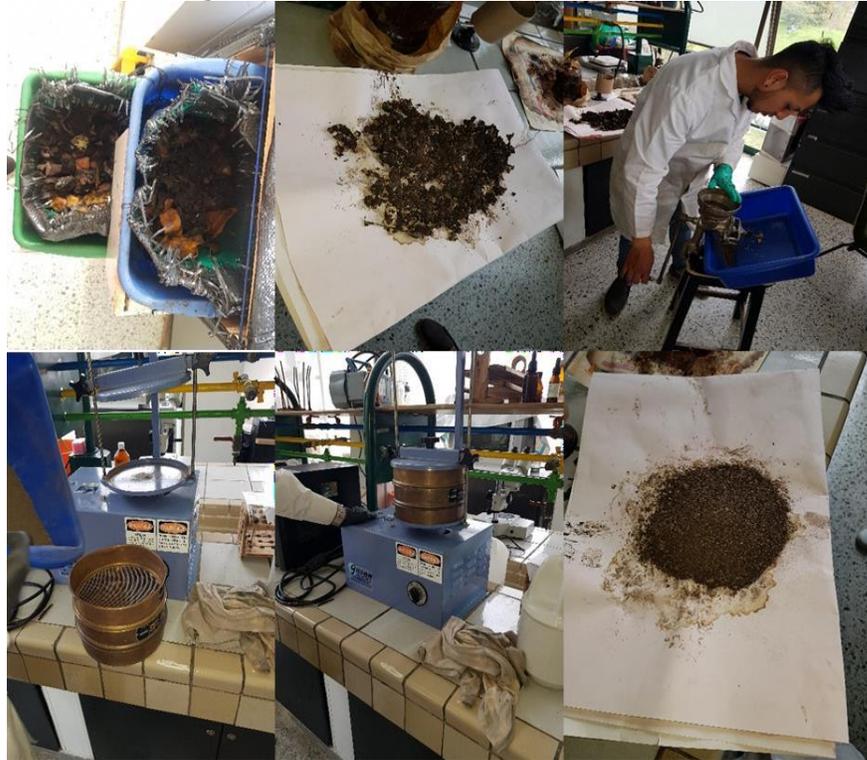
En el desarrollo experimental se observan diferentes problemas como lo son. La alta concentración de mosca de la fruta en el interior de la vermicompostera, la movilidad de la lombriz por toda la cubeta plástica, disminuyendo el consumo de esta teniendo que forrar la malla verde que se observa en la imagen 16.

**3.4.4. Obtención de vermicompost.** Para la toma de la muestra se hará según el MMAyA<sup>101</sup> de método de malla, el cual establece que en la quincena 6 del proceso, se debe colocar una malla en la superficie del lombrionario, donde se suministran 15 Kg de material orgánico para ser consumido, y al cabo de 3 a 4 días cuando las lombrices suban a comer, que se aprecia visualmente. Se van retirando material orgánico con lombriz hasta que sea necesario.

Para el Centro Internacional de Agricultura Tropical<sup>102</sup> El método más común es el de la muestra compuesta. En el cual se toman unos núcleos seleccionados al azar sobre un área dentro del vermicompost. Se combinan estos núcleos para obtener una muestra compuesta mucho más representativa del promedio. Se toma una muestra de 1 kg, se deja secar durante una semana para eliminar la humedad, después de esto se debe pasar por el molino para reducir el tamaño de partícula.

Y así pasarlo por un tamiz de 2 mm (malla #10), luego se guarda en un recipiente hasta el análisis del vermicompost final. Como se muestra en la imagen 17.

**Imagen 17.** Obtención del vermicompost final.



**Nota:** Fotografías tomadas de la obtención del vermicompost final en el laboratorio de síntesis orgánica de la macarena B, Universidad distrital Francisco José de Caldas, ciudad de Bogotá

---

<sup>101</sup> MMayA, Op. cit. 120 p.

<sup>102</sup> CIAT, Op. cit. 11 p.

**3.4.5. Análisis del vermicompost final.** Para determinar la calidad del vermicompost producido es necesario hacer una serie de análisis entre los cuales se debe determinar la Humedad, C, N, pH, que hay dentro del vermicompost y así determinar la calidad del vermicompost producido.

Para esto se deben hacer diferentes análisis fisicoquímicos como lo son:

Determinación de pH: de acuerdo con el CIAT<sup>103</sup> Se puede medir el pH de la muestra utilizando Indicadores de papel como el papel de Illmus, o de la manera más precisa usando el potenciómetro (pH metro). Debido a que el pH es sensible a la temperatura, se debe tener cuidado con este parámetro para su correcta medición. utilizando una relación material orgánico agua, 1:10.

Determinación de la humedad: el CIAT<sup>104</sup> establece que se debe secar la muestra en un horno a una temperatura de 105°C, asumiendo que el peso que se pierde es debido al agua en el proceso. Cuando se conoce el peso de la muestra seca de la muestra se puede calcular la humedad, mediante un factor de conversión para obtener todos los resultados basados en la muestra secada a 105 °C.

Determinación de carbono orgánico: la NTC 5167<sup>105</sup> describe que este método se hace mediante la técnica volumétrica de Walkley & Black en la muestra aplicando la técnica volumétrica fundamentada en la reducción del ion dicromato y el contenido de carbono se mide por el ion dicromato no reducido, en consecuencia es un método indirecto.

Determinación de Nitrógeno. Para el CIAT<sup>106</sup> el contenido de nitrógeno en una muestra se realiza aplicando el Método Kjeldahl. Este se realiza en dos pasos, el primero es una digestión a temperatura alta con ácido sulfúrico para formar sulfato de amonio. El segundo es la determinación del  $\text{NH}_4^+$

Este proyecto se registrará bajo la norma NTC 5167 de productos para la industria agrícola. productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. La cual 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 de suelo<sup>107</sup>.

---

<sup>103</sup> *Ibíd.*, p. 9.

<sup>104</sup> CIAT, Op. cit. 11 p.

<sup>105</sup> ICONTEC. Norma técnica NTC colombiana 5167. [en línea]. p 14 [Consultado el 30 de julio de 2020]. Archive en pdf Disponible en: [https://kupdf.net/download/ntc-5167-2004\\_59cd2ae708bbc53e51686ebd\\_pdf](https://kupdf.net/download/ntc-5167-2004_59cd2ae708bbc53e51686ebd_pdf)

<sup>106</sup> CIAT, Op. cit. 99 p.

<sup>107</sup> *Ibíd.*, p. 5.

De acuerdo con la situación de salubridad actual del país no se generó el análisis del vermicompost final. Por lo cual se realiza una revisión bibliográfica en donde se evidencian las características de un vermicompost final y de esta manera efectuar una comparación con la norma para determinar si un vermicompost cumple con la norma colombiana NTC 5167 o no acata la misma, así mismo encontrar los resultados según los datos descritos en la tabla número 4 por medio de cada uno de los parámetros.

**Tabla 4.** Comparación de caracterizaciones de vermicompuestos finales.

| Fuente            | NTC 5167    | Garg V, Kaushik P (2010)   | Camiletti J (2016)  | Castillo A, Quarín S, Iglesias M (2000) | Sanchez J (2017) | Olivares M, Hernández A, Vences C, Jáquez J, Ojeda D (2012) | Díaz E (2002)    |
|-------------------|-------------|--|---|---|------------------|---|------------------|
| Humedad(%)        | Máximo 35 % | 32   | 30  | -                                       | 12,9             | -   | 30-40            |
| Carbono organico  | Mínimo 15 % | 9,64   | 30,12   | 23,03                                   | 44,984           | 18,57   | -                |
| Nitrógeno         | Mínimo 1 %  | 2,94   | 3,3   | 0,57                                    | 2,192            | 2,24  | 1,5-3            |
| Fósforo           | Mínimo 1 %  | 7,9  | 18,9  | 0,027                                   | 0,089            | 0,12  | 0,5-1,5          |
| Potasio           | Mínimo 1 %  | 3,5  | 9,2   | 0,74                                    | 1,997            | 0,79  | 0,5-1,5          |
| Relación C:N(%)   | -           | 15,9   | 9   | -                                       | 20,522           | 8,13  | -                |
| pH                | 4 a 9       | 6,8  | 6,21  | 7,12                                    | 7,69             | 6   | 6,5-7,2          |
| Residuos tratados | -           | Lodos sólidos de las fábricas textiles mezclado con estiércol de vaca y residuos agrícolas | Restos de poda, ganaderos, lodos de depuradora y de industria agroalimentaria | Desechos de cocina                      | Residuos de poda | Estiércol de ganado vacuno lechero                          | Residuos urbanos |

**Fuente.** Elaboración propia.

Al comparar estos valores con la norma NTC 5167 se observa que parámetros como, la Humedad que máximo debe ser de 35%, está en un promedio de 28,98% de humedad cumpliendo con la norma. El carbono orgánico debe ser mínimo de 15% por lo que se observa que el único que no cumple es el de lodos sólidos de las fábricas textiles mezclado con estiércol de vaca y residuos agrícolas que es de 9,64%. El Nitrógeno, fósforo y el potasio, son parámetros que no cumplen con la norma ya que estos tienen valores bajos. Se plantea el agregar al procedimiento residuos que aumenten estos valores. Con respecto al uso de desechos de cocina. El pH si cumple con la norma para cualquier residuo usado en el vermicompostaje.

Observando estos parámetros y al ser comparados con la norma NTC 5167 se observa que se deben agregar restos de poda y estiércol vacuno para que aumenten ciertos parámetros y sea un vermicompost de muy alta calidad y cumplan con la norma y pueda ser comercializado.

## 4. DISEÑO CONCEPTUAL

En este capítulo se establece un diseño conceptual para una planta piloto de 4,3 Ton/día. Ya que por medio de los análisis de vermicomposts finales muestran un alto grado de degradación y estabilidad los residuos de cocina. Para así lograr un aprovechamiento de los residuos orgánicos del 100%. Iniciando con una recolección en los restaurantes, para ser llevado al proceso de selección y trituración de los residuos, y así ser procesado por la lombriz. Y así finalmente llegar al empaque del vermicompost obtenido.

### 4.1. RECOLECCIÓN EN LA FUENTE

**4.1.1. Separación en la fuente.** Esta actividad se realiza en conjunto con los restaurantes para que la eficiencia del proceso en términos de trabajo, tiempo y costos sean menores. Es importante que por parte de los restaurantes se genere un compromiso de responsabilidad ambiental, para que se haga una separación en la fuente, como en el cuadro 2.

**Cuadro 2.** Código de colores para residuos sólidos.

| Residuos         | color recomendado |
|------------------|-------------------|
| aprovechables    | Blanco            |
| no aprovechables | Negro             |
| orgánicos        | verde             |

Modificado por el autor del INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN: Gestión ambiental: Residuos sólidos Guía para la separación en la fuente. Bogotá D.C. ICONTEC 2009

**4.1.2. Recolección de los residuos.** Para realizar este proceso se recolectarán todos los residuos orgánicos generados, se realizan viajes todos los días con una volqueta de 5 toneladas como la mostrada en la imagen 18, ya que este vehículo es de un modelo del año 2008 con 20.000 kilómetros de uso lo que indica que logra funcionar como medio de recolección por el primer año de funcionamiento, además al tener el sistema de descarga hidráulico del material fue la escogida para este proceso. Usando este vehículo solo recolecta los residuos orgánicos producidos en la cocina de los restaurantes, para su posterior transporte, aprovechamiento, tratamiento o disposición final; garantizando la calidad de los residuos aprovechables. Esto se realizará con un conductor y un operario.

**Imagen 18.** Volqueta Kodiak de 5 toneladas.



**Fuente.** Mercadolibre Colombia. [Consultado el 15, junio, 2020]. Disponible en: [https://vehiculo.mercadolibre.com.co/MCO-573318916-volquetas-chevrolet-kodiak-7200cc-\\_JM#position=9&type=item&tracking\\_id=85fa25d2-f275-48ef-bba5-d4dd500d64c9](https://vehiculo.mercadolibre.com.co/MCO-573318916-volquetas-chevrolet-kodiak-7200cc-_JM#position=9&type=item&tracking_id=85fa25d2-f275-48ef-bba5-d4dd500d64c9)

## **4.2. DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA**

Esta planta estará dividida por áreas las cuales juegan un papel importante en el proceso y son independientes, como son el material de ingreso aproximado: 4,3 Ton/día de recolección, configuración espacial con el método de vermicompostera en lechos, tipo de oxigenación con volteo por la lombriz, densidad del material orgánico de 0.94 Ton/m<sup>3</sup>.

**4.2.1. Recepción de materia orgánica y materias primas.** Esta área estará funcionando por 1 operario que está encargado de la recepción del material orgánico. Y de la selección de residuos orgánicos del resto de residuos que puedan llegar al proceso.

Al inicio del proceso se debe realizar la separación y selección del material aprovechable por la lombriz para luego un operario pasarlo a una trituradora como se ve en la imagen 19, la cual pica el material orgánico y lo disminuye a un promedio de 15 mm de diámetro. Y con la producción máxima de 1500 kg/hora que es superior a la que la planta necesita evitando el estancamiento del proceso. Este modelo ofrece un motor diésel de 10 HP el cual al tener esta tecnología logra tener la fuerza para triturar los residuos más rígidos. Esta posee 4 cuchillas móviles y una fija y un RPM en el volante de 2500. Esto con el fin de disminuir tamaño de partícula y homogeneizar para facilitar los volteos.

**Imagen 19.** Trituradora Pp600 de Penagos & Cía. S.A.S.



**Fuente.** MercadoLibre Colombia. [Consultado el 15, junio, 2020]. Disponible en: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-454313492-picapasto-penagos-pp600-hidroherramientas-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-454313492-picapasto-penagos-pp600-hidroherramientas-_JM)

Luego de una disminución de partícula generada por la trituradora se hace un proceso de pesado. De la trituradora pasan a la balanza mostrada en la imagen 20, La cual es una balanza de bajo perfil, esta báscula tiene excelente terminado ya que es en pintura horneable, tiene Puerto RS-232 comunicación a PC para realizar controles de material orgánico procesado al inicio del proceso, esta tiene también una carcasa metálica dando mayor tiempo de vida útil, por último, tiene soporte para fijar a la pared facilitando el pesado y el transporte con el minicargador.

**Imagen 20.** Báscula Bajo Perfil en Alfajor Ref. Bp



**Fuente.** BBG Báscula Bajo Perfil en Alfajor ref. BP. [Consultado el 15, junio, 2020].  
Disponible en:  
<https://www.basculasymaquinariadealimentos.com/basculas/vp189/sp/bacula-bajo-perfil-en-alfajor#ancla>

Un trabajador será el encargado del transporte con un mini cargador case como el mostrado en la imagen 21. Este minicargador Bobcat es Modelo 2014, con tan solo 1100 Horas y así lograr un funcionamiento óptimo. Cuenta con un motor Bobcat 2.4L que es de bajo consumo, las cuatro ruedas le permiten alcanzar una velocidad máxima de 12,5mph, tiene una capacidad de operación nominal de carga de 911 Kg. Con estas especificaciones se traslada el material para el área de vermicompostaje.

**Imagen 21.** Mini cargador Case 40xt Año 2003.



**Fuente.** MercadoLibre Colombia. [Consultado el 15, junio, 2020]. Disponible en: [https://vehiculo.mercadolibre.com.co/MCO-569495679-minicargador-case-40xt-ano-2014-\\_JM#position=2&type=item&tracking\\_id=8c224ce8-f5df-4c38-b065-cc6e91503994](https://vehiculo.mercadolibre.com.co/MCO-569495679-minicargador-case-40xt-ano-2014-_JM#position=2&type=item&tracking_id=8c224ce8-f5df-4c38-b065-cc6e91503994)

**4.2.2. Preparación de la materia orgánica y producción de vermicompostaje.**  
Esta área es la encargada de la medición de los pesos de materia orgánica y

lombriz. Para realizar un balance de materia inicial y agregar la cantidad de insumos correspondiente, esta área estará funcionando por un ingeniero químico el cual lleva una parte fundamental del proceso, ya que es el encargado de seleccionar de manera rigurosa los parámetros óptimos y establecerlos para el correcto desarrollo del proceso orgánico.

El estudio técnico se realizó por medio de revisión bibliográfica, a través de páginas webs y documentos con desarrollos de planta a escala piloto, con lo que se logró caracterizar una de las técnicas más usada que es el método de vermicompost en lechos, de acuerdo con MMAyA<sup>108</sup> Estos son construidos en ladrillo, madera y cemento. Y tienen dimensiones estándar para así lograr un control de proceso efectivo. Los lechos deben tener una profundidad máxima de 0,5 m, un ancho de máximo 1 m para el mantenimiento según lo mostrado en la imagen 22, operación de la planta, y así evitar que ocurran condiciones anaeróbicas. el largo de los lechos es técnicamente sin importancia. donde se descargan algunas toneladas de residuos orgánicos diariamente, se recomienda seleccionar el largo de los lechos de tal manera que cada lecho contenga el volumen de los residuos orgánicos que se produce diariamente.

Para el MMAyA<sup>109</sup> la preparación de las camas son de especial importancia para el proceso. por lo que se debe colocar un colchón con paja o pasto en toda el área de lombricultura, este colchón sirve como refugio de la lombriz, en el caso de sufrir cambios medioambientales en su medio de crianza. De esta forma se logra una temperatura óptima de 20° - 25° C. Este procedimiento se sigue cuando la materia orgánica a procesar no está convenientemente degradada. Como se puede cargar residuos hasta 50 cm arriba del lecho, para una producción diaria de 4,3 toneladas de desechos biodegradables, el cálculo del volumen del lecho sería el siguiente: Para la estimación del volumen se estudiaron distintos largos del lecho 7, 8, 10,5 metros que cubren el volumen total. Por lo tanto, el volumen del lecho es el siguiente:

- Ancho del lecho = 1 m (fijo)
- Profundidad del lecho = 0.5 m (fijo)
- Largo del lecho = 10,5 m

$$\text{volumen del lecho} = 10,5m \times 1m \times 0,5m = 5,25 \text{ m}^3$$

$$\text{volumen de poda} = 10,5m \times 1m \times 0,05m = 0,525m^3$$

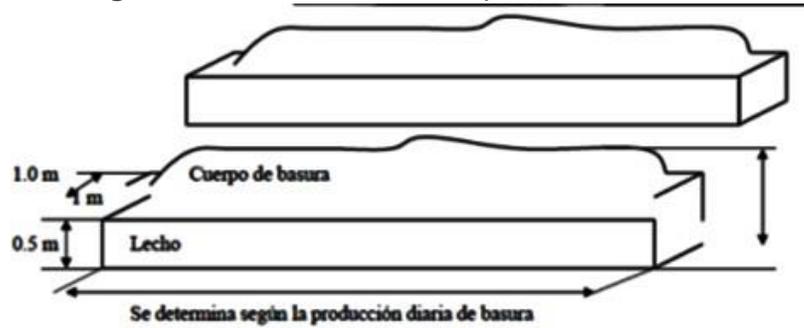
$$\text{volumen final del lecho} = 5,25m^3 + 0,525m^3 = 5,775 \text{ m}^3$$

---

<sup>108</sup> MMAyA, Op. cit. 121 p.

<sup>109</sup> Ibíd., p. 119.

**Imagen 22.** Diseño de un Lecho para lombricultura.



**Fuente:** MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA – MMAyA. Guía para el Aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos Mediante Compostaje y Lombricultura. [Sitio Web]. LaPaz.bo. Sec. Biblioteca. p. 121. [Consultado 2, marzo, 2020]. Archivo en PDF. Disponible en: <https://redcompostaje.mmaya.gob.bo/index.php/biblioteca/guias>.

Estos lechos se diseñan según el MMAyA<sup>110</sup> para contener la cantidad de residuos que se produce de 4,3 Ton/día, y no debe ser más grande para asegurar un proceso de pre-fermentación homogéneo.

Calculo de la unidad de lechos de vermicompostaje  $U_L$ : Con la medida del área y el volumen de la cantidad de material a tratar, que se calcula con la cantidad de toneladas por día según el PGIRS y la densidad de los residuos se calcula así la longitud de la ( $U_L$ ) y el volumen ocupado por el volumen de materia orgánica ( $V_{M.O.}$ ).

$$V_{M.O.} = 4,3 \text{ Ton} / 0,94 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} = 4,57 \text{ m}^3$$

$$U_L = V_{M.O.} / V_l = 4,57 \text{ m}^3 / 4,725 \text{ m}^3 = 0,98$$

- Número de unidades por ciclo productivo: 15
- Cada  $U_L$  ocupa un área de:  $10,5\text{m} \times 1\text{m} = 10,5\text{m}^2$
- Entre cada lecho debe existir una distancia de mínimo 1 m para transporte y toma de mediciones.

La cantidad de lechos debe ser suficiente para asegurar que se quede el material durante al menos 3 - 4 meses. Para un desagüe fácil de las aguas lixiviadas, se debe construir el lecho con una inclinación de 1 - 2 % y un orificio de desagüe. A continuación, se describe de manera detallada en la tabla 5 de la cantidad en peso de la materia orgánica con respecto al peso de lombriz y el volumen ocupado en un lecho a través del tiempo de alimentación de 3 meses.

<sup>110</sup> Ibid., p. 122.

**Tabla 5. Cantidad de lechos por periodo de alimentación.**

| quincena | cantidad de lombrices (Ton) | cantidad de material organico (Ton) | cantidad de vermicompost (Ton) | volumen de materia orgánica (m3) | volumen de lombriz (m3) | volumen de vermicompost (m3) | volumen total (m <sup>3</sup> ) | numero de lechos |
|----------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------|
| 0        | 0,29                        | 4,30                                | 0,00                           | 4,57                             | 0,06                    | 0,000                        | 4,63                            | 0,98             |
| 1        | 0,29                        | 4,30                                | 2,58                           | 4,57                             | 0,06                    | 0,004                        | 4,64                            | 0,98             |
| 2        | 0,29                        | 4,30                                | 5,16                           | 4,57                             | 0,06                    | 0,007                        | 4,64                            | 0,98             |
| 3        | 0,29                        | 4,30                                | 7,74                           | 4,57                             | 0,06                    | 0,011                        | 4,64                            | 0,98             |
| 4        | 0,29                        | 4,30                                | 10,32                          | 4,57                             | 0,06                    | 0,015                        | 4,65                            | 0,98             |
| 5        | 0,29                        | 4,30                                | 12,90                          | 4,57                             | 0,06                    | 0,018                        | 4,65                            | 0,98             |
| 6        | 0,29                        | 4,30                                | 15,48                          | 4,57                             | 0,06                    | 0,022                        | 4,65                            | 0,98             |
| TOTAL    | 0,29                        | 30,10                               | 15,48                          |                                  |                         | 0,08                         |                                 |                  |

Fuente. Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 5 el número de lechos en cada quincena, ósea en cada alimentación de los 3 meses de producción es de 0,9802. Dándonos como resultado 1 lecho por cada quince días de alimentación. Por lo que la planta se alimenta diariamente, se deben tener en cuenta las siguientes condiciones.

- El tiempo aproximado para llegar a la maduración de cada lecho se estima en 3 meses.
- Área de los lechos en 90 días ( $A_L$ ):

$$A_L = \text{numero de lechos en 90 dias} * \text{area de una pila} = 15 * 10,5m^2 = 157,5m^2$$

- Área de espaciado ( $A_E$ ):

$$A_E = \text{No. De lechos} + 1 * \text{espacio(m)} * \text{Longitud } U_L = (15 + 1) * 1m * 10,5m = 168m^2$$

Áreas alternas ( $A_a$ ): Se tiene en cuenta el área de materias primas y el área de caracterización de vermicompost la cual se menciona más adelante.

$$A_a = \text{Largo estimado} * \text{Ancho del vermicompost} = 4,41 * 31m = 19,5m^2$$

Área total: En esta área se tiene en cuenta áreas de servicios, de almacenamiento, de maquinaria, y zonas comunes.

$$AreaT = A_L + A_E + A_a = 345 m^2$$

Para una separación de vermicompost y material biológico, se usará el método de malla ya descrito anteriormente. Se debe garantizar la correcta separación y

aislamiento del vermicompost que se va produciendo de cada periodo de alimentación, para así lograr la fermentación de cada periodo de alimentación. Se usarán tres palas como en la imagen 23, ya que es una pala redonda con mango largo para su agarre y así lograr una extracción de vermicompost y el empaque en sacos.

**Imagen 23.** Pala Redonda Mango Largo # 4 Truper.



Fuente. Mercadolibre Colombia. [Consultado el 15, junio, 2020]. Disponible en: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-504267523-pala-redonda-mango-largo-4-truper-JM?quantity=1#position=12&type=item&tracking\\_id=d5888297-ec27-4f2d-a4cb-723a3c118598](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-504267523-pala-redonda-mango-largo-4-truper-JM?quantity=1#position=12&type=item&tracking_id=d5888297-ec27-4f2d-a4cb-723a3c118598)

### **4.3. CONTROL DEL PROCESO**

Esto es de principal importancia en el desarrollo del proceso de vermicompostaje para lograr un desarrollo óptimo de la lombriz como de la obtención de un abono orgánico de alta calidad.

**4.3.1. Humedad.** Para un óptimo proceso de degradación este porcentaje debe estar entre 40% y el 60%. Si hay humedad debajo del 40%, se debe adicionar agua. Esto se realizará con una manguera en PVC como en la imagen 24, la cual es de ½” pulgada de calibre 30 que viene reforzada, además integra accesorios para el fácil funcionamiento de la misma y con una longitud de 50 metros para lograr llegar hasta el último lecho y controlar la humedad en toda el área de vermicompost. Para el control dentro del lecho exacto se utilizará un Termómetro Higrómetro como el mostrado en la imagen 25, esta herramienta digital Industrial

cuenta con garantía de 12 meses. con tiempo de respuesta de humedad en 60s, modo de mínimo y máximo (MAX/MIN), ambiente de operación: 0° C ~ 50° C, humedad relativa <80% sin condensación. Con fuente de alimentación: 4 pilas de 1,5 V AAA (R03 UM-4) con una duración de la batería: aprox. 200 horas (carbón de zinc). creado para el monitoreo de temperatura y humedad ambiente. Cuenta con un sensor incorporado, para la lectura máxima y mínima, con indicación de las condiciones medioambientales, bulbo húmedo, punto de rocío, memoria interna de 256 datos con precisión básica  $\pm 0.1\%$  temperatura + 1°C y humedad de  $\pm 2,5\%$ .

**imagen 24.** Manguera PVC Riego Jardín 50 Metros Accesorios Instalados.



Fuente. Mercadolibre Colombia. [Consultado el 15, junio, 2020]. Disponible en: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-553385899-manguera-pvc-riego-jardin-50-metros-accesorios-instalados-\\_JM?quantity=1#position=5&type=item&tracking\\_id=afd372c6-cf49-43d7-b702-b78e20dbf2b7](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-553385899-manguera-pvc-riego-jardin-50-metros-accesorios-instalados-_JM?quantity=1#position=5&type=item&tracking_id=afd372c6-cf49-43d7-b702-b78e20dbf2b7)

**Imagen 25.** Termómetro Higrómetro Industrial 1000°c Minipa Mth-1362



**Fuente.** Mercadolibre Colombia. [Consultado el 15, junio, 2020]. Disponible en: <https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-531718680-termometro-higrometro-industrial->

1000c-minipa-mth-1362-\_JM?quantity=1#position=1&type=item&tracking\_id=5d38f814-5ff7-4605-b097-8fd2a2e1589d

**4.3.2. Temperatura.** La temperatura del sustrato debe ser vigilada de manera constante, ya que debe permanecer en un rango de 3-35° C para asegurar la supervivencia de la lombriz. Esto se realizará con un Termómetro Higrómetro como el ya mostrado en la imagen 25, este se debe utilizar en campo que la medición sea rígida y llegar al centro del lecho sin problema, también debe aceptar humedad y material orgánico en el capilar, por lo que es un Termómetro adecuado para esta medición, para controlar las condiciones apropiadas para el proceso de vermicompost.

**4.3.3. pH.** Este factor es determinante, puede tener diferentes valores entre 4,5 y 8, con esto se asegura la conservación de la lombriz. Para medir el pH se puede utilizar un medidor de PH metro digital como en la imagen 26, este equipo tiene un medidor LCD acidímetro recargable acuario, agua potable, Analizador de pH electrodo para el experimento de la industria, es recargable. Además, cuenta con electrodo reemplazable. Es simple para operar, fuerte y resistente al uso, con rango: pH 0.00 ~ 14.00, el pH es determinante, puede tener diferentes valores, pero al final debe tender a neutro. Para medir el pH en campo.

**Imagen 26.** PH Metro Digital Con Sobres Estándares Para Calibración.



**Fuente.** Mercadolibre Colombia. [Consultado el 15, junio, 2020]. Disponible en: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-485009481-phmetro-digital-con-sobres-estandares-para-calibracion-\\_JM?quantity=1#position=6&type=item&tracking\\_id=edfecea2-a3e1-44b3-aa93-084d5ac45439](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-485009481-phmetro-digital-con-sobres-estandares-para-calibracion-_JM?quantity=1#position=6&type=item&tracking_id=edfecea2-a3e1-44b3-aa93-084d5ac45439)

#### 4.4. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL COMPOST

Esta área tendrá 2 secciones importantes que serán el análisis del humus de lombriz, y de los lixiviados obtenidos las cuales serán operadas por un operario para cada sección. Equipos de laboratorio y del proceso ya que para el vermicompost final debe ser cernido con una zaranda, la cual debe poseer una malla que garantice que el material quede libre de huevos u otras lombrices que no hayan sido retiradas, es decir de 2-3 mm. Después del cernido, el humus se empaca en bolsas de lona del peso deseado que se sellan con una máquina como en la imagen 27, este equipo para coser sacos muchos tipos de Bolsas y Sacos, y en diferentes materiales como: Papel, Yute, PVC, Polipropileno, es de fácil uso incluso para personas que no tienen experiencia, cuenta con motor de 11.000 rpm con un voltaje de 110V AC, manera en la cual el humus está listo para el proceso de almacenamiento y venta. Para movilizar los bultos y el vermicompost en bajas cantidades se realizará con una carretilla manual como en la imagen 28. La cual cuenta con llanta anti pinchazo y rin de lámina de acero para trabajos pesados, viene con cuñas plásticas que alargan la vida útil del producto, además tiene patas con platina soldadas que refuerzan la estructura de la carretilla y la hacen más resistente a la carga, tiene un peso de aguante de 150 kilos.

**Imagen 27.** Cosedora Cerradora Selladora De Sacos Costales Industrial.



**Fuente.** Mercadolibre Colombia. [Consultado el 15, junio, 2020]. Disponible en: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-570045800-cosedora-cerradora-selladora-de-sacos-costales-industrial-\\_JM?quantity=1#position=1&type=item&tracking\\_id=dfec8ccb-945c-4bca-a845-1ba213dd006d](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-570045800-cosedora-cerradora-selladora-de-sacos-costales-industrial-_JM?quantity=1#position=1&type=item&tracking_id=dfec8ccb-945c-4bca-a845-1ba213dd006d)

**Imagen 28.** Carretilla Platón Metálico, Llanta Anti Pinchazo.



**Fuente.** Mercadolibre Colombia. [Consultado el 15, junio, 2020]. Disponible en:  
[https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-558522663-carretilla-platon-metalico-llanta-antipinchazo-bellota-\\_JM#position=4&type=item&tracking\\_id=2ba8afe8-7958-4f3d-90bd-3b43cde3bf03](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-558522663-carretilla-platon-metalico-llanta-antipinchazo-bellota-_JM#position=4&type=item&tracking_id=2ba8afe8-7958-4f3d-90bd-3b43cde3bf03)

## 5. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Este capítulo se realiza con el fin de estudiar el análisis de costos requeridos para la implementación y desarrollo del proceso de vermicompostaje, en una planta piloto de 4,3 Ton/día de alimentación. En esta se realiza una producción de 15,48 Ton/mes es decir 0,516 Ton/día de vermicompost. De esta cantidad serán empacadas en cantidades de 5 Kg, 10 Kg, 50 Kg, y 100 Kg.

Inicialmente es necesario tener en cuenta que el proyecto se empezara de cero por lo que se debe realizar una inversión inicial elevada con respecto a los costos de producción y esto se debe a, la adecuación del terreno, mano de obra, capital de trabajo y equipos.

### 5.1. INVERSIÓN

**5.1.1. Costos de adquisición y adecuación del terreno.** Para el proyecto se debe arrendar un terreno en el cual se pueda construir y de bajo precio por metro cuadrado ya que se necesita un área amplia para el proceso del vermicompost. Además, con posibilidad de ampliación, por el rápido crecimiento de la lombriz y su alimentación de gran cantidad de materia orgánica. Para ello se busca en Fincaraíz<sup>111</sup> y se observa que el área donde el precio del arriendo por metro cuadrado es en el área sur que está entre (\$5.666-\$20.555) por m<sup>2</sup>, sacando un promedio se toma un valor de \$13.110 por m<sup>2</sup>. Lo que nos indica que el precio del terreno que está cerca de 460 m<sup>2</sup>, tendría un precio de \$6'030.600 pesos mensual dando un valor de \$72'367.200 pesos al año.

Para el proyecto de vermicompost se debe proteger el suelo y adecuar los espacios. por esto es necesario cementar el terreno, construcción estructural, techar, instalación de servicios industriales. Con el fin de la instalación de los lechos de vermicompostaje. Especificado en la tabla 6, con esto se realiza un

---

<sup>111</sup> FINCARAÍZ. Valor del metro cuadrado de arriendo en Bogotá. [en línea]. p 14 [Consultado el 3 de agosto de 2020]. Archive en pdf Disponible en: [https://www.fincaraiz.com.co/Valor-Metro\\_Cuadrado-en-Bogota.pdf](https://www.fincaraiz.com.co/Valor-Metro_Cuadrado-en-Bogota.pdf)

correcto control de parámetros para el proceso. así evitando exceso de humedad y plagas.

**Tabla 6.** Adecuación del terreno.

| CONCEPTO  | ÁREA (m2) | COSTO UNITARIO | CANTIDAD     | PRECIO COP           |
|---|-----------|----------------|--------------|----------------------|
| Triplex M. Pino 15 mm 1.22X2.44 Mts. BC<br>(Lechos) | 345       | \$ 99.900      | 130          | \$ 12.987.000        |
| Polisombra negra 1 x 4 metros r-1000 m2             | 345       | \$ 6.400       | 40           | \$ 256.000           |
| Adecuación de planta                                | -         | \$ 5.000.000   | 1            | \$ 5.000.000         |
|   |           |                | <b>TOTAL</b> | <b>\$ 18.243.000</b> |

Fuente. Elaboración propia.

**5.1.2. Equipos.** Se tiene en cuenta los principales equipos que hacen funcionar la planta adecuadamente como son:

**Tabla 7.** Equipos necesarios para el proyecto de vermicompostaje.

| EQUIPO   | CANTIDAD | PRECIO COP            |
|--|----------|-----------------------|
| Trituradora Pp600 de Penagos & Cia. S.A.S.                 | 1        | \$ 3.700.000          |
| Carretilla Platón Metálico, Llanta Anti pinchazo           | 2        | \$ 169.900            |
| Manguera Pvc Riego Jardin 50 Metros                        | 1        | \$ 68.000             |
| Accesorios Instalados.                                     |          |                       |
| Pala Redonda Mango Largo # 4 Truper.                       | 3        | \$ 23.300             |
| Cosedora Cerradora Selladora De Sacos                      | 1        | \$ 499.800            |
| Costales Industrial  |          |                       |
| Termómetro Higrómetro Industrial 1000°C Minipa<br>Mth-1362 | 1        | \$ 265.900            |
| Báscula Bajo Perfil en Alfajor ref BP 5 Ton                | 2        | \$ 2.768.000          |
| Volqueta kodiak de 5 toneladas.                            | 1        | \$ 80.000.000         |
| Minicargador Case 40xt Año 2014                            | 1        | \$ 46.000.000         |
| <b>TOTAL</b>   |          | <b>\$ 133.494.900</b> |

Fuente. Elaboración propia.

**5.1.3. Insumos.** Los insumos para el proceso son la lombriz roja californiana, sacos para empaque del producto y restos de poda, aunque este último no tiene costo puesto que puede provenir de la poda municipal. A continuación, se muestra los costos de los insumos en la tabla 8.

**Tabla 8.** Insumos para el proyecto de vermicompostaje.

| <b>INSUMO</b>                   | <b>COSTO UNITARIO</b> | <b>CANTIDAD</b> | <b>PRECIO COP</b>    |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------|----------------------|
| Lombriz roja californiana (Kg)  | \$ 4.990              | 4300            | \$ 21.457.000        |
| Saco de polipropileno de 5 Kg   | \$ 69                 | 180             | \$ 12.384            |
| Saco de polipropileno de 10 Kg  | \$ 138                | 90              | \$ 12.384            |
| Saco de polipropileno de 50 Kg  | \$ 688                | 36              | \$ 24.768            |
| Saco de polipropileno de 100 Kg | \$ 1.376              | 36              | \$ 49.536            |
|                                 |                       | <b>TOTAL</b>    | <b>\$ 21.556.072</b> |

Fuente. Elaboración propia.

**5.1.4. Capital de trabajo.** Con una proyección inicial de 4,3 Ton/día de los restaurantes. Es necesario contar con un estimado total de 7 personas para realizar un correcto desarrollo del proceso. De esta cantidad se distribuyen por su cargo a desempeñar, los cuales están descritos en la tabla 9.

**Tabla 9.** Capital de trabajo por áreas de vermicompostaje.

| <b>PERSONAL OPERATIVO</b> | <b>CANTIDAD</b> | <b>SUELDO POR MES</b> |
|---------------------------|-----------------|-----------------------|
| Conductor                 | 1               | \$ 980.657            |
| operarios                 | 5               | \$ 4.903.285          |
| Ingeniero Químico         | 1               | \$ 1.500.000          |
| <b>TOTAL</b>              | <b>7</b>        | <b>\$ 7.383.942</b>   |

Fuente. Elaboración propia.

Donde los costos de mano de obra se establecen dependiendo del cargo que desarrolle en el proceso. El valor de mano de obra para operarios y conductor se establece por medio del salario mínimo mensual vigente en Colombia para el año 2020, el cual con subsidio de transporte es de \$980.657 pesos mensuales. Con respecto al sueldo del ingeniero químico se establece un sueldo de \$1'500.000 pesos mensuales. La jornada laboral en la planta será de 7 am a 5 pm. Esto es de domingo a domingo. Dando como resultado una inversión de mano de obra para el primer mes de \$ 7'383.942.

En síntesis, el total de la inversión para la planta es la suma de los costos de la adquisición y adecuación del terreno, los costos de equipos y el capital de trabajo dando un total de \$ 186´708.514 para el primer mes.

## 5.2. COSTOS

**5.2.1. Costos directos de producción.** Los costos directos de producción son aquellos atribuidos dentro de la producción de vermicompost a partir de residuos orgánicos.

**Tabla 10.** Costos directos de producción.

| CONNCEPTO                       | UNIDAD | VALOR UNITARIO | PRECIO MES COP    |
|---------------------------------|--------|----------------|-------------------|
| Materia orgánica                | Kg     | -              | -                 |
| Poda                            | Kg     | -              | -                 |
| Agua                            | m3     | \$ 2.610       | \$ 328.860        |
| Energía eléctrica               | KW/h   | \$ 179         | \$ 128.671        |
| Laboratorios                    | -      | \$ 280.000     | \$ 280.000        |
| Saco de polipropileno de 5 Kg   | Kg     | \$ 69          | \$ 12.384         |
| Saco de polipropileno de 10 Kg  | Kg     | \$ 138         | \$ 12.384         |
| Saco de polipropileno de 50 Kg  | Kg     | \$ 688         | \$ 24.768         |
| Saco de polipropileno de 100 Kg | Kg     | \$ 1.376       | \$ 49.536         |
|                                 |        | <b>TOTAL</b>   | <b>\$ 836.603</b> |

**Fuente.** Elaboración propia.

**5.2.2. Mano de obra.** Se necesita un personal aproximado de 7 personas para el funcionamiento óptimo del proceso. Basados en La República<sup>112</sup> un empleado con un salario mínimo vale a la empresa \$1,479.684 cada mes. Lo que se establece cuanto sale al año la mano de obra de operarios y su equivalente para el ingeniero químico. En la tabla 11. se detalla el valor mensual.

<sup>112</sup> LA REPUBLICA. Un empleado de salario mínimo vale \$1,479.684 para su empresa cada mes. [en línea]. p 14 [Consultado el 7 de agosto de 2020]. Archive en pdf Disponible en: <https://www.larepublica.co/economia/un-empleado-de-salario-minimo-vale-1479684-para-su-empresa-cada-mes-2947773>

**Tabla 11.** Costo de mano de obra mensual.

| <b>CARGO</b>          | <b>PORCENTAJE</b> | <b>OPERARIO</b>     | <b>INGENIERO</b>    |
|-----------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| CANTIDAD              | -                 | 6                   | 1                   |
| SALARIO               | -                 | \$ 1.088.476        | \$ 1.860.000        |
| AUXILIO DE TRANSPORTE | -                 | \$ 102.854          | -                   |
| VACACIONES PRIMA      | 4,17%             | \$ 45.389           | \$ 77.562           |
| CESANTIAS             | 8,33%             | \$ 90.670           | \$ 154.938          |
| INTERES DE CESANTIAS  | 1%                | \$ 10.885           | \$ 18.600           |
| COTIZACION DE SALUD   | -                 | \$ 74.613           | \$ 74.613           |
| ARL                   | 0,52%             | \$ 5.660            | \$ 9.672            |
| PARAFISCALES          | -                 | \$ 79.002           | \$ 79.002           |
| DOTACION              | 5%                | \$ 54.424           | \$ 93.000           |
| <b>TOTAL MES</b>      |                   | <b>\$ 9.311.837</b> | <b>\$ 2.367.387</b> |

Fuente. Elaboración propia.

El costo total de mano de obra utilizada en un mes es de \$11'679.224, en año será de \$140 150.688 pesos colombianos.

para la realización de una planta piloto de 4,3 Ton/día y la producción durante un año. esta tiene una inversión de \$ 186'708.514 millones de pesos colombianos. unos costos por mano de obra de \$128 471.464 millones de pesos colombianos. Y unos costos directos de \$10'039.236 millones de pesos colombianos.

Para finalizar en total, los costos para la puesta en marcha de la planta piloto durante el primer año son de \$325'219.214 millones de pesos colombianos. Este valor es relativamente bajo para la producción de un año. Ahora bien, para la realización de una planta de vermicompostaje por su baja tecnificación y ejecución del proceso el mayor costo es la inversión inicial, debido a que el proceso de vermicompostaje tiene costos bajos como lo son el mantenimiento de las condiciones para la supervivencia de la lombriz puesto que esta es quien se encarga del compostaje. En consecuencia, se habla del progreso de una tecnología que a un plazo de 3 meses se obtendrían ingresos ya sea por el vermicompost, la venta de lombriz, la venta de humus líquido o lixiviado. Por lo tanto, el llevar a cabo un proyecto de este talante adicional a dejar un recurso económico a corto, mediano y largo plazo también es beneficioso para el medio ambiente.

## 6. CONCLUSIONES

- En la investigación se logró evidenciar que la identificación y análisis de las características fisicoquímicas de los residuos sólidos orgánicos, tienen resultados similares como la relación de C/N, que en promedio están en 21 demostrando que esta materia prima es de fácil degradación, además por la gran cantidad de frutas dentro de este residuo la humedad también con promedio de 70%. Estos valores obtenidos se mantuvieron en los rangos de C/N y humedad para un proceso de vermicompostaje.
- El vermicompostaje resulta ser una muy buena tecnología para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, ya que logra aprovechar un gran porcentaje de residuos orgánicos generados por los restaurantes, usando la primera pérdida de estos como lo es la merma y dándole un valor comercial. Además, el vermicompostaje toma valores adicionales como tiempos de descomposición más cortos y la obtención de un abono más estable con mayor calidad a comparación del compostaje.
- Se desarrolló el estudio del proceso de vermicompostaje a nivel de laboratorio, realizando el seguimiento de la alimentación y de las variables de proceso como temperatura, pH, y humedad. El producto que se obtiene cumple con la mayoría de los parámetros físico-químicos exigidos por la NTC 5167 para abonos orgánicos sólidos. para lograr un cumplimiento más efectivo de la norma se deben agregar sustratos con diferentes características químicas para aumentar la calidad del vermicompost generado por residuos orgánicos de cocina.
- Se desarrolló un diseño conceptual para cumplir con la necesidad de 4,3 toneladas por día de producción de la merma de los residuos orgánicos, producido por los restaurantes de la localidad de Chapinero en Bogotá, Colombia. basándose en la aplicación del método de lombricario por lechos del ministerio de medio ambiente y agua. con esto permitió determinar los requerimientos técnicos del desarrollo de la propuesta a nivel piloto, obteniendo las especificaciones de áreas para el proceso y equipos necesarios para la planta. con estas especificaciones se realiza el escalamiento del proceso determinando que cada tres meses por quincena produce 30,1 toneladas de residuos orgánicos de cocina. produciendo 15,48 kg de vermicompost. dando 15 lechos de 5,25 m<sup>3</sup> cada uno, para la acumulación de residuos y fermentación de este con lombrices.
- Se realizó un análisis estimando los costos de inversión mano de obra y costos directos del proyecto para su funcionamiento durante un año. Los cuales fueron respectivamente. para la realización de una planta piloto de 4,3 Ton/día y la producción durante un año. esta tiene una inversión de \$ 186´708.514 millones de pesos colombianos. unos costos por mano de obra de \$128 471.464 millones de pesos colombianos. Y unos costos directos de \$10´039.236 millones de pesos colombianos. En total, los costos para la puesta en marcha de la planta piloto durante el primer año son \$325´219.214 millones de pesos colombianos.

## 7. RECOMENDACIONES.

- Se recomienda realizar un estudio para el tratamiento de los lixiviados producidos en el proceso, ya que este tiene un valor comercial alto y con grandes beneficios como compuesto integral productivo que mejora las propiedades, nutricionales del suelo y actúa como repelente de insectos y plagas en la planta, enriquece y favorece la absorción, asimilación de diferentes macronutrientes y minerales presentes en el suelo para mejorar el desarrollo vegetativo y productivo en la planta.
- Se recomienda realizar un análisis microbiológico y granulométrico al final del proceso para garantizar la inexistencia de microorganismos patógenos que afecte la calidad del abono y un tamaño adecuado para la aplicación para en los cultivos. - Evaluar la calidad agronómica del producto obtenido sobre los cultivos que se dan en la región.
- Evaluar la proporción de residuos orgánicos de diferentes fuentes como el estiércol, gallinaza, residuos de poda, que aumente el contenido de nutrientes como fósforo y potasio, para mejorar la calidad del vermicompost final.
- Se recomienda la educación y culturización de los restaurantes para lograr una buena separación de los residuos orgánicos en esta fuente. Y así lograr una optimización de tiempo y de recursos para el aprovechamiento de estos residuos y una disminuir el impacto ambiental que generan. Es totalmente necesario realizar campañas de educación ambiental, en cuanto a reciclaje y separación en fuente, en la localidad de Chapinero, Bogotá; para así facilitar el manejo y disposición de los residuos.
- Teniendo en cuenta el tiempo para el desarrollo del abono, y los parámetros fundamentales para el óptimo desarrollo de la lombriz. Se puede realizar un estudio detallado y monitoreo de las variables como humedad, temperatura, pH, y así conseguir la forma de mantener las condiciones óptimas para que el proceso logre obtener el máximo contenido de vermicompost y de lombriz.
- Evaluar la calidad y los beneficios del abono orgánico y del lixiviado obtenido sobre cultivos en huertas y jardines.
- Realizar un análisis financiero y de mercado para el abono orgánico, la lombriz y del lixiviado obtenido de una propuesta realizada industrialmente, en donde se tengan en cuenta parámetros como la variación en la población de la lombriz.

## BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA DE DESARROLLO ECONÓMICO Y COMERCIO EXTERIOR MUNICIPIO CAPITAL DE LA RIOJA. Guía de lombricultura. [en línea]. p 57 [Consultado el 20 de julio de 2020]. Archivo en pdf Disponible en: <https://www.biblioteca.org.ar/libros/88761.pdf>

ALBA MUÑOZ, Lina María. Propuesta de aprovechamiento integral de los residuos orgánicos provenientes del conjunto residencial la Colina. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá D.C.: Universidad de América. Facultad de Ingeniería Química, 2020. 88 p.

ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL – ACODAL. Manual de Compostaje. Manual de Aprovechamiento de Residuos Orgánicos a través de Sistemas de Compostaje y Lombricultura en el Valle de Aburra. [Sitio Web]. Colombia. p. 88. [Consultado 25, marzo, 2020]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://www.earthgreen.com.co/descargas/manual-compostaje.pdf>

BENÍTEZ E, SAINZ H, MELGAR R and NOGALES R. Vermicomposting of a lignocellulosic waste from olive oil industry: A pilot scale study. [en línea]. p 10. [Consultado el 20 de julio de 2020]. Archivo en pdf Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/11315079\\_Vermicomposting\\_of\\_a\\_lignocellulosic\\_waste\\_from\\_olive\\_oil\\_industry\\_A\\_pilot\\_scale\\_study](https://www.researchgate.net/publication/11315079_Vermicomposting_of_a_lignocellulosic_waste_from_olive_oil_industry_A_pilot_scale_study)

CAMILETTI MORALES, Justin. Estudio del vermicompostaje de compost de residuos orgánicos de distinta naturaleza. Trabajo de fin de máster. Máster universitario oficial en ingeniería agronómica. Alicante. España. universidad miguel Hernández de elche máster. [en línea]. p 60. [Consultado el 20 de julio de 2020]. Archivo en pdf Disponible en: <https://dspace.umh.es/bitstream/11000/2820/1/TFM%20Camiletti%20Morales%20Justin.pdf>.

CARDONA ALZATE Carlos, SÁNCHEZ TORO Oscar, RAMIREZ ARANGO Julián, ALZATE RAMIREZ Luis. Biodegradación de residuos orgánicos de plazas de

mercado. REVISTA COLOMBIANA DE BIOTECNOLOGÍA VOL.VI No. 2 diciembre. 2004 78-89. p 60. [Consultado el 20 de julio de 2020]. Archivo en Word. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/529>

CASTILLO, Alicia, QUARÍN, Silvio e IGLESIAS María. Caracterización química y física de compost de lombrices elaborados a partir de residuos orgánicos puros y combinados. [en línea]. p 5. [Consultado el 20 de julio de 2020]. Archivo en pdf Disponible en: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0365-28072000000100008](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072000000100008).

CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA. Manual de compostaje para Agricultura Ecológica. [Sitio Web]. España. p. 49. [Consultado 25, julio, 2020]. Archivo en PDF. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/311789650\\_Manual\\_de\\_compostaje\\_para\\_Agricultura\\_Ecologica](https://www.researchgate.net/publication/311789650_Manual_de_compostaje_para_Agricultura_Ecologica).

CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRENO. Manual de Compostaje. [Sitio Web]. España. p. 24. [Consultado 25, julio, 2020]. Archivo en PDF. Disponible en: [http://www.madrid.org/cs/BlobServer?blobkey=id&blobwhere=1202767672745&blobheader=application/pdf&blobheadername1=Content-Disposition&blobheadervalue1=filename=MANUAL\\_COMPOST\\_ADT\\_2008.pdf&blobcol=urldata&blobtable=MungoBlobs](http://www.madrid.org/cs/BlobServer?blobkey=id&blobwhere=1202767672745&blobheader=application/pdf&blobheadername1=Content-Disposition&blobheadervalue1=filename=MANUAL_COMPOST_ADT_2008.pdf&blobcol=urldata&blobtable=MungoBlobs).

CONCEJO DE BOGOTÁ. Las 6.000 toneladas de basura que llegan a Doña Juana es responsabilidad de TODOS. [en línea] (consultado 10 septiembre de 2019) disponible en <http://concejodebogota.gov.co/las-6-000-toneladas-de-basura-que-llegan-a-dona-juana-es-responsabilidad/cbogota/2019-04-02/131450.php>

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. manual de análisis de suelos y tejido vegetal. Una guía teórica y práctica de metodologías. [en línea]. p 90 [Consultado el 29 de julio de 2020]. Archivo en pdf. Disponible en: [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos\\_Ciat/Digital/S593.M2\\_Manual\\_de\\_an%C3%A1lisis\\_de\\_suelos\\_y\\_tejido\\_vegetal\\_Una\\_gu%C3%ADa\\_te%C3%B3rica\\_y\\_pr%C3%A1ctica\\_de\\_metodologia.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/S593.M2_Manual_de_an%C3%A1lisis_de_suelos_y_tejido_vegetal_Una_gu%C3%ADa_te%C3%B3rica_y_pr%C3%A1ctica_de_metodologia.pdf)

CORREDOR ROJAS Ángela María Guía ambiental para el manejo de residuos sólidos en las bodegas de reciclaje - caso piloto Bogotá - en el marco de la gestión integral de residuos sólidos. p. 115. Universidad Libre facultad de ingeniería departamento de ingeniería ambiental Bogotá D.C. 2013

CÓRDOVA MOLINA Carolina Alejandra. Estudio de factibilidad técnico-económica para instalar una planta de compostaje, utilizando desechos vegetales urbanos. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Forestal. SANTIAGO - CHILE. 2006. P. 100.

CORNELL COMPOSTING SCIENCE & ENGINEERING. The Science and Engineering of Composting. p. 139. [Consultado 14, marzo, 2020]. Archivo en PDF. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/bf39/7ec8eb1ce106fd3b347402272691d0f5b809.pdf>.

DÍAZ BOHÓRQUEZ, Luisa Fernanda y GALLEGO ESCOBAR, Laura Alejandra. Propuesta para el manejo y disposición de los residuos sólidos generados en el municipio de Muzo, Boyacá. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá D.C.: Universidad de América. Facultad de Ingeniería Química, 2016. 255 p.

ELIOT EPSTEIN. INDUSTRIAL COMPOSTING Environmental Engineering and Facilities Management. p. 338. [Consultado 14, marzo, 2020]. Archivo en PDF. Disponible en: [http://ssu.ac.ir/cms/fileadmin/user\\_upload/Daneshkadaha/dbehdasht/markaz\\_tahghighat\\_olom\\_va\\_fanavarihayezist\\_mohiti/e\\_book/pasmand/ebooksclub.org\\_\\_Industrial\\_Composting\\_Environmental\\_Engineering\\_and\\_Facilities\\_Management.pdf](http://ssu.ac.ir/cms/fileadmin/user_upload/Daneshkadaha/dbehdasht/markaz_tahghighat_olom_va_fanavarihayezist_mohiti/e_book/pasmand/ebooksclub.org__Industrial_Composting_Environmental_Engineering_and_Facilities_Management.pdf)

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Manual de compostaje del agricultor Experiencias en América Latina. [Sitio Web]. Santiago.ch. Sec. Publicaciones. p. 112. [Consultado 16, octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://www.fao.org/publications/card/en/c/1cea1861-e379-57f9-988e-93be04982954>.

HÁBITAT BOGOTÁ. Línea base plan de gestión integral de residuos sólidos BOGOTÁ D.C, pgirs agosto 2018. [en línea] (consultado 10 septiembre de 2019) disponible en [https://www.habitatbogota.gov.co/sites/default/files/archivos-adjuntos/LINEA%20BASE%20PGIRS%20OBS%20HABITAT%203.8.2018.pdf?fbclid=IwAR3kq3cD-fkEpe9o2B9hF0AJaPILox-ZpN--RiEHSV\\_Y2LaXXqilAZoUWqs](https://www.habitatbogota.gov.co/sites/default/files/archivos-adjuntos/LINEA%20BASE%20PGIRS%20OBS%20HABITAT%203.8.2018.pdf?fbclid=IwAR3kq3cD-fkEpe9o2B9hF0AJaPILox-ZpN--RiEHSV_Y2LaXXqilAZoUWqs).

INSTITUTO DISTRITAL DE TURISMO. Estudio censo gastronómico de la localidad de Chapinero 2019. [Sitio Web]. Bogotá. Col. p. 20. [Consultado 20, junio, 2020]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/default/files/Estudio%20censo%20gastronomico%20localidad%20de%20chapinero%202019.pdf>.

LA REPÚBLICA. Hasta el 70% de los residuos sólidos del país se pueden transformar en compostaje. [en línea] (consultado 11 septiembre de 2019) disponible en <https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/hasta-70-de-los-residuos-solidos-del-pais-se-pueden-transformar-en-compostaje-2762298>.

LÍNEA BASE PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS BOGOTÁ D.C, PGIRS AGOSTO 2018. [online]. [consultado 10, septiembre. 2019].

Disponible en: [https://www.habitatbogota.gov.co/sites/default/files/archivos-adjuntos/LINEA%20BASE%20PGIRS%20OBS%20HABITAT%203.8.2018.pdf?fbclid=IwAR3kq3cD-fkEpe9o2B9hF0AJaPILOx-ZpN--RiEHSV\\_Y2LaXXqilAZoUWqs](https://www.habitatbogota.gov.co/sites/default/files/archivos-adjuntos/LINEA%20BASE%20PGIRS%20OBS%20HABITAT%203.8.2018.pdf?fbclid=IwAR3kq3cD-fkEpe9o2B9hF0AJaPILOx-ZpN--RiEHSV_Y2LaXXqilAZoUWqs)

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA – MMayA. Guía para el Aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos Mediante Compostaje y Lombricultura. [Sitio Web]. LaPaz.bo. Sec. Biblioteca. p. 50. [Consultado 16, octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <https://redcompostaje.mmaya.gob.bo/index.php/biblioteca/guias>.

NANA Mainoo, SUZELLE Barrington, JOANN K, WHALEN A. Pilot-scale vermicomposting of pineapple wastes with earthworms native to Accra, Ghana. 2009 [en línea]. p 5. [Consultado el 20 de julio de 2020]. Archivo en pdf. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852409007391>

NINCO CARDOZO, Cristhian Felipe y SÁNCHEZ GONZÁLEZ, Jennifer Johanna. Propuesta para la producción de abono orgánico mediante el compostaje de los residuos sólidos del municipio el rosal, Cundinamarca. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá D.C.: Universidad de América. Facultad de Ingeniería Química, 2017. 93 p.

OLIVARES-CAMPOS, MA, HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, A, VENCES-CONTRERAS, C, JÁQUEZ-BALDERRAMA, JL y OJEDA-BARRIOS, D. Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. [en línea]. p 8. [Consultado el 20 de julio de 2020]. Archivo en pdf Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0186-29792012000100003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792012000100003)

PÉREZ, Aridio, CÉSPEDES, Carlos, y NÚÑEZ Pedro. Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. [en línea]. p 8. [Consultado el 20 de julio de 2020]. Archivo en pdf Disponible en: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-27912008000300002](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912008000300002).

PISCO CORNELIO, César Augusto. Tratamiento de residuos orgánicos domiciliarios mediante compostaje en la planta piloto de transformación de residuos sólidos orgánicos de la municipalidad provincial de Leoncio Prado. Tingo María – Perú. 2014. P. 88. Universidad nacional agraria de la Selva. facultad de recursos naturales renovables. Departamento académico de ciencias ambientales. Práctica pre-profesional.

SÁNCHEZ BANDERA, Juan Manuel. Vermicompostaje de residuos orgánicos con lombrices del género Eisenia. caracterización del producto escuela Técnica

Superior de Ingeniería Agronómica. Trabajo final de grado: Grado en ingeniería agrícola. Universidad de Sevilla. Sevilla, enero de 2017. [en línea]. p 60. [Consultado el 20 de julio de 2020]. Archivo en pdf Disponible en: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/64332/TFG%20Juan%20Manuel%20Sanchez%20Lombricultura.pdf?sequence=7&isAllowed=y>.

SECRETARÍA DISTRITAL DE SALUD. Localidad Chapinero. [Sitio Web]. Bogotá. Col. p. 13. [Consultado 20, junio, 2020]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://www.saludcapital.gov.co/DSP/Documentos%20Vigilancia%20en%20Salud%20Pblica%20Geografica1/An%C3%A1lisis%20espacial%20por%20localidad/Atlas%20de%20Salud%20P%C3%ABblica/2016/Atlas%20Salud%20P%C3%ABblica%20Chapinero.pdf>.

SUNITHA N. Seenappa. Chemical Analyses of Vermicomposted Red Pomace Waste from a Winery. Managanahalli, Hosur Post, Bidadi Hobli, Ramanagara District, Karnataka, India. [en línea]. p 5. [Consultado el 20 de julio de 2020]. Archivo en pdf. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/221931530\\_Chemical\\_Analyses\\_of\\_Vermicomposted\\_Red\\_Pomace\\_Waste\\_from\\_a\\_Winery](https://www.researchgate.net/publication/221931530_Chemical_Analyses_of_Vermicomposted_Red_Pomace_Waste_from_a_Winery).

SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS. Informe de Disposición Final de Residuos Sólidos. p. 97. [Consultado 16, octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: [https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2020/Ene/informe\\_nacional\\_disposicion\\_final\\_2019\\_1.pdf](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2020/Ene/informe_nacional_disposicion_final_2019_1.pdf)

UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE SERVICIOS PÚBLICOS -UAESP. Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) de Bogotá. [Sitio Web]. Bogotá. Co. p. 1228. [Consultado 25, octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: [http://www.uaesp.gov.co/uaesp\\_jo/images/direccion/PGIRS\\_FINAL\\_18-12-2015.pdf](http://www.uaesp.gov.co/uaesp_jo/images/direccion/PGIRS_FINAL_18-12-2015.pdf).

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. Método Para La Caracterización. [en línea]. p 132 [Consultado el 1 de noviembre de 2019]. Archivo en pdf Disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358012/ContLin/leccin\\_10\\_mtodo\\_para\\_la\\_caracterizacin.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358012/ContLin/leccin_10_mtodo_para_la_caracterizacin.html).

VERA-REZA Ana, SÁNCHEZ-SALINAS Enrique, ORTIZ-HERNÁNDEZ Ma. Laura, PEÑA-CAMACHO Justina Leticia, ORTEGA-SILVA Ma. Magdalena. Estabilización de lodos residuales municipales por medio de la técnica de lombricompostaje. Centro de Investigación en Biotecnología, Laboratorio de Investigaciones Ambientales, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos,

México. [en línea]. p 12. [Consultado el 20 de julio de 2020]. Archivo en pdf. Disponible en: <https://www.scribd.com/document/389864729/Malaml,mo>.

YADAV, A and GARG, V, K. Nutrient Recycling from Industrial Solid Wastes and Weeds by Vermiprocessing Using Earthworms. [en línea]. p 10. [Consultado el 20 de julio de 2020]. Archivo en pdf Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1002016013600594>.

YATE SEGURA Andrea, Fuquene Yate Diana. Vermicompostaje en el Manejo de los Residuos Sólidos Urbanos. Ingeniero químico con Maestría en Ingeniería Química. Ingeniero químico con Especialización y Maestría en ingeniería Ambiental candidato a Doctor en proyectos. Investigador del Grupo de Estudios Ambientales Aplicados – GEAA.

## **ANEXOS**

**ANEXO A.**

**GENERACIÓN PROMEDIO ANUAL Y CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LOS AÑOS 2018, 2019, 2020 EN LA LOCALIDAD DE CHAPINERO, BOGOTÁ, COLOMBIA.**

| año de generacion | 2018                                | 2019                              | 2020                              |                                   |
|-------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| tipo de residuo   | porcentaje en peso por material (%) | Cantidad de residuos en (Ton/año) | Cantidad de residuos en (Ton/año) | Cantidad de residuos en (Ton/año) |
| M. O.             | 49                                  | 30581,4                           | 30954,8                           | 31339,9                           |
| latas             | 2                                   | 1248,2                            | 1263,5                            | 1279,2                            |
| aluminio          | 0                                   | 0,0                               | 0,0                               | 0,0                               |
| papel             | 25                                  | 15602,8                           | 15793,3                           | 15989,8                           |
| carton            | 4                                   | 2496,4                            | 2526,9                            | 2558,4                            |
| plastico tipo     | 7                                   | 4368,8                            | 4422,1                            | 4477,1                            |
| plastico          | 6                                   | 3744,7                            | 3790,4                            | 3837,5                            |
| vidrio            | 2                                   | 1248,2                            | 1263,5                            | 1279,2                            |
| textiles          | 3                                   | 1872,3                            | 1895,2                            | 1918,8                            |
| icopor            | 1                                   | 624,1                             | 631,7                             | 639,6                             |
| tatrapack         | 0                                   | 0,0                               | 0,0                               | 0,0                               |
| otros no          | 1                                   | 624,1                             | 631,7                             | 639,6                             |
| <b>total</b>      | <b>100</b>                          | <b>62411,0</b>                    | <b>63173,0</b>                    | <b>63959,0</b>                    |

Modificado por el autor de la UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE SERVICIOS PÚBLICOS - UAESP. Plan de gestión integral de residuos sólidos Bogotá D.C, PGIRS agosto 2018. [online]. [consultado 10, septiembre. 2019]. Disponible en: [https://www.habitatbogota.gov.co/sites/default/files/archivos-adjuntos/LINEA%20BASE%20PGIRS%20OBS%20HABITAT%203.8.2018.pdf?fbclid=IwAR3kq3cD-fkEpe9o2B9hF0AJaPILox-ZpN--RiEHSV\\_Y2LaXXqilAZoUWqs](https://www.habitatbogota.gov.co/sites/default/files/archivos-adjuntos/LINEA%20BASE%20PGIRS%20OBS%20HABITAT%203.8.2018.pdf?fbclid=IwAR3kq3cD-fkEpe9o2B9hF0AJaPILox-ZpN--RiEHSV_Y2LaXXqilAZoUWqs)

Nota:

M.O.: Materia orgánica.

Otros no reciclables: Material peligroso y de recolección especial.

## ANEXO B.

### GENERACIÓN PROMEDIO MENSUAL Y CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LOS AÑOS 2018, 2019, 2020 EN LA LOCALIDAD DE CHAPINERO, BOGOTÁ, COLOMBIA.

| Año de generacion |                                     | 2018                              | 2019                              | 2020                              |
|-------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Tipo de residuo   | Porcentaje en peso por material (%) | Cantidad de residuos en (Ton/mes) | Cantidad de residuos en (Ton/mes) | Cantidad de residuos en (Ton/mes) |
| M. O.             | 49                                  | 5200,9                            | 5264,4                            | 5329,9                            |
| latas             | 2                                   | 212,3                             | 214,9                             | 217,5                             |
| aluminio          | 0                                   | 0,0                               | 0,0                               | 0,0                               |
| papel             | 25                                  | 2653,5                            | 2685,9                            | 2719,3                            |
| carton            | 4                                   | 424,6                             | 429,7                             | 435,1                             |
| plastico          | 7                                   | 743,0                             | 752,1                             | 761,4                             |
| tipo pelicula     |                                     |                                   |                                   |                                   |
| plastico          | 6                                   | 636,8                             | 644,6                             | 652,6                             |
| vidrio            | 2                                   | 212,3                             | 214,9                             | 217,5                             |
| textiles          | 3                                   | 318,4                             | 322,3                             | 326,3                             |
| icopor            | 1                                   | 106,1                             | 107,4                             | 108,8                             |
| tatrapack         | 0                                   | 0,0                               | 0,0                               | 0,0                               |
| otros no          | 1                                   | 106,1                             | 107,4                             | 108,8                             |
| total             | 100                                 | 10614,1                           | 10743,7                           | 10877,4                           |

Modificado por el autor de la UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE SERVICIOS PÚBLICOS - UAESP. Plan de gestión integral de residuos sólidos Bogotá D.C, PGIRS agosto 2018. [online]. [consultado 10, septiembre. 2019]. Disponible en: [https://www.habitatbogota.gov.co/sites/default/files/archivos-adjuntos/LINEA%20BASE%20PGIRS%20OBS%20HABITAT%203.8.2018.pdf?fbclid=IwAR3kq3cD-fkEpe9o2B9hF0AJaPILox-ZpN--RiEHSV\\_Y2LaXXqilAZoUWqs](https://www.habitatbogota.gov.co/sites/default/files/archivos-adjuntos/LINEA%20BASE%20PGIRS%20OBS%20HABITAT%203.8.2018.pdf?fbclid=IwAR3kq3cD-fkEpe9o2B9hF0AJaPILox-ZpN--RiEHSV_Y2LaXXqilAZoUWqs)

Nota:

M.O.: Materia orgánica.

Otros no reciclables: Material peligroso y de recolección especial.

## ANEXO C.

### MERMA DE ALIMENTOS USADOS POR LOS RESTAURANTES.

| articulo          | Unidad | Porcentaje de merma. | Porcentaje utilizado. | articulo              | Unidad | Porcentaje de merma. | Porcentaje utilizado. |
|-------------------|--------|----------------------|-----------------------|-----------------------|--------|----------------------|-----------------------|
| Acelga            | kg     | 40                   | 60                    | Espinaca              | kg     | 23                   | 77                    |
| Achicoria         | kg     | 11                   | 89                    | Espinaca              | kg     | 10                   | 90                    |
| Aguacate          | kg     | 5                    | 95                    | Flor de calabaza      | kg     | 60                   | 40                    |
| Ají               | kg     | 25                   | 75                    | Frambuesa             | kg     | 10                   | 90                    |
| Ajo               | kg     | 40                   | 60                    | Fresa                 | kg     | 10                   | 90                    |
| Ajo chileno       | kg     | 23                   | 77                    | Granada               | kg     | 36                   | 64                    |
| Ajo Puerro        | kg     | 48                   | 52                    | Guanábana             | kg     | 20                   | 80                    |
| Albahaca          | kg     | 40                   | 60                    | Haba                  | kg     | 45                   | 55                    |
| Alcaucil          | kg     | 52                   | 48                    | Hierbas               | kg     | 50                   | 50                    |
| Apio              | kg     | 20                   | 80                    | Higo                  | kg     | 5                    | 95                    |
| Apio              | kg     | 37                   | 63                    | Hinojo                | kg     | 30                   | 70                    |
| Arbeja vaina      | kg     | 10                   | 90                    | Hinojo fresco         | kg     | 10                   | 90                    |
| Arvejas frescas   | kg     | 55                   | 45                    | Hojas de menta        | kg     | 45                   | 55                    |
| Batatas           | kg     | 25                   | 75                    | Hongos                | kg     | 5                    | 95                    |
| Berenjena         | kg     | 13                   | 87                    | Jaiba                 | kg     | 75                   | 25                    |
| Berenjenas        | kg     | 10                   | 90                    | Jengibre              | kg     | 30                   | 70                    |
| Berro             | kg     | 49                   | 51                    | Kiwi                  | kg     | 10                   | 90                    |
| Berro             | kg     | 50                   | 50                    | Laurel                | kg     | 10                   | 90                    |
| Brócoli           | kg     | 50                   | 50                    | Lechuga               | kg     | 15                   | 85                    |
| Brócoli           | kg     | 30                   | 70                    | Lechuga chicore       | kg     | 10                   | 90                    |
| Cacahuates        | kg     | 25                   | 75                    | Lechuga italiana      | kg     | 10                   | 90                    |
| Calabacita        | kg     | 10                   | 90                    | Lechuga orejona       | kg     | 15                   | 85                    |
| Calabaza          | kg     | 10                   | 90                    | Lechuga romana        | kg     | 15                   | 85                    |
| Calabaza torneada | kg     | 25                   | 75                    | Lechuguilla           | kg     | 10                   | 90                    |
| Cebolla de cabeza | kg     | 15                   | 85                    | Lima                  | kg     | 30                   | 70                    |
| Cebolla de verdeo | kg     | 59                   | 41                    | Limón (jugo)          | kg     | 80                   | 20                    |
| Cebolla Huevo     | kg     | 10                   | 90                    | Mandarina             | kg     | 30                   | 70                    |
| Cebolla Junca     | kg     | 30                   | 70                    | Mandioca              | kg     | 25                   | 75                    |
| Cebollín          | kg     | 20                   | 80                    | Mango                 | kg     | 30                   | 70                    |
| Cereza            | kg     | 5                    | 95                    | Manzana 2a. Calidad   | kg     | 20                   | 80                    |
| Champiñones       | kg     | 10                   | 90                    | Manzana Roja          | kg     | 15                   | 85                    |
| Choclo            | kg     | 39                   | 61                    | Maracayá              | kg     | 40                   | 60                    |
| Cilantro          | kg     | 50                   | 50                    | Mejorana              | kg     | 10                   | 90                    |
| Ciruela           | kg     | 15                   | 85                    | Melón chino           | kg     | 25                   | 75                    |
| Cítricos          | kg     | 50                   | 50                    | Melón valenciano      | kg     | 25                   | 75                    |
| Col blanca        | kg     | 15                   | 85                    | Membrillo             | kg     | 25                   | 75                    |
| Col brúsela       | kg     | 15                   | 85                    | Nabiza                | kg     | 16                   | 84                    |
| Col china         | kg     | 10                   | 90                    | Nabo                  | kg     | 12                   | 88                    |
| Col crespá        | kg     | 55                   | 45                    | Nabo                  | kg     | 30                   | 70                    |
| Col roja          | kg     | 15                   | 85                    | Naranja               | kg     | 50                   | 50                    |
| Coliflor          | kg     | 55                   | 45                    | Naranja en filetes    | kg     | 45                   | 55                    |
| Coliflor          | kg     | 25                   | 75                    | Nopal                 | kg     | 10                   | 90                    |
| Colinabo          | kg     | 46                   | 54                    | Nueces                | kg     | 30                   | 70                    |
| Durazno           | kg     | 9                    | 91                    | Orégano               | kg     | 10                   | 90                    |
| Escarola          | kg     | 15                   | 85                    | Papa                  | kg     | 15                   | 85                    |
| Espárrago         | kg     | 55                   | 45                    | Papa pelada a mano    | kg     | 25                   | 75                    |
| Espárrago blanco  | kg     | 30                   | 70                    | Papa pelada a maquina | kg     | 30                   | 70                    |
| Espárrago verde   | kg     | 10                   | 90                    | papas torneadas       | kg     | 35                   | 65                    |

| articulo              | Unidad | Porcentaje de merma. | Porcentaje utilizado. | articulo           | Unidad   | Porcentaje de merma. | Porcentaje utilizado. |
|-----------------------|--------|----------------------|-----------------------|--------------------|----------|----------------------|-----------------------|
| Papaya                | kg     | 40                   | 60                    | Repollo            | kg       | 50                   | 50                    |
| Pepino                | kg     | 80                   | 20                    | Romero             | kg       | 20                   | 80                    |
| Pera                  | kg     | 25                   | 75                    | Salsifí            | kg       | 20                   | 80                    |
| Perejil               | kg     | 25                   | 75                    | Salvia             | kg       | 20                   | 80                    |
| Pimiento Verde        | kg     | 30                   | 70                    | Sandia             | kg       | 45                   | 55                    |
| Pimientos amarillos   | kg     | 50                   | 50                    | Tamarindo          | kg       | 30                   | 70                    |
| Pimientos rojos       | kg     | 45                   | 55                    | Tomate             | kg       | 20                   | 80                    |
| Pimientos verdes      | kg     | 10                   | 90                    | Toronja            | kg       | 50                   | 50                    |
| Piña                  | kg     | 30                   | 70                    | Uvas               | kg       | 20                   | 80                    |
| Pistaches             | kg     | 10                   | 90                    | Verdolaga          | kg       | 34                   | 66                    |
| Plátano dominico      | kg     | 25                   | 75                    | Yuca               | kg       | 30                   | 70                    |
| Plátano macho         | kg     | 30                   | 70                    | Zanahoria          | kg       | 10                   | 90                    |
| Poroto fresco         | kg     | 35                   | 65                    | Zanahoria          | kg       | 45                   | 55                    |
| Rábano                | kg     | 15                   | 85                    | Zanahoria torneada | kg       | 10                   | 90                    |
| Radicheta             | kg     | 5                    | 95                    | Zapallito          | kg       | 10                   | 90                    |
| Remolacha             | kg     | 15                   | 85                    | Zapallo            | kg       | 10                   | 90                    |
| Repollito de Bruselas | kg     | 50                   | 50                    | Zetas              | kg       | 20                   | 80                    |
|                       |        |                      |                       | 129                | promedio | 27,5                 | 72,5                  |

Modificado por el autor de la CONSULTORA GASTRONÓMICA. [online]. [consultado 10, septiembre. 2019]. Disponible en: <https://germandebonis.com/tabla-de-merma-de-mercaderia/>.

El promedio de 129 productos alimenticios más usados en los restaurantes se realiza un promedio general del 100% en peso del producto la merma promedio es de aproximadamente un 27,5% el cual es desechado es una pérdida inicial en la producción del restaurante y al cual es la que se basa el proyecto para su aprovechamiento.

## ANEXO D.

### BALANCE DE MASA PARA EL PROCESO PRODUCTIVO DE VERMICOMPOSTAJE DE 3 MESES.

| quincena     | Peso de material orgánico (g) | Peso de lombriz (g) | Peso de vermicompost (g) | Peso de la mezcla (g) | Volumen de materia orgánica (cm <sup>3</sup> ) | Volumen de lombriz (cm <sup>3</sup> ) | Volumen de vermicompost (cm <sup>3</sup> ) | Volumen mezcla (cm <sup>3</sup> ) | Volumen total (cm <sup>3</sup> ) |
|--------------|-------------------------------|---------------------|--------------------------|-----------------------|--|---------------------------------------|--|-----------------------------------|----------------------------------|
| 0            | 1500                          | 100                 | 0                        | 1600                  | 1595,7   | 20                                    | 0  | 1615,7                            | 1615,7                           |
| 1            | 2500                          | 166,7               | 900                      | 3566,7                | 2659,6   | 33,3                                  | 1,3  | 2692,9                            | 2694,2                           |
| 2            | 5000                          | 333,3               | 1500                     | 6833,3                | 5319,1   | 66,7                                  | 2,1  | 5385,8                            | 5388,0                           |
| 3            | 7500                          | 500                 | 3000                     | 11000                 | 7978,7   | 100,0                                 | 4,3  | 8078,7                            | 8083,0                           |
| 4            | 10000                         | 666,7               | 4500                     | 15166,7               | 10638,3  | 133,3                                 | 6,4  | 10771,6                           | 10778,1                          |
| 5            | 12500                         | 833,3               | 6000                     | 19333,3               | 13297,9  | 166,7                                 | 8,6  | 13464,5                           | 13473,1                          |
| 6            | 15000                         | 1000                | 7500                     | 23500                 | 15957,4  | 200                                   | 10,7                                       | 16157,4                           | 16168,2                          |
| <b>TOTAL</b> | <b>54000</b>                  | <b>1000</b>         | <b>23400</b>             | <b>24400</b>          | <b>15957,4</b>                                 | <b>200</b>                            | <b>10,7</b>                                | <b>16157,4</b>                    | <b>16168,2</b>                   |

Supuestos:

No se tienen en cuenta la pérdida de peso por deshidratación.

El factor de consolidación de la mezcla es del 100%.

Residuos de restaurante: 93,75% por peso

Rendimiento: 60% por peso

No se tienen en cuenta la pérdida de los sólidos volátiles en el vermicompostaje

Al final del ciclo productivo hay 10 veces la población inicial de lombriz