

EVALUACIÓN DE LA LARVA DE MOSCA SOLDADO NEGRA (*Hermetia  
Illucens*) COMO ALTERNATIVA PARA LA DEGRADACIÓN DE RESIDUOS  
SÓLIDOS URBANOS

DANIELA CABRERA GUTIERREZ  
ANGIE LORENA LÓPEZ GUTIERREZ

Proyecto integral de grado para optar el título de  
INGENIERO QUÍMICO

Director  
FELIPE CORREA MAHECHA  
Ingeniero Químico

Orientador  
HARVEY ANDRES MILQUEZ  
Ingeniero químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTA, D.C  
2021

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

Felipe Correa Mahecha

---

Firma del Presidente del Jurado

---

Juan Sandoval

---

Juan Camilo Cely

Bogotá D.C., marzo de 2021

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

**Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA**

Consejero Institucional

**Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA**

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

**Dra. MARIA CLAUDIA APONTE GONZÁLEZ**

Vicerrector Administrativo y Financiero

**Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO**

Secretaria General

**Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN**

Decano Facultad de Ingenierías

**Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI**

Director Programa Ingeniería Química

**Ing. NUBIA BECERRA OSPINA**

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos de manera especial a Dios por hacer todo esto posible.

A nuestra familia por creer en nosotras, por el apoyo en cada decisión, el amor y por permitirnos cumplir con excelencia nuestro logro como ingenierías químicas.

Al profesor Felipe Correa Mahecha, director de la tesis quien nos brindó su mano para la realización de este trabajo, sus ánimos constantes y su ayuda en todo momento.

Al ingeniero Harvey Andrés Milquez Sanabria, nuestro orientador del proyecto de grado, por su comprensión y paciencia.

A nuestros compañeros durante toda la carrera, quienes siempre estuvieron ahí para sacarnos una sonrisa en momentos difíciles.

Y gracias a cada uno de ustedes por estar presente en esta etapa tan importante de nuestras vidas.

## DEDICATORIA

Dedicamos este proyecto de grado con mucho amor principalmente a Dios, que sin él no hubiera sido posible.

A nuestra familia por habernos formado como persona y motivarnos constantemente

Y a todas aquellas personas que estuvieron de principio a fin acompañándonos en este camino.

## Tabla de contenido

	Pág.
<b>RESUMEN</b>	<b>10</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>11</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>12</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO</b>	<b>14</b>
<b>1.1 Compostaje</b>	<b>14</b>
1.1.1 <i>Fase Mesófila</i>	14
1.1.2 <i>Fase Termófila o de Higienización</i>	14
1.1.3 <i>Fase de Enfriamiento</i>	15
<b>1.2 Condiciones del proceso de compostaje</b>	<b>17</b>
1.2.1 <i>Humedad</i>	17
1.2.2 <i>Temperatura</i>	17
1.2.3 <i>Relación C/N</i>	18
1.2.4 <i>pH</i>	18
1.2.5 <i>Aireación</i>	18
1.2.6 <i>Tamaño de la partícula</i>	18
<b>1.3 Compost</b>	<b>19</b>
1.3.1 <i>Beneficios del compost</i>	20
<b>1.4 Lixiviados</b>	<b>20</b>
1.4.1 <i>Efectos</i>	20
<b>1.5 Larva de mosca soldado negro (<i>Hermetia illucens</i>)</b>	<b>21</b>
1.5.1 <i>Generalidades</i>	21
1.5.2 <i>Taxonomía</i>	22
1.5.3 <i>Ciclo de vida</i>	22
1.5.4 <i>Condiciones de crecimiento de la larva de MSN</i>	28
<b>1.6 Aplicaciones de las larvas de la <i>Hermetia Illucens</i></b>	<b>29</b>
1.6.1 <i>Proteínas</i>	29
1.6.2 <i>Biodiesel</i>	29
<b>2. CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS</b>	<b>30</b>
<b>2.1 Generación de residuos sólidos</b>	<b>30</b>

2.2	<b>Producción y caracterización de los residuos provenientes de la plaza de mercado</b>	<b>33</b>
3.	<b>HERMETIA ILLUCENS EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE</b>	<b>41</b>
3.1	<b>Características de la incubación y crecimiento de la mosca soldado negro en el proceso de compostaje.</b>	<b>41</b>
3.2	<b>Mosca soldado negra como tratamiento para desechos orgánicos</b>	<b>43</b>
3.3	<b>Usos y aplicaciones de <i>Hermetia Illucens</i></b>	<b>46</b>
3.3.1	<i>Fertilizantes</i>	46
3.3.2	<i>Alimentación animal</i>	47
3.3.3	<i>Biodiesel</i>	49
3.4	<b>Condiciones y parámetros de crecimiento</b>	<b>50</b>
3.4.1	<i>Temperatura</i>	50
3.4.2	<i>Contenido de Humedad</i>	51
3.4.3	<i>pH</i>	53
3.4.4	<i>Fuente de luz</i>	53
4.	<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL USO INTEGRAL DE LA LARVA DE MOSCA SOLDADO NEGRA</b>	<b>55</b>
4.1	<b>Descripción general del proceso</b>	<b>55</b>
4.2	<b>Diagrama de bloques general del proceso</b>	<b>56</b>
4.3	<b>Unidades de procesamiento</b>	<b>57</b>
4.3.1	<i>Unidad de cría de la MSN</i>	57
4.3.2	<i>Unidad de procesamiento de residuos</i>	63
4.3.3	<i>Unidad de tratamiento de residuos con MSN</i>	66
4.3.4	<i>Unidad de recolección del producto</i>	67
4.4	<b>Balance de masa</b>	<b>68</b>
4.4.1	<i>Balance de flujo másico total</i>	69
4.4.2	<i>Balance de flujo de agua</i>	75
4.4.3	<i>Balance de flujo de carbón</i>	76
4.4.4	<i>Balance de flujo de nitrógeno</i>	77
4.5	<b>Equipos</b>	<b>78</b>
4.5.1	<i>Tipos de reactores:</i>	78
4.5.2	<i>Tipos de trituradoras y molinos</i>	83
4.6	<b>Análisis y discusión</b>	<b>88</b>

<b>4.7 Distribución física de la planta</b>	<b>91</b>
<b>5. COSTOS</b>	<b>93</b>
<b>5.1 Costos de capital</b>	<b>93</b>
<b>5.2 Costos variables</b>	<b>94</b>
5.2.1 <i>Materia prima</i>	94
5.2.2 <i>Costo de operación de equipos y maquinaria</i>	94
5.2.3 <i>Costo de mano de obra</i>	95
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>98</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>100</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>112</b>



## Lista de Figuras

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Diagrama de variables en el proceso de compostaje	16
<b>Figura 2.</b> Ciclo de vida de la <i>Hermetia Illucens</i>	23
<b>Figura 3.</b> Huevos de la <i>Hermetia Illucens</i>	24
<b>Figura 4.</b> Estado larvario de la <i>Hermetia Illucens</i>	25
<b>Figura 5.</b> Estado pupa de la <i>Hermetia Illucens</i>	26
<b>Figura 6.</b> Mosca soldado negro	27
<b>Figura 7.</b> Porcentaje de residuos solidos producidos en algunas ciudades de Col	32
<b>Figura 8.</b> Composición de los residuos sólidos generados en las plazas de mercado	36
<b>Figura 9.</b> Diagrama de bloques del procesamiento de residuos orgánicos usando la <i>Hermetia Illucens</i>	56
<b>Figura 10.</b> Indicadores de rendimiento de una instalación de cría MSN	57
<b>Figura 11.</b> Jaulas Oscuras	58
<b>Figura 12.</b> Jaulas de amor	60
<b>Figura 13.</b> Jaulas de amor	61
<b>Figura 14.</b> <i>Eggies</i>	62
<b>Figura 15.</b> <i>Eggies</i>	63
<b>Figura 16.</b> Método de Cuarteo	64
<b>Figura 17.</b> Tamices de agitación	67
<b>Figura 18.</b> Procedimiento de aimentación diaria de la MSN para la bioconversión	69
<b>Figura 19.</b> Trituración	70
<b>Figura 20.</b> Adecuación de la materia prima	71
<b>Figura 21.</b> Biorreactor	73
<b>Figura 22.</b> Separación	74
<b>Figura 23.</b> Abono orgánico	75
<b>Figura 24.</b> Balance de flujo de agua	76
<b>Figura 25.</b> Balance de flujo de carbon	77
<b>Figura 26.</b> Balance de flujo de nitrogeno	78
<b>Figura 27.</b> Reactor BioPod	79

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 28.</b> Reactor BioPod	<b>80</b>
<b>Figura 29.</b> Reactor ProtaPod	<b>81</b>
<b>Figura 30.</b> Reactor NEW Grub	<b>82</b>
<b>Figura 31.</b> Larveros	<b>83</b>
<b>Figura 32.</b> Trituradora Tr 200	<b>85</b>
<b>Figura 33.</b> Trituradora Tr 200 G	<b>86</b>
<b>Figura 34.</b> Molino de martillos	<b>87</b>
<b>Figura 35.</b> Distribución física de la planta piloto	<b>92</b>

## RESUMEN

Este trabajo pone la preocupación por el incremento de los residuos sólidos debido a su masiva producción por lo que se ha buscado implementar alternativas sostenibles y amigables con el medio ambiente como el compostaje y la búsqueda de nuevos microorganismos que ayuden a realizar el proceso de descomposición de la materia orgánica de manera eficiente y rápida como la *Hermetia Illucens*.

El siguiente trabajo se centra en la importancia que tienen las larvas de la mosca soldado negro (MSN) para el tratamiento y degradación de los residuos orgánicos, por lo que se propone una planta piloto en una plaza de mercado llamada Tunjuelito, ubicada en la ciudad de Bogotá donde se dispone de 13 toneladas anuales, se plantea el costo requerido en el proceso y se establecen las especificaciones técnicas mediante una propuesta para implementar un sistema de cría de larvas. Aunque la larva es una especie que puede sobrevivir a condiciones hostiles, se establecen las condiciones óptimas de crecimiento concluyendo que estas se desarrollan mejor en un rango temperatura de 27 a 30°C, una humedad de 70% y un pH de 6.

**PALABRAS CLAVES:** Compostaje; Residuos orgánicos; Mosca soldado negro; Degradación; Biorreactor; Gases.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Evaluar el uso de la larva de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) al incorporarse en el proceso de compostaje para la degradación de residuos sólidos urbanos.

### OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Caracterizar los residuos sólidos orgánicos provenientes de zonas urbanas en el proceso.
- Definir las condiciones y los parámetros a tener en cuenta para el uso de la larva *Hermetia illucens* en el proceso de compostaje.
- Establecer las especificaciones técnicas para el procesamiento integral de los residuos sólidos urbanos usando la larva *Hermetia illucens*.
- Determinar los costos asociados al proceso de compostaje usando *Hermetia illucens*.

## INTRODUCCIÓN

En Colombia, la desmedida generación de basuras representa un gran problema, el Departamento Nacional de Planeación, DNP, afirma que se producen aproximadamente 11,6 millones de toneladas de los cuales entre el 60% y 70% de los residuos sólidos urbanos del país se pueden aprovechar por medio del compostaje aunque hasta el momento solo se recicla el 17% de este valor producido.[1] En el caso de Bogotá, se generan unas 7.500 toneladas al día y se reciclan entre 14% y 15%; Por otro lado, dice que sería un proceso beneficioso para los hogares puesto que el 40% de basura que genera son residuos de materia orgánica.[2]

Se ha buscado implementar métodos que aprovechen los residuos orgánicos como biodigestores, compostaje y lombricultura; sin embargo, algunos de estos métodos presentan pequeñas problemáticas como lo son el compostaje que tarda un tiempo entre 4 a 6 meses para producir abono rico en nutrientes y que además en este proceso y en los biodigestores, intervienen microorganismos en la descomposición produciendo sustancias ofensivas (malos olores) y un pequeño porcentaje de gases de efecto invernadero.

Los procesos de disposición de residuos sostenibles, dependen de la implementación adecuada de nuevas tecnologías, para esto se han estudiado diferentes insectos que pueden cumplir con esta labor de manera más eficiente y dando un valor agregado. Un ejemplo de ello es la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*), estudiada en los últimos años por su rendimiento para descomponer materia orgánica produciendo abono de calidad y representando dos productos de valor, como el biodiesel y los piensos para animales gracias a que, en su estado de pupa, son ricas en ácidos grasos y en proteína.

Teniendo en cuenta esto se decide evaluar el uso de la larva *Hermetia illucens* como una alternativa sostenible para la degradación de residuos sólidos orgánicos a través de una revisión bibliográfica de diferentes documentos que analizaron el

comportamiento de la larva en diferentes sustratos y los parámetros a tener en cuenta para su óptimo desarrollo y que demuestran que esta especie es una alternativa mucho mejor comparada con otras técnicas de compostaje debido a su bajo costo, el bajo mantenimiento, los requisitos de tierra, la operación menos compleja y el potencial económico.[3]

Por lo que en el documento aquí presente se encuentran las principales características tanto de la materia orgánica presente en la ciudad de Bogotá, como las características más relevantes del uso de *Hermetia Illucens* para garantizar el mejor desarrollo de esta especie y lograr un proceso óptimo comparado con el compostaje tradicional, por tanto se realiza una propuesta de implementación en la plaza de mercado Tunjuelito que tiene una producción de 13 toneladas anuales, se especifica la metodología más adecuada para llevar a cabo el proceso y se realiza el balance de materia pertinente para disponer de los kilogramos diarios producidas en este, evitando el almacenamiento de dicha biomasa que puede conllevar a la producción de diferentes plagas. Adicionalmente, se estipulan los equipos necesarios, los metros cuadrados y los costos que se requieren para la implementación de este sistema como alternativa al tratamiento ya estipulado en la ciudad para el material orgánico.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1 Compostaje

Proceso biológico que degrada la materia orgánica mediante la acción de microorganismos en presencia de aire con aumento de temperatura de forma controlada para generar abono orgánico llamado compost. [4] Las diferentes fases del compostaje se dividen según la temperatura, en:

### 1.1.1 Fase Mesófila

Al inicio del proceso de compostaje, se empieza con temperatura ambiente con un aumento hasta los 45°C. Este aumento de temperatura es debido a los microorganismos mesófilos, ya que ellos utilizan las fuentes de C y N para generar calor. La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y, por lo tanto, hace disminuir el pH hasta cerca de 4.0 o 4.5. Esta fase dura entre dos y ocho días. [5]

### 1.1.2 Fase Termófila o de Higienización

Después de que se alcanzan temperaturas mayores a los 45°C, se ve un aumento de temperatura alcanzando hasta 70 °C, donde los microorganismos termófilos actúan facilitando la degradación de fuentes de C, como la celulosa y la lignina. Estos microorganismos transforman el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH se vuelve alcalino. Aparecen unas bacterias que producen esporas y actinomicetos, a partir de los 60°C encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de carbono. Esta fase puede durar unos días hasta meses, según las condiciones del material de partida, también se conoce como fase de higienización, puesto que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* [5]

### **1.1.3 Fase de Enfriamiento**

La temperatura disminuye hasta los 40-45°C. En esta fase, reaparecen los hongos termófilos visibles, reinician su actividad y el pH desciende levemente, aunque por lo general el pH se mantiene alcalino. Esta fase de enfriamiento puede durar varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración. [5]

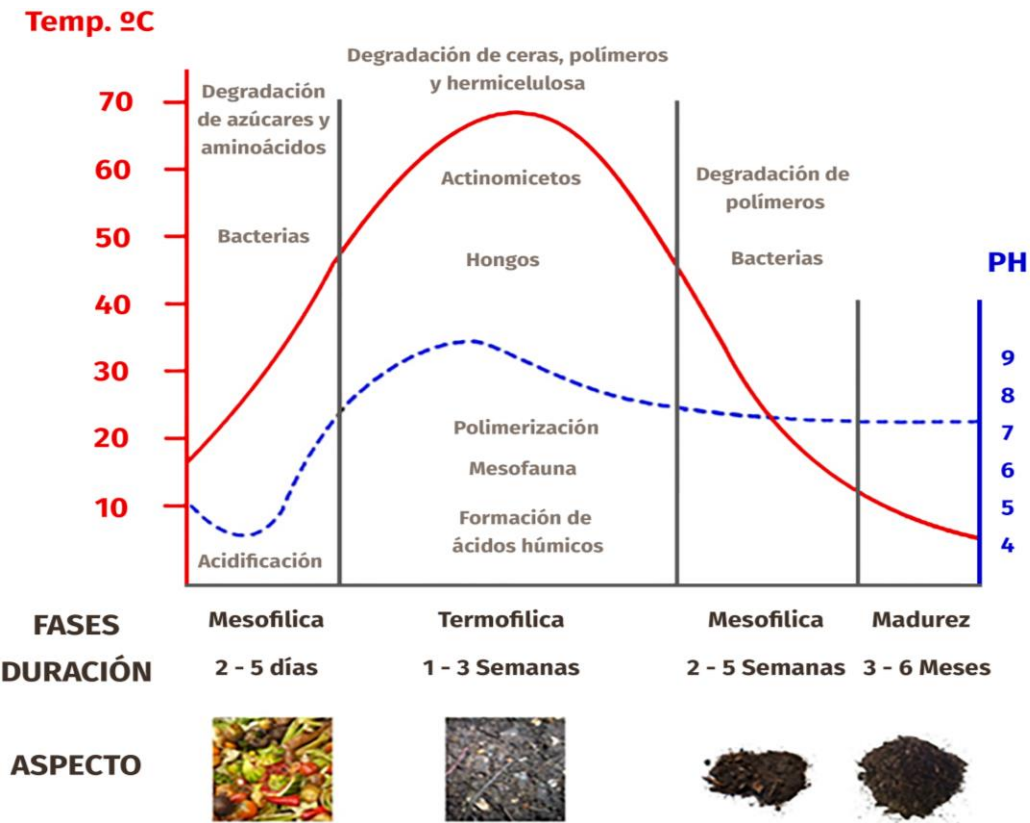
### **1.1.4 Fase de Maduración**

Este periodo requiere estar a temperatura ambiente durante unos meses protegiendo a los desechos de la lluvia, produciendo reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos. [5] En la Figura 1 se observan mejor las diferentes fases del compostaje y la relación entre temperatura, pH y oxígeno en el proceso del mismo.



**Figura 1.**

*Diagrama de variables en el proceso de compostaje*



**Nota:** Se muestra la relación temperatura, pH y oxígeno a lo largo de las diferentes etapas del compostaje. Tomada de: PuntoCompost, Guía de compostaje. Disponible: <https://puntocompost.wordpress.com/productos/>

Es mejor hacer compostaje en compostadores ya sean metálicos, plásticos, y no directamente del suelo formando una montaña, debido a que se controla más sus condiciones ambientales, se ahorra agua ya que el calor producido se evapora y se forman gotas de agua, que luego vuelven a caer dentro del compostador, no genera malos olores, ocupa menos espacio mejorando la estética del lugar y es fácil de montar e instalar [41].

Existe diversidad de materiales que se puede compostar como desechos de cocina como lácteos, restos de fruta o de verdura, filtros de café, bolsas de infusión, arroz, hueveras de cartón, pasta cocida, cáscaras de huevos y de jardín como hierba, cenizas, restos de poda, hojas, flores [41]; pero existen también otros materiales que no se recomiendan y que no deben usarse en el proceso de compostaje.

No se debe usar vidrios, papel higiénico, plásticos, metales, tetra pack, pañales, producto de barrido, medicamento, filtros de cigarrillo, excrementos de mascotas como perros y gatos [42] y no es recomendable agregar cáscaras de frutos cítricos, huesos de frutas, tomates y cascaras de frutos secos [43]. Los frutos cítricos y huesos de frutas porque su tiempo de descomposición es largo y se puede ir acumulando. Los tomates porque las semillas pueden germinar en cualquier lado y las cáscaras de frutos secos es recomendable quemarlas y depositar su ceniza.

## **1.2 Condiciones del proceso de compostaje**

### **1.2.1 Humedad**

Varía entre 40-60% y limita el proceso de compostaje debido a que, si está por debajo del 40%, la actividad microbiana es más lenta, mientras que si excede el 65% se dificulta la circulación de aire, convirtiéndose en un proceso anaeróbico, y produciendo malos olores por la putrefacción de los desechos orgánicos. Se recomienda mezclar materiales secos con materiales húmedos para controlar la humedad excesiva y la presencia de líquidos lixiviados en el proceso de compostaje. [6]

### **1.2.2 Temperatura**

Es la variable más importante a controlar en el proceso de compostaje, por lo que se venía explicando anteriormente ya que garantiza la calidad microbiológica y sanidad del compost. El rango óptimo de temperatura va de 35°C a 60°C [6].

### **1.2.3 Relación C/N**

Es importante tener en cuenta que la relación ideal oscila entre 25 y 30:1 aproximadamente y decrece a 15:1 en el compost final, para esto es necesario la mezcla para obtener una relación adecuada. La producción de amoníaco significa una relación baja, debido a que el nitrógeno está en exceso y cuando no hay suficiente nitrógeno para el desarrollo óptimo de poblaciones microbianas, significa que la relación es alta, lo que vuelve el proceso más lento [6].

### **1.2.4 pH**

El proceso de compostaje se realiza dentro de un rango amplio de valores de pH, considerando 5,5 y 8,0 para bacterias mientras que los hongos prefieren un medio más ácido. Este indicador evoluciona, fase por fase en el proceso de descomposición, ya que al principio de las etapas el pH disminuye ligeramente debido a la formación de CO<sub>2</sub> y ácidos orgánicos. Después, el pH empieza a incrementarse, teniendo niveles tan altos entre 8 y 9 como consecuencia de la liberación de CO<sub>2</sub>, la aireación de la biomasa y la producción de amoníaco [6].

### **1.2.5 Aireación**

El compostaje es un proceso aeróbico, por lo que se necesita la presencia de oxígeno, necesario para el desarrollo del microorganismo, por lo que es necesario estar volteando los residuos, o poner aireación forzada para asegurar una buena actividad de los microorganismos y por lo tanto un buen proceso de degradación. En condiciones de insuficiente aireación, pueden generar problemas de putrefacción, deteniéndose el proceso de descomposición y se obtiene un producto de menor calidad [4].

### **1.2.6 Tamaño de la partícula**

Hay que tener en cuenta la porosidad de los residuos ya que está relacionada con la aireación dentro del biorreactor. A mayor porosidad mayor degradación de los residuos, a menor porosidad la degradación se hace más lenta y se pueden producir malos olores. El tamaño de partícula oscila entre 5 y 10 cm. Por lo tanto, cuando la

biomasa es muy grande es necesario triturlarla. Adicionalmente se justifica realizarlo ya que al no hacerlo se compacta la mezcla impidiendo la circulación del aire, ocasionando problemas en el proceso como la condensación del mismo, condiciones anaerobias, disminución de la velocidad de degradación y malos olores [4].

### **1.3 Compost**

Es un abono orgánico, proveniente de un proceso llamado compostaje, resulta de la transformación de la mezcla de desechos orgánicos de origen animal y vegetal, que han sido descompuestos bajo condiciones controladas. Su calidad depende del tipo de materia orgánica y del tipo de estiércol que han utilizado. Este abono también se le conoce como “tierra vegetal” o “mantillo”. Puede tener elementos contaminantes, ya sea metales pesados o bacterias [12].

Es un producto con olor característico a tierra, de color pardo oscuro con aspecto homogéneo y suelto, además de estar libre de materiales no orgánicos como plásticos metales o cristales [49]. Tiene propiedades beneficiosas para la planta y el suelo, lo cual garantiza que las plantas tengan las propiedades necesarias para su crecimiento y desarrollo [40]. Una de las ventajas del compostaje a partir de la materia orgánica, es que en él se encuentran nutrientes de lenta liberación y que se encuentran disponibles para la nutrición de las plantas. Es por ello que macronutrientes como el fósforo (P), el nitrógeno (N) y el potasio (K) son muy importantes, puesto que “el Nitrógeno es el motor del crecimiento de la planta ya que está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas. El Fósforo juega un papel importante en la transferencia de energía, por lo que es esencial en la eficiencia de la fotosíntesis y el Potasio, juega un papel vital en la síntesis de carbohidratos y de proteínas, y por ende en la estructura de la planta” [50].

El compost se puede usar en su fase mesófila, es decir semimaduro, ya que tiene una elevada actividad biológica y comparado con el compost maduro tiene un porcentaje de nutrientes que son asimilados de manera más fácil por las plantas, pero debido a la acidez que tiende a tener el pH en esta fase, la germinación se ve afectada de manera negativa, por lo que es aconsejable usar compost maduro o en su defecto usar compost semimaduro pero evitando la aplicación en la germinación de semillas o las plantas delicadas.

### **1.3.1 Beneficios del compost**

- Mejora las propiedades químicas incrementando la Capacidad de Intercambio Catiónico – CIC- y aumenta el contenido de macronutrientes y micronutrientes.
- La materia orgánica mejora las propiedades físicas, favoreciendo la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo, aumenta su capacidad de retención de agua, obteniendo suelos más esponjosos.
- Aporta microorganismos benéficos para mejorar la actividad biológica del suelo, ya que promueven el crecimiento vegetal, fijación biológica de nitrógeno y biofertilización, solubilizadores de nutrientes, antagonistas de patógenos y eficientes en la degradación de la materia orgánica [39].

## **1.4 Lixiviados**

Líquido proveniente de la degradación de materia orgánica, se deriva por un exceso de humedad, y/o compactación de la mezcla, tienen altas cargas microbianas. Son útiles para usarlos antes de la fase termófila pero no después porque se estaría agregando microorganismos patógenos [4].

### **1.4.1 Efectos**

- Impide la germinación de las esporas en plantas enfermas.
- Competición con los microorganismos por alimento y nutrientes.
- Depredación de los microorganismos que causan la enfermedad.
- Quita los organismos con producción de antibióticos [13].

## **1.5 Larva de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*)**

### **1.5.1 Generalidades**

La mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) es una de las 5 especies que pertenecen a la subfamilia Hermetiinae bajo el orden Diptera. Existen otros cuatro géneros, que son *Chaetosargus*, *Patagiomyia*, *Chaetohermética* y *Notohermetia*; pero la especie más ampliamente distribuida entre estas 5, es *Hermetia illucens*. “La especie tiene una distribución cosmopolita en regiones tropicales y templadas cálidas (entre aproximadamente 45 ° N y 40 ° S) desde regiones neotropicales hasta australianas, neárticas, paleárticas y afro tropicales”. Aunque es nativa de América, la especie fue informada por primera vez en una compañía de Hilo Sugar, ubicada en las islas de Hawái [3]. Son originarias de América, pero las moscas soldado negro se han ido introduciendo en las regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo [19].

La *Hermetia illucens*, llamada más comúnmente como Mosca Soldado Negro es un díptero de la familia Stratiomyidae, género *Hermetia*. Su reproducción se lleva a cabo por oviposición, la postura de huevos es pseudo-oothecas, formando hileras de huevos en medios parcialmente cerrados. Sus huevos son cilíndricos con un milímetro de largo aproximadamente. Al nacer las larvas, su color es crema y al crecer su color va cambiando a amarillo, hasta finalmente conseguir el color marrón en su último estado [7].

En Colombia, aún no es conocida alguna tecnología o maquinaria que se dedique a la cría de larvas de mosca soldado negra a nivel industrial, existen registros de un experimento que se llevó a cabo en el SENA del Valle del Cauca por el profesor Rodrigo Arango, más específicamente en el Centro Agropecuario de Buga. Adicionalmente en la ciudad de Tuluá, en el SENA CLEM alimentan gallinas con este método, pero no presentan maquinaria especializada [8].

### **1.5.2 Taxonomía**

- ↳ Animales (Reino Animalia)
- ↳ Insectos, Arácnidos y Crustáceos (Filo Artrópoda)
  - ↳ Hexápodos (Subfilo Hexápoda)
    - ↳ Insectos (Clase insecto)
      - ↳ Insectos Alados (subclase Pterigota)
        - ↳ Moscas y Mosquitos (orden Diptera)
          - ↳ Suborden Brachycera
            - ↳ Infraorden Orthorrhapha
              - ↳ Pavordeen Stratiomymorpha
                - ↳ Moscas Soldado (Familia Stratiomyidae)
                  - ↳ Subfamilia Hermetiinae
                    - ↳ Género *Hermetia*
                      - ↳ Mosca Soldado Negro (*Hermetia illucens*) [8]

### **1.5.3 Ciclo de vida**

La mosca soldado negra consta de 5 etapas de vida: huevos, larvas, pupas, pre pupas y adultos. En estas etapas, la eclosión de huevos y de adultos son más cortas y la etapa larval y pupal son las más largas y las que contribuyen al máximo al ciclo de vida. Al tener una vida útil muy corta, las hembras de mosca soldado negra producen una gran cantidad de huevos [3]. Las larvas tienen una amplia gama de sustratos, pues pueden alimentarse de plantas, animales en descomposición, estiércol, raspaduras de alimento, basuras municipales y descomposición de material vegetal [19].

## Figura 2.

### *Ciclo de vida de la Hermetia Illucens*



*Nota:* Se observa el ciclo de vida de la *Hermetia Illucens*, con sus diferentes etapas. Tomado de: Vía Orgánica.

Disponible:

<https://viaorganica.org/composta-con-moscas-soldado-negras-hermetia-illucens-para-alimento-de-gallina/>

1.5.3.a Huevo: La *Hermetia Illucens* en su etapa adulta asenta aproximadamente 500 huevos en desechos orgánicos en descomposición, como heces de animales, residuos de restaurante o casas y animales en descomposición. Los huevos se convierten en larvas en aproximadamente cuatro días. El huevo tiene forma ovalada de color amarillo pálido o blanco cremoso con un 1mm de longitud [9]. Se puede observar mejor la descripción en la Figura 3.



### Figura 3.

#### *Huevos de la Hermetia Illucens*



**Nota:** Huevos de aproximadamente 4 días. Tomado de: A. Sing y K. Kumari, An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review, p4. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719312873>

1.5.3.b Larvas: Estas nacen entre cuatro y seis días después del desove, miden aproximadamente un milímetro de largo, son de color blanco, tienen la cabeza saliente y diez anillos con pelo en cada uno de estos. La cabeza presenta dos apéndices móviles en todo sentido; maxilas y antenas en forma de conos. Estas pueden alcanzar un largo de hasta 27 mm y un ancho de hasta 6 mm, con la cabeza más ancha y puntiaguda. Durante su desarrollo pasan por seis estadios mudando de piel en cada uno de ellos, este proceso dura aproximadamente 14 días. En el último estadio, las mandíbulas se modifican a forma de gancho para excavar, este estadio es denominado prepupa [9].

En la etapa larval, la vida útil también es muy corta en condiciones adecuadas, pues cuando las condiciones ambientales son desfavorables su actividad se ralentiza y su ciclo de vida se puede extender de 6 a 7 semanas. Existen informes donde a baja temperatura y a baja disponibilidad de alimentos, estas pueden extender su ciclo hasta 4 meses, lo que facilita la viabilidad de la población de larvas durante la

escasez de alimento, sin embargo, el desarrollo de estas y su reproducción dependen de la calidad de los alimentos [3]. Se puede observar mejor la descripción en la Figura 4.

#### **Figura 4.**

*Estado larvario de la Hermetia Illucens*



**Nota:** Larvas de aproximadamente 13 a 18 días. Tomado de: A. Sing y K. Kumari, an inclusive approach for organic waste treatment and valorization using Black Soldier Fly larvae: A review, p4. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719312873>

1.5.3.c Pupas: Las pupas conservan la última piel de los 6 estadios por los que pasa, la ausencia de movimiento las caracteriza. Después de aproximadamente dos semanas en estado de pupa, estas se dispersan hacia áreas más secas donde sale el insecto o imago de su estuche, esto se lleva a cabo por el método de ampolla frontal pulsátil, haciendo que el tegumento externo de la pupa se rasgue en la región dorsal en forma crucial: vertical desde la cabeza al quinto anillo y horizontal sobre la división que está entre el segundo y tercer segmento. [9] Se puede observar mejor la descripción en la Figura 5.

En el último estadio llamado prepupas, las larvas migran lejos de la fuente de alimento a grietas secas para la pupación. En esta etapa es donde han alcanzado su tamaño máximo y donde son mayormente aprovechadas debido a su contenido

de proteína que varía entre el 36% y el 48% y su contenido de grasas que representa el 33%, finalmente se completa la metamorfosis a los 14 días donde ya se transforman en adultas. Se destaca que la mosca soldado negra no posee partes bucales, sistema digestivo o aguijón, por lo que no representa una amenaza para los seres humanos, además de ello no tienen afinidad al hábitat humano por lo que no actúa como vector para la propagación de enfermedades [3].

### **Figura 5.**

*Estado pupa de la Hermetia Illucens*



**Nota:** Pupas de aproximadamente 20 días. Tomado de: A. Sing y K. Kumari, An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review, p4. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719312873>

1.5.3.c Adulta: El color de las moscas adultas varía entre negro, verde y azul, a veces con aspecto metálico, tienen apariencia similar a las avispas y un sonido igual de fuerte al volar. Además, tienen dos alas translúcidas ubicadas en el primer segmento torácico. Su longitud varía de 15 a 20 mm. Las antenas del adulto son alargadas con tres segmentos y las patas tienen una coloración blanca cerca del final de cada pata. El sistema bucal está diseñado para no alimentarse, pues su única función como adulto es la reproducción. Dos días después de emerger el adulto de la pupa, puede ocurrir el apareamiento [9]. Se puede observar su aspecto en la Figura 6.

## Figura 6.

*Mosca Soldado negro*



**Nota:** Mosca soldado negro en etapa adulta de aproximadamente 5 a 8 días. Tomado de: A. Sing y K. Kumari, An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review, p4.

Disponible:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719312873>

Las moscas adultas no suelen ser fuertes o muy activas, generalmente pasan el día descansando sobre la vegetación y aparearse es su único fin en este estadio, puesto que no se alimentan, a excepción del consumo de agua, y adquieren la nutrición necesaria para la reproducción durante el desarrollo larval. Las hembras adultas solo se aparean una vez en su vida, por lo que ocurre un único evento de oviposición, este proceso sucede por lo regular 2 días después de la eclosión y a los 4 días aproximadamente ocurre la oviposición, este suele darse a temperaturas de 26°C y los huevos habitualmente son depositados en grietas en lugares secos que están cerca al sustrato larval [3] [19].

#### **1.5.4 Condiciones de crecimiento de la larva de MSN**

1.5.4.a Humedad: Este es uno de los aspectos más importantes en el desarrollo óptimo de la larva, de este y otros aspectos depende el crecimiento y la supervivencia debido a que la presencia de un contenido excesivo de humedad puede dificultar la velocidad de descomposición y además el residuo final puede ir acompañado de material grueso y aglomerado, lo que causa dificultad en el procesamiento posterior del cultivo y por ende para evitar dichos problemas es necesario el control adecuado de este parámetro. Autores como *Fatchurochim* en 1989 en un estudio concluyeron que para una humedad de 40 y 60% la eficiencia de supervivencia de la mosca alimentada con estiércol de aves fue más alta. Del mismo modo, en el estudio de Bancos en 2014, el mayor crecimiento de pupas se registró con un 85% de humedad presente en el lodo fecal. Finalmente, otro grupo de autores también concluyó que el 80% de contenido de humedad en el desperdicio de alimentos es óptimo para el crecimiento de la mosca soldado negro. [3]

1.5.4.b Temperatura: La temperatura es otro de los factores fundamentales que hay que tener en cuenta debido que la *Hermetia illucens* se desarrolla en un amplio rango de temperatura de 21 a 30°C, siendo su temperatura óptima de 27°C convirtiéndolas en especies euritermas, permitiéndoles metabolizar diferentes nutrientes de los desechos. Las temperaturas mínima y máxima se denominan umbrales de desarrollo y su metabolismo se ralentiza o se detiene cuando las larvas se enfrentan a entornos ambientales más allá de dichos umbrales [10].

1.5.4.c pH: La acidez es otra variable que no se puede descuidar ya que afecta la actividad y el rendimiento del crecimiento de estos microorganismos. Autores como Green y Popa, investigaron el efecto de lixiviados orgánicos y descubrieron que las larvas de MSN podían regular el pH de hasta 9 de los lixiviados orgánicos líquidos. Teniendo en cuenta muchos estudios, las larvas crecen y se desarrollan más en un sustrato de pH básico de 8 a 10, o neutro, teniendo mayor eficiencia; que en sustratos muy ácidos donde casi no regulan el pH [3].

## **1.6 Aplicaciones de las larvas de la *Hermetia Illucens***

### **1.6.1 Proteínas**

En su estado larvario se puede sacar provecho como alimento rico en proteínas para animales como aves, peces y/o cerdos, este meso organismo es bueno para la degradación de residuos orgánicos, para la alimentación de ciertos animales por sus propiedades y características, suministrando proteína cruda y lípidos con cadenas medias de ácidos grasos monos insaturados y porque no necesita de pretratamiento para disposición de la materia orgánica [4].

### **1.6.2 Biodiesel**

La MSN podría utilizarse en la producción de biodiesel a partir de la grasa de larvas, debido al alto potencial que tienen las larvas para convertir la biomasa ligninocelulósica en productos valiosos que ofrece una solución imprescindible para la producción de biodiesel a partir de materias primas más baratas [3]. El biodiesel a partir de la *Hermetia Illucens* sobre el aceite de cultivo, tiene ventajas como, por ejemplo, que no compite con el uso de la tierra o con los recursos alimenticios y la otra ventaja es que maximiza los beneficios de los residuos mediante el uso de “nutrientes de desecho” para el crecimiento de insectos. Su contenido de ácidos grasos saturados y ácidos grasos insaturados son respectivamente 85.6 y 14.3%. [11].

## **2. CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS**

Este capítulo expone información general sobre la producción de residuos orgánicos y las características fisicoquímicas de estos en la ciudad de Bogotá, más específicamente en las plazas de mercado, permitiendo determinar las condiciones iniciales para el aprovechamiento de los mismos en el proceso de compostaje con la adicción de larvas de mosca soldado negra.

### **2.1 Generación de residuos sólidos**

En muchos países la operación de rellenos sanitarios sigue siendo la más usada debido a sus ventajas económicas y presentan peligros ambientales como la generación de lixiviados contaminantes o el hundimiento de los terrenos. Otro método, es la incineración de basura que también representa riesgo a la salud, pues los trabajadores asociados a esta actividad a menudo corren más riesgo de cáncer y otros peligros.

En Colombia, en la actualidad se generan aproximadamente 11,6 millones de toneladas de residuos sólidos al año, de los cuales cerca del 40% podrían aprovecharse, pero según la Misión de Crecimiento Verde del Departamento Nacional de Planeación, solamente se recicla alrededor del 17%. Por lo que se estima que, en los próximos 10 años, la generación de residuos aumentará un 20% si los colombianos mantienen el ritmo de consumo [1].

El país afronta grandes problemáticas en el tratamiento de basuras debido a la alta generación de estas mismas, la poca separación de los residuos y el bajo aprovechamiento de los que se pueden reciclar, además se le suma la mala disposición final de las basuras pues esta se hace sin tener en cuenta asuntos técnicos que podrían evitar los impactos negativos en el medio ambiente y la salud como la generación de malos olores y por ende la propagación de plagas.

La problemática se agudiza aún más en ciudades principales como Bogotá, Cali, Medellín, Bucaramanga, entre otras, en las que la situación es más crítica día a día debido al agotamiento de la capacidad de los rellenos sanitarios para almacenar estos desperdicios.

Bogotá cuenta con un único relleno sanitario llamado Doña Juana que dispone de 592 hectáreas y lleva 30 años en funcionamiento, siendo uno de los depósitos de basuras más grandes del mundo. En la actualidad el relleno sanitario tiene una producción de 9.000 toneladas de residuos que genera a diario Bogotá lo que nos indica que en promedio una persona genera cerca de 800 gramos de basura diarios. El volumen de esta producción es tan alto que cada 2 minutos llega un camión de basura [14].

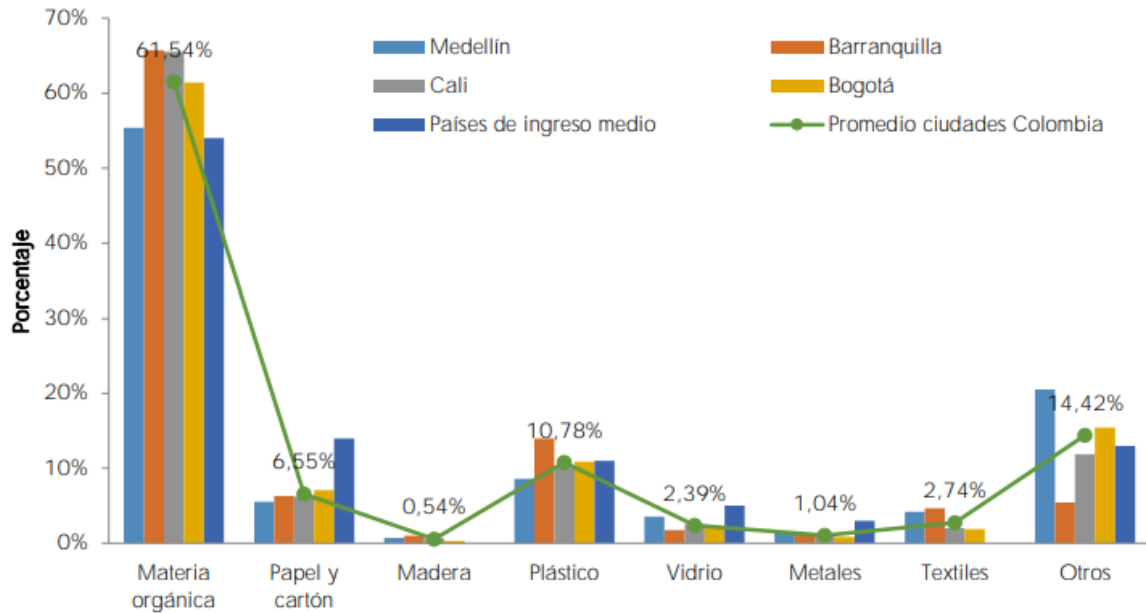
Según la CAR [14] el relleno tiene licencia hasta el 2022, se está planteando crear políticas de basura cero en la actualidad con la finalidad de traer nuevas tecnologías y así darles un mejor manejo a los residuos orgánicos buscando aprovecharlos más y de paso disminuir la cantidad de desechos que llegan al relleno sanitario.

Según la contraloría [15] Bogotá genera 2,2 millones de toneladas de basura al año, siendo la ciudad que genera más basura en Colombia, y de las cuales sólo se están aprovechando 78.616 toneladas para reciclaje. Lo que indica un índice de aprovechamiento del 3,5 por ciento. En la Figura 6, se evidencian diferentes residuos sólidos que se producen en algunas ciudades de Colombia.



**Figura 7.**

*Porcentaje de residuos sólidos producidos en algunas ciudades de Colombia*



**Nota:** Muestra el porcentaje de residuos como materia orgánica, papel y cartón, madera, plástico, vidrio, metales, textiles y otros, producidos en diferentes ciudades de Colombia como Medellín, Cali, Barranquilla y países de ingreso medio. Tomado de: CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL, POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS, p34. Disponible:

<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3874.pdf>

Se puede observar en la figura anterior que el mayor porcentaje corresponde a la materia orgánica con 61,54% y las dos ciudades que sobresalen entre las mencionadas en la gráfica, son Barranquilla y Cali, cabe destacar que la ciudad siguiente a estas dos es Bogotá, por lo que se hace indispensable cambiar la economía lineal y consumista que se está llevando hoy en día, por una circular que incluya el reciclaje de la materia orgánica, pues como se mencionó anteriormente este representa más de la mitad de basura que se produce. Por lo que se puede buscar mitigar esta propagación de desechos con tecnologías como el compostaje

mejorado, que incluye insectos que harán más eficiente el proceso y adicionará un valor agregado al método tradicional.

## **2.2 Producción y caracterización de los residuos provenientes de la plaza de mercado**

Inicialmente se buscan las fuentes productoras de mayor cantidad de material orgánico, por lo que se tienen en cuenta las plazas de mercado, Bogotá tiene 44 plazas de mercado entre públicas y privadas, de estas, 19 son de propiedad del Distrito. Estas están ubicadas en las diferentes localidades de la ciudad y por ende los desperdicios generados en estas son recolectados por los camiones distribuidos también en localidades por las empresas de servicio público, pues dichos desperdicios son considerados nulos en provecho, pasando por alto, todo lo que se puede hacer y generar con estos residuos orgánicos [17].

En la tabla 1 se observa la generación de residuos en algunas de las principales plazas de la ciudad de Bogotá.

**Tabla 1**

*Cantidad generada de residuos orgánicos en las plazas de mercado*

| <b>No.</b> | <b>Plazas de mercado distritales</b> | <b>Cantidad generada por tonelada/ año</b> |
|------------|--------------------------------------|--|
| 1          | Doce de Octubre                      | 367  |
| 2          | El Carmen                            | 160  |
| 3          | Ferías                               | 1183                                       |
| 4          | Fontibón                             | 471  |
| 5          | Galán                                | 272  |

**Tabla 2.** Continuación

|    |                                       |     |
|----|---------------------------------------|-----|
| 6  | Kennedy                               | 250 |
| 7  | La Concordia                          | 23  |
| 8  | Las Cruces                            | 181 |
| 9  | La Perseverancia                      | 311 |
| 10 | Quirigua                              | 971 |
| 11 | Restrepo                              | 149 |
| 12 | Samper Mendoza                        | 416 |
| 13 | San Benito                            | 141 |
| 14 | San Carlos                            | 38  |
| 15 | Santander                             | 148 |
| 16 | Siete de agosto                       | 803 |
| 17 | Veinte de Julio                       | 130 |
| 18 | Boyacá                                | 191 |
| 19 | Lucero                                | 47  |
|    | <b>Plaza de mercados<br/>privadas</b> |     |
| 20 | Rincón                                | 43  |
| 21 | La Gaitana                            | 97  |
| 22 | CODABAS                               | 281 |

**Tabla 2.** Continuación

|    |                     |       |
|----|---------------------|-------|
| 23 | San Cristóbal Norte | 126   |
| 24 | Usaquén             | 132   |
| 25 | Palenque            | 104   |
| 26 | Santa Librada       | 98    |
| 27 | Alfonso López       | 101   |
| 28 | La Aurora           | 122   |
| 29 | Paloquemao          | 2383  |
| 30 | La Macarena         | 356   |
| 31 | San Francisco       | 121   |
| 32 | Ismael Perdomo      | 65    |
| 33 | Rumichaca           | 66    |
| 34 | Tunjuelito          | 13    |
| 35 | Corabastos          | 11421 |
| 36 | Las Flores          | 1747  |
| 37 | Barrio Inglés       | 0     |
| 38 | La Candelaria       | 0     |
| 39 | La Placita          | 948   |

**Nota:** Se muestra la cantidad de material orgánico generado en toneladas por año de 39 plazas de mercado, ubicadas en la ciudad de Bogotá. Tomado de: H. Her-Castillo, Plazas de mercado en Bogotá, generadoras de residuos y desarrollo, p8. Disponible:

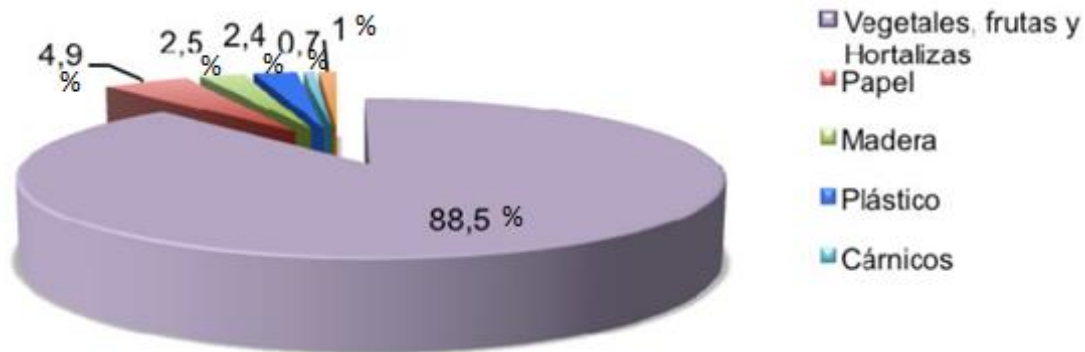
<http://www.conama.org/conama/download/files/conama2014/CT%202014/1896711446.pdf>

Se genera un total de residuos orgánicos de 6252 Ton/Año en las plazas de mercados distritales y 18228 Ton/Año en las plazas de mercado privadas para un total de 24480 Ton/Año en la ciudad de Bogotá.

Además, podemos observar en la figura 8 la distribución de los desechos generados en las plazas de mercado. En estas “los residuos sólidos generados están compuestos por residuos de origen vegetal y animal, alimentos procesados, empaques, otros residuos como textiles y papeles, y residuos inorgánicos (no susceptibles de ser degradados biológicamente)” [17].

**Figura 8.**

*Composición de los residuos sólidos generados en las plazas de mercado*



**Nota:** Se observa el valor del porcentaje asignado a cada tipo de residuos. Tomado de: H. Her-Castillo, Plazas de mercado en Bogotá, generadoras de residuos y desarrollo, p9. Disponible: <http://www.conama.org/conama/download/files/conama2014/CT%202014/1896711446.pdf>

Como lo muestra la figura anterior, el mayor porcentaje corresponde a residuos de vegetales, frutas y hortalizas con el 88.5 % y el menor a cárnicos con el 0.7%. Rectificando que el mayor porcentaje generado son los residuos orgánicos necesarios para efectuar el proceso de compostaje y aplicar el principio de economía circular, el cual convierte un residuo en un productor de valor, aprovechando la disminución de la materia prima, este es uno de los ejemplos de la economía circular, existiendo muchos más como por ejemplo, construyendo casas y oficinas sostenibles, transformando neumáticos en zapatos, entre otros.

Además de mencionar la cantidad de material orgánico generado y su respectiva composición, también es necesario en el proceso de compostaje, realizar la caracterización de la materia orgánica que se va a usar en el desarrollo, pues de ello depende la calidad del abono generado al final del proceso, por lo que se busca determinar la relación carbono nitrógeno y la humedad de la biomasa a utilizar, es por ello que se tienen en cuenta las características de los principales residuos orgánicos proveniente de las plazas de mercado.

El DAMA (Departamento Administrativo del Medio Ambiente) y el PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) [17] tomaron y recolectaron algunos datos para llevar a cabo muestreos y analizarlos en el laboratorio. Hallaron la composición física y química de los residuos sólidos generados en las plazas de mercado y midieron parámetros como contenido de humedad, relación carbono nitrógeno, contenido de cenizas, metales pesados y pesticidas, entre otros. Obteniendo los siguientes resultados como se ve en la tabla 2.

**Tabla 2.**

*Datos de composiciones químicas de residuos orgánicos*

| <b>Parámetro</b> | <b>Valor</b> | <b>Unidad</b>      |
|------------------|--------------|--------------------|
| Densidad         | 0.31         | Ton/m <sup>3</sup> |
| Humedad          | 89 y 90      | %                  |

**Tabla 2.** Continuación

|                      |                |       |
|----------------------|----------------|-------|
| Contenido de carbono | 43.5 y 49.8    | %     |
| Fenoles              | 43.5 y 316     | mg/kg |
| Nitratos             | 18.040 y 372   | mg/kg |
| Nitritos             | 5.2 y 32.8     | mg/kg |
| Nitrógeno total      | 1.1 y 2.1      | %     |
| Sólidos totales      | 8 y 20         | %     |
| Sólidos volátiles    | 78.4 y 89.7    | %     |
| Sulfatos             | 6.580 y 93.120 | mg/kg |
| Sulfitos             | 177 y 1200     | mg/kg |
| pH                   | 6.1 y 7        | -     |

**Nota:** Muestra el valor de las composiciones químicas de residuos sólidos orgánicos tomadas de las plazas de mercado estudiadas por el DAMA y el PNUD. Tomado de: H. Her-Castillo, “Plazas de mercado en Bogotá, generadoras de residuos y desarrollo”, Congreso nacional del medio ambiente, p 8-9. Disponible: <http://www.conama.org/conama/download/files/conama2014/CT%202014/1896711446.pdf>

Aunque estos datos son confirmados ya en varios estudios [17] y los resultados arrojan que la composición y las características de los residuos a tratar, son óptimos, no se conocen propuestas que sean eficientes y muestren interés en aprovechar este material.

Es importante realizar pruebas para saber la composición de los residuos orgánicos generados en las plazas de mercado mediante el método de cuarteo, ver sección 4.3.2, para poder saber si se aprueba o se rechaza los residuos en el momento que se inicia el proceso de compostaje.

**Tabla 3.**

*Características de diferentes residuos sólidos orgánicos*

| <b>Residuos</b> | <b>Características</b>  |
|-----------------|---|
| Papa            | Los minerales que podemos encontrar en la papa incluyendo la cáscara en orden decreciente son: fósforo, ácido ascórbico, calcio y finalmente hierro, lo que enriquece el abono. |
| Zanahoria       | El fósforo, el calcio y el hierro son los minerales que podemos encontrar en este tipo de residuos que de igual manera enriquecen el abono.                                     |
| Tomate          | Principalmente está compuesto por agua y en segunda instancia por hidratos de carbono, además de tener potasio, magnesio y vitaminas.   |
| Cebolla         | Este residuo contiene una fuente significativa de potasio, al igual que contiene calcio, magnesio y fósforo.  |
| Plátano         | Algunos de los minerales que se encuentran presentes en este tipo de residuos son el potasio, calcio, hierro y zinc.  |
| Pimentón        | Los minerales que se encuentran presentes en la composición química del pimentón son: el calcio, potasio, fósforo y por último el hierro.                                       |
| Yuca            | Este residuo contiene minerales como zinc, magnesio, potasio, hierro, fósforo y cobre.  |



**Tabla 3.** Continuación

|           |  |
|-----------|--|
| Manzana   | En este caso la composición de la manzana se basa principalmente en humedad, calorías y carbohidratos con rasgos de ácido ascórbico y cenizas. |
| Banano    | En este residuo encontramos alta cantidad de potasio, magnesio y fósforo.  |
| Mandarina | Este residuo es rico en calcio, magnesio, potasio y ácido fólico.  |

**Nota:** Esta tabla presenta características físicas y químicas de residuos orgánicos. Tomado de: UAESP, GUÍA TÉCNICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS A TRAVÉS DE METODOLOGÍAS DE COMPOSTAJE Y LOMBRICULTURA, p35. Requisito. [http://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP\\_SR.pdf](http://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf)

Como se observa en la Tabla 3, los residuos sólidos de las plazas de mercado, tienen un alto contenido de minerales y son aptas para la degradación por lo que poseen una alta viabilidad para ser tratadas por métodos biológicos, es por ello que el proyecto busca dar una solución sostenible y mejorada al proceso del compostaje tradicional, dando uso a uno de los insectos más estudiados recientemente por su capacidad de producir subproductos de valor y un nuevo nicho a la economía de países en desarrollo.

### **3. HERMETIA ILLUCENS EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE**

Después de realizar una revisión en la cantidad de material orgánico que se produce y un análisis cualitativo del mismo se procede a analizar en este capítulo, la implementación de la larva de mosca soldado negra para el aprovechamiento y disposición de los residuos, enfatizando en las condiciones que se deben tener en cuenta para lograr un óptimo desarrollo y crecimiento de las mismas.

#### **3.1 Características de la incubación y crecimiento de la mosca soldado negro en el proceso de compostaje.**

Las larvas de mosca soldado tienen una amplia gama de sustratos para su alimentación, ya sea plantas, animales o restos de comida, esto ocurre durante su etapa larval. Por esto es importante el tipo de alimento que se suministre porque de eso dependerá su desarrollo, crecimiento y su energía almacenada para su fase adulta, ya que no se alimenten, solo se reproducen.

En un estudio realizado por *F. Gobbi* [44] donde alimentan a un grupo de larvas con carne y el otro grupo de larvas con harina de gallina. Se encuentra que las hembras alimentadas con carne tienen una alta tasa de mortalidad, largo tiempo de desarrollo, el tamaño de las alas y de sus ovarios son más pequeñas que los que se alimentaron con harina de gallina. Esto puede deberse a que el valor nutricional de la carne es baja que hace que la cantidad ingerida por las larvas sea menor y por eso pasan más tiempo alimentándose y los adultos no acumulan la energía necesaria para su reproducción, afectando fuertemente el crecimiento de su población. Por lo que *F. Gobbi* [44] concluye que las moscas hembras con alas grandes, tienen un tamaño corporal grande y eso las hace más fértiles.

El crecimiento de las larvas se ve afectado por la calidad de los alimentos, *H. M. Myers, J. K. Tomberlin, B. D. Lambert y D. Kattes* [47] indica que si el uso final de las larvas es la venta para pienso de animales, entonces se debe alimentar en grandes cantidades a las larvas, ya que, entre más comida, mayor será su peso

pupal y deberán alimentarse con sustratos que aporten nutrientes a su desarrollo y crecimiento.

La tasa de mortalidad también tiene otros factores aparte del tipo de alimento que consume, *N. M. Studt* [46] señala que se debe al uso de pesticidas o insecticidas comerciales que se usan en los hogares para evitar moscas domésticas u otros insectos, por lo que se verían afectadas ya que al ser una especie silvestre no tiene resistencia a dichos químicos.

Aunque la *Hermetia Illucens* es una especie que sobrevive a condiciones extremas es importante controlar sus parámetros porque son de vital importancia para su desarrollo y crecimiento. En un estudio realizado por *Y. A. Chirinos* [45] indica que la mayor actividad reproductiva es al medio día por las condiciones de humedad y temperatura dada, 74,92% y 24°C respectivamente, así mismo mostró la cantidad de huevos que pusieron 20 moscas, 11 hembras y 9 machos durante 10 días con un total de 5126 huevos; sin embargo, *F. Gobbi* [44] afirma que a mayor intensidad de luz solar en la etapa de reproducción, mayor será el incremento en el número de huevos, por otra parte, menciona que la producción de huevos aumenta a medida que disminuye la densidad y el espacio por mosca en la jaula.

Si la etapa de reproducción no tiene luz solar directa, se debe implementar ventanas o vidrios en las jaulas de amor y apareamiento, ver sección 4.3.1, pero sin la entrada de gotas de agua en caso tal de que llueva. *D. Caruso*, et al. [48] en su estudio resalta la importancia del efecto negativo que trae las gotas de lluvia por su fuerza, lo que genera un impacto negativo limitando la reproducción y resalta que nunca habrá una producción máxima de huevos ya que siempre se va a ver afectada por algún factor.

### **3.2 Mosca soldado negra como tratamiento para desechos orgánicos**

Las tecnologías CORS (Conversión de Residuos Orgánicos por Saprófagos) son las usadas actualmente para el tratamiento de los residuos orgánicos ya que son factibles y económicamente viables. El vermicompostaje, la descomposición bacteriana y la descomposición por especies biológicas son los métodos que conforman estas tecnologías y son alternativas prometedoras debido a la recuperación de nutrientes a partir de desechos. En el método de descomposición por especies biológicas, el tratamiento de larvas de MSN es una de las tecnologías que reúne tres términos principales: Compostaje de desechos, recuperación de nutrientes y generación de ingresos en su aplicación, lo que la hace una alternativa que se destaca con respecto a las otras pues se considera de bajo costo, bajo mantenimiento, requiere una operación menos sofisticada, tiene una baja huella ecológica y un potencial económico más alto [3].

Como se mencionó anteriormente, en la actualidad la biotecnología de insectos ha tenido un gran éxito y está recibiendo gran atención, especialmente la *Hermetia illucens* que se ha convertido en el insecto prodigio pues la especie es robusta, tolerante y controla la plaga reduciendo la colonia de moscas domésticas como lo han concluido muchos estudios. Este insecto se destaca por tener un alto índice de conversión alimenticia y un compostaje eficiente, además de tener sustancias bioactivas en los extractos de larvas que ilustra a futuro la posibilidad de un cultivo masivo de estas mismas para el uso de bienestar humano y animal [3].

Otro aspecto a destacar es que la especie se puede cultivar y cosechar en instalaciones simples que no requieren grandes habilidades operativas y respecto a otros insectos tienen la ventaja de convertir los desechos en alimento, generar valor y cerrar los circuitos de nutrientes a medida que reducen la contaminación y los costos. En 2018 un grupo de autores entre ellos *Choudhury* [60], llamó a la *Hermetia Illucens* como una criatura dinámica por sus numerosos beneficios y la mínima intervención ambiental que representa su cultivo.

También en el ámbito económico representa oportunidades de empleo y nuevas formas de ingreso puesto que resaltan la capacidad de transformarse en un elemento empresarial rentable y sostenible ya que promueve el reciclaje y la reutilización de recursos e impactos ambientales mínimos. En 2011, Diener y otros colaboradores [61], exponen que la larva trae grandes beneficios sociales y económicos debido a la reducción masiva de residuos orgánicos en la gestión de residuos sólidos y lo corroboran con los hallazgos reportados en sus estudios donde se evidencia una reducción del 65 al 78% del total de residuos. También Pathak y otros autores en 2015 [64], realizaron un estudio con las condiciones climáticas de la india con residuos de cocina y exponen una reducción del 50% del volumen original de los desechos utilizados. Otro grupo de autores coinciden con que el mayor hallazgo de la especie es que juega un papel importante en la modificación de la microflora presente en los residuos durante el compostaje y de paso reducen bacterias desfavorables como *E. coli* y *Salmonella* entérica, secretando compuestos bactericidas nocivos. Adicionalmente se informa que las moscas soldado negras logran controlar naturalmente la población de moscas de vivienda, pues repelen su oviposición, lo que es muy positivo teniendo en cuenta que las moscas de vivienda son transportadoras de patógenos y enfermedades.

Otra característica de la MSN es que, aunque exista la presencia de metales pesados y condiciones adversas, esta no afecta la fecundidad de la especie, esto lo confirmó un estudio realizado por Diener en 2015 [65] revelando que la acumulación de metales pesados como cadmio, plomo y zinc, no tuvieron un efecto sobre el ciclo de vida de estas. Adicionalmente otros autores como Ortel en 1995 [66] y Maryanski [67] en 2002 tuvieron una correlación positiva con los hallazgos anteriores. «Las larvas de MSN también han mostrado supresión de la propagación y distribución de medicamentos como carbamazepina, roxitromicina y trimetoprim y pesticidas (azoxistrobina y propiconazol) en el medio ambiente sin evidencia de bioacumulación en las larvas. Recientemente, en 2018 también se informó que las larvas tienen la capacidad de degradar el 97% de la tetraciclina, en la flora micro intestinal (Bacteroidetes, Firmicutes y Proteobacteria, Basidiomycota, Lysurus, Trichophyton y Entyloma) esto jugó un papel vital en el proceso de degradación.

Pero no se puede ignorar el hecho de que los productos químicos o los metales pesados pueden tener un gran impacto en los rasgos del ciclo de vida de la especie y el desarrollo de los huevos.»

Adicionalmente las larvas tienen la capacidad de alimentarse de una variedad de residuos orgánicos como paja de arroz, grano de destilería, lodos fecales y desperdicios de alimentos en general. Diener en 2009 [62] afirma que *Hermetia illucens* contribuye exponencialmente a la agricultura sostenible debido a que son bastante eficaces para reducir el volumen de desechos orgánicos mientras al mismo tiempo lo convierte en biomasa rica en proteína. En la universidad estatal de Carolina del Norte se llevó a cabo un estudio en 2006 con estiércol de cerdo, donde las larvas que se alimentaban de este, no solo redujeron la biomasa, sino que también redujeron aproximadamente el 85% de nitrógeno y el 75% de fósforo en el estiércol. Otro estudio en 2014 por un grupo de autores mostró una reducción del contenido de nitrógeno en un 30 a 50% y de fósforo en un 61 a 70% en el estiércol de vaca. Por otra parte, un estudio en Costa Rica, demuestra que las larvas redujeron en un 68% la materia seca a pesar de la existencia de un ambiente hostil y la presencia de alimentos contaminados con zinc; sin embargo, debido a la contaminación y factores de estrés adicionales se vio reflejado en cierto modo una afectación a la fecundidad de la especie [3].

Estos y otros hallazgos concluyen que una alimentación equilibrada bajo los requisitos ambientales y nutricionales adecuados pueden llegar a impulsar el sistema de compostaje con larvas de mosca soldado negro de una manera muy eficiente, adicionalmente es necesario un sistema de drenaje adecuado para hacerlo más efectivo [3].

### 3.3 Usos y aplicaciones de *Hermetia Illucens*

#### 3.3.1 Fertilizantes

Una de las aplicaciones y característica importante de *Hermetia illucens* es que mientras se alimenta y descompone el material orgánico, va generando residuos que pueden ser usados como fertilizante gracias a que contiene muchos nutrientes, esta característica permite contribuir por medio de aplicaciones agrícolas como la producción de compost y biogás a los ingresos del país. Esto se corrobora con un estudio realizado en el 2012 por Green y Popa donde evidencian que se podía llevar a cabo la bioconversión de 30 toneladas de residuos orgánicos por día, de los cuales el 33,3 % que se producían, se podía usar como fertilizantes y adicional a este, había un 7,7% de biomasa pre pupal disponible para alimentación animal. Así mismo grupo de autores coinciden con los hallazgos, informando que el estiércol larvario poseía cualidades similares a los fertilizantes y por ende podía usarse como compuesto para los cultivos [3].

Otro estudio realizado en 2019 por Sarpong [20] confirmó también el uso positivo del compost resultante en la agricultura por medio de la relación carbono a nitrógeno. Afirman que cualquier compost con relación C:N mayor a 30 causará una inmovilización si se aplica al suelo y una relación C:N menor a 20 causará la mineralización de nitrógeno orgánico a inorgánico, lo que resulta adecuado para las plantas. Los resultados que se obtuvieron fue una relación C:N de 14:1 a 8:1 indicando la relación más alta y otra relación C:N de 14:1 a 9:1 indicando una baja relación, lo que hace que entren en el límite permitido y sugieren el uso del compost obtenido por las larvas para el propósito agriculturas.

Adicionalmente y resaltando el tratamiento con larvas de MSN, en un estudio del 2017 se observó que, a diferencia de otras tecnologías convencionales, esta tiene un potencial de calentamiento global mínimo. En correspondencia con este estudio, *Perednia* y otros autores [3] reportaron una menor cantidad de emisiones de dióxido de carbono y metano con respecto a la descomposición microbiana, debido a la

particularidad que tienen las larvas de promover el secuestro de carbono, pues tanto el proceso de compostaje como la descomposición microbiana liberan aproximadamente 70% más de gases de efecto invernadero que el proceso con larvas, esto gracias a que las mismas almacenan la mayor parte de carbono liberado en el cuerpo en forma de nutrientes como proteínas, lípidos, quitina y grasas, lo que además permite darle un valor agregado en comparación con el compostaje. También tiene la ventaja de requerir menos tierra para la producción de alimentos y energía.

### **3.3.2 Alimentación animal**

En los últimos años *Hermetia illucens* ha sido estudiada principalmente como fuente de alimento animal, la larva de MSN ha demostrado que su cultivo en desechos orgánicos representa un excelente alimento para pollos, cerdos y peces entre otros animales. Estudios de diferentes autores [21] han informado que dichas larvas presentan un óptimo perfil nutricional pues se ha encontrado en estas, proteínas aisladas similares a la de la carne o la soja que tradicionalmente son usadas para los piensos de alimentación animal. También se ha hallado que estas contienen sustancias que pueden producir efectos inmunoestimuladores en los animales, así como péptidos antimicrobianos.

Varios estudios confirman que la producción de larvas de MSN puede suplir la harina de pescado gracias a los nutrientes que esta presenta. Uno de ellos en 2017 por *Cummins* y otros autores, reemplazó la harina tradicional de pescado por 25% de harina de larvas de mosca soldado negro. En el mismo año, *Magalhaes* y otros autores, concluyeron sin diferencia en los patrones de crecimiento de Lubina Europea (*Dicentrarchus labrax*), el cambio del 19% de la harina tradicional con harina de larvas de MSN, además destaca que al alimentar las larvas con residuos heterogéneos puede incluso mejorar la composición de nutrientes de estas que al someterlas a una alimentación homogénea. De la misma manera, en otro estudio las larvas fueron sometidas a una alimentación mixta con estiércol de vaca y despojos de pescado, lo que produjo un aumento del 43% en las secreciones de



lípidos con respecto a las que fueron alimentadas únicamente con estiércol de vaca. También existen estudios disponibles que registran mayores niveles de ácidos grasos omega-3, en pequeñas cantidades del 3%. Por todo ello las larvas de la MSN pueden ser vendidas por separado debido a sus diferentes nutrientes como grasas, proteínas, lípidos y quitina en vez de ser vendidas en una sola pieza, lo que le da un valor económico agregado a la especie [3].

Como se mencionó anteriormente, la quitina es uno de los nutrientes presentes en la cutícula de la larva, esta puede ser de interés comercial debido a su amplia aplicación en campos de la medicina y biotecnológicos gracias a su alta composición del 6,9% de nitrógeno comparado con la celulosa sintética que contiene el 1,25% de este. Otros estudios evalúan también el aspecto nutricional, encontrando la acumulación del 37% de carbohidratos, un 9% de quitina, un 15% de lípidos y finalmente un 32% de proteínas en las larvas de MSN. Adicionalmente *Webser* y otros autores informan un 10% de acumulación de lípidos y un 41% de proteínas en larvas alimentadas con sustrato de pescado [3].

Debido al alto precio actual de las fuentes de proteína para la alimentación animal, los avicultores y acuicultores han estado bajo presión buscando nuevas fuentes disponibles para este fin y encontraron en su estudio que las larvas de MSN son una fuente alternativa a la comida tradicional por su fuente de aceites, grasa convencional y proteínas para los animales de aves de corral. Así mismo varios autores en diferentes años, afirman el uso de larvas en la producción de piensos para la Tilapia azul (*Oreochromis aureus*) y el pez gato americano (*Ictalurus punctatus*) siendo una opción económicamente viable pero que aún necesita ser mejorada para generar suficientes larvas y suplementar la producción de la harina tradicional [3].

Además de la sustitución de la harina de peces, las larvas también están siendo utilizadas para la alimentación de aves de corral, reemplazando la soja o el maíz y la razón principal es la economía circular, pues las larvas tienen un alto potencial para reducir los desechos de aves de corral y posterior a ello, ser usadas para alimentar las aves. En el mismo sentido algunos autores han informado de que la

codorniz japonesa y el pollo (*Coturnix japonica* y *Gallus gallus domesticus*) alimentados con larvas de MSN mostró buenos rendimientos y un aumento en la composición de aminoácidos de la carne, pero con un aumento de las concentraciones de ácidos grasos saturados menos requeridos. De modo que se puede deducir que el cultivo de larvas de MSN actúa como una excelente fuente de alimentación para las aves de corral y a su vez representan un beneficio adicional ya que son capaces de reciclar y disminuir los residuos de las mismas. Igualmente, la especie puede ser criada en desechos de cerdo y vaca [3].

Concluyendo lo anteriormente expuesto en varios estudios realizados [3], las larvas son consideradas a nivel mundial como un alimento de alta calidad para cerdos, ganado o animales de corral debido a su alto contenido de proteína y lípidos, además de tener una gran ventaja con respecto a otras carnes animales ya que la producción de estas tiene menor impacto ambiental comparado con las mencionadas anteriormente.

En países como Europa que no tienen antecedentes de consumo de insectos son aún más estrictos con estas regulaciones. Aunque, la organización para la agricultura y la alimentación de la ONU ya han identificado 6 especies de insectos como seguros para el consumo humano y animal, entre ellos está las larvas de MSN. Así mismo en Estados Unidos, la FDA (Administración de medicamentos y alimentos) junto con la AAFCO (Asociación Americana de Control de Alimentación) se ocupan de la ficha técnica de seguridad, distribución importación y exportación de larvas de MSN como pienso para alimento de peces y aves de corral [3].

### **3.3.3 Biodiesel**

La demanda de combustibles y energía se intensifica rápidamente día a día con el aumento de la población y los desarrollos de las industrias, se espera que para el 2040 la demanda de energía en el mundo aumente hasta 820 billones de BTU. Adicional a esto se ha restringido el uso de los combustibles fósiles por cuestiones relacionadas al calentamiento global y el cambio climático, es por ello que el concepto de un combustible renovable como el biodiesel se está popularizando en

todo el mundo desde las dos o tres últimas décadas. El alto potencial de las larvas de MSN para convertir biomasa lignocelulósica a productos valiosos, lo hace una solución a la producción de biodiesel a partir de materias primas más económicas. En 2012 un grupo de autores llegan a la conclusión de que las larvas de MSN alimentadas con mezcla de paja de arroz y residuos sólidos provenientes de un restaurante, les dan a las larvas un 30% y 70% de grasa larval que se usó y sintetizó para la producción de biodiesel. Afirman que a partir de 2000 larvas alimentadas con 1000 g de sustrato produce aproximadamente 43,8 g de biodiesel [3].

También en el 2017, *Girotto* en compañía con otros autores [21], alimentaron larvas con residuos de cultivos y hallaron que el contenido del biodiesel era de 85,6% de ácidos grasos saturados y el 14,3% de ácidos grasos insaturados. Por lo que se concluye que, a parte de la producción de harina alta en proteínas, las larvas de MSN también pueden ser usadas para la producción de biodiesel utilizando biomasa desgrasada, pues gracias al buen perfil de ácidos grasos, la calidad del biodiesel de larvas se compara favorablemente al biodiesel de origen vegetal y cumple con los criterios seleccionados de la norma EN 14214, esta norma detalla los métodos de ensayo y los requisitos de ácidos grasos para utilizarse como combustible en motores diésel.

### **3.4 Condiciones y parámetros de crecimiento**

Existen factores abióticos como la temperatura, la fuente de luz y la humedad relativa, así como factores del proceso como humedad y pH que afectan la eficiencia y el desarrollo de la oviposición de las larvas como especie, por lo que se han generados varios estudios que establecen parámetros y condiciones óptimas para el desarrollo de *Hermetia Illucens* en el tratamiento de los residuos orgánicos.

#### **3.4.1 Temperatura**

Uno de los principales factores y más relevantes, es la temperatura. Al ser especies euritermas, las larvas de MSN pueden tolerar un amplio rango de temperaturas que van desde los 15°C hasta los 47°C, pero así mismo para desarrollarse óptimamente

son extremadamente sensibles. Varios autores hallaron en los estudios realizados que el 99,6% de la oviposición ocurre en un rango determinado de temperatura comprendido entre 27.5 °C y 37.5°C. Otro autor que coincide con los hallazgos es *Tomberlin* en 2009 [52], encontrando que la temperatura en la que fue más eficiente el desarrollo tanto de machos y hembras fue de 27°C, mientras que a temperaturas más altas como 30°C a 36°C, el metabolismo de las larvas aumenta, haciendo que los adultos sigan siendo pequeños y por ende tengan una vida útil más corta. Adicional a esto encontró que, a la temperatura de 27°C, las larvas pesaban entre el 5% y el 10% más que las que fueron criadas a 30°C. Otros hallazgos relacionados positivamente entre sí, afirman que la temperatura de 27°C es la óptima para el apareamiento y la puesta de huevos.

En 2016, Park señaló que la temperatura y la humedad deben mantenerse de manera óptima, pues trae graves consecuencias en la eclosión de huevos y el desarrollo de las colonias [3]. Aunque la temperatura de supervivencia es de 0°C a 45°C, el Instituto de Confucio de la UNC (Universidad Nacional de Córdoba) para el medio ambiente afirma que la temperatura ideal para el consumo de alimentos es de 30 a 35°C y otro estudio que se realizó en el 2013 con heces humanas, coincide con que a temperaturas de 25 a 30°C las condiciones son ideales. Así mismo Diener y otros investigadores en 2011 [61] observaron que las condiciones ideales para la reproducción se dan a 32°C y pueden sobrevivir a temperaturas de 15 a 47°C. *Nguyen* en 2015 acompañado de otros autores, exponen temperaturas que varían de 27°C a 32°C, de igual forma *Harnden* y *Tomberlin* [53] coinciden que a 27 y 32°C tienen un 30% más de peso que los criados a otras temperaturas, pero tardan un poco más de horas en desarrollarse. *Tomberlin* en otro estudio del 2009 [52] concuerda con que, a esas temperaturas, las hembras pesan de 17 a 19% más que los machos.

### **3.4.2 Contenido de Humedad**

El segundo factor más relevante e importante junto con la temperatura, es la humedad, así lo afirman varios autores que manifiestan la dificultad en la velocidad

de descomposición por la presencia de humedad excesiva que también está acompañada de material espeso y grumoso que dificulta el posterior procesamiento de este. Esto se puede evitar mediante un control adecuado de la humedad. Uno de los primeros estudios en 1989 por *Fatchurochim* y otros autores [54], concluyó que en un contenido de humedad comprendido entre el 40% y el 60% en un sustrato de estiércol de aves, la supervivencia y eficiencia de la MSN fue mayor. De manera similar, *Bancos* en el 2014 registra un crecimiento de pupas mayor en un 85% de contenido de humedad, también en lodos fecales. Adicionalmente, otros autores en 2017 concuerdan que el contenido de humedad al 80% es el óptimo para el crecimiento de las larvas. Otro grupo de autores informa que, en condiciones de laboratorio, la humedad relativa óptima para el desarrollo es del 90% [3].

En 2012, *Holmes* junto a otros autores [55] concluyeron que las especies sometidas a niveles de humedad relativa del 70% tienen de 2 a 3 días más de supervivencia, mientras que a humedades relativas bajas como 25% la tasa de mortalidad de las especies es más alta.

La humedad desempeña un papel importante en las actividades metabólicas de las larvas y los microorganismos presentes, debido a que indirectamente suministra oxígeno. En el estudio realizado por *Sarpong* y otros autores en 2019 [56], observaron que el contenido de agua de la materia prima era adecuado; sin embargo, observaron la generación de lixiviados en los biodigestores por esta misma razón. La humedad registrada en este experimento fue del 40% y el 60%, registrando que a un 40% de humedad relativa, las larvas se ralentizaba junto con la actividad bacteriana y a una humedad superior al 60% se producía lixiviado de nutrientes y un posible olor ambiental [20].

Agregaron que a una humedad superior al 60%, el compuesto requiere de postratamiento como puede ser un secado y mejoran la aireación con movimientos de giro, adicional a la que producen naturalmente las larvas con su paso [20].

### **3.4.3 pH**

Varios estudios confirman que, para un desarrollo y crecimiento larvario óptimo, el valor del pH debe ser superior a 6; sin embargo, algunos autores concluyen que la capacidad de regular el pH depende estrictamente de la densidad de las larvas. Uno de los autores que mayormente ha investigado el desarrollo larvario en diferentes niveles de pH es Mat en 2018 y señaló que el rango óptimo de este parámetro para el crecimiento y el rendimiento de las larvas es de 6 a 10 y que estas larvas tienen más peso que las otras larvas sometidas a niveles de pH entre 2 y 4. Adicional a esto, también concluyó que las larvas son capaces de regular el pH del sustrato alcalino, pero no del sustrato ácido [3] [23].

Adicionalmente en 2012, Green y Popa [51] investigaron el efecto del lixiviado orgánico, hallando que las larvas de MSN pudieron regular el pH hasta 9 de los líquidos orgánicos llamados lixiviados.

### **3.4.4 Fuente de luz**

Este es un parámetro importante en cuanto al apareamiento de la mosca soldado negra, pues la luz solar juega un papel muy importante en este aspecto, por lo que en países con estaciones, su apareamiento no es posible en temporadas de invierno. Para ello se ha buscado implementar la luz artificial. En 2016, Park [69] afirma que el 85% de los eventos de apareamiento suceden con luz solar a una intensidad de  $110 \mu \text{ mol m}^2 \text{ s}^{-1}$ . La luz artificial juega un papel importante en el apareamiento de estas fuera de sus hábitats naturales que suelen ser climas tropicales. Se llevó a cabo un estudio donde usando lámparas de yoduro de cuarzo a una intensidad de luz de  $135 \mu \text{ mol m}^2 \text{ s}^{-1}$ , ocurre el apareamiento y oviposición de manera positiva. Afirman estudios de varios autores [70], que los insectos no ven la luz más allá de los 700 nm y que por lo tanto se pueden llevar a cabo los eventos reproductivos a un rango de longitud de onda entre 450 y 700 nm. Sin embargo, se requieren más estudios de mayor profundidad para tener una mejor comprensión del comportamiento de la especie bajo la influencia de la luz artificial y obtener información acerca del espectro apropiado [3].

En 2018, *Heussler* junto a un grupo de autores [57], demuestran la crianza con luz artificial, estudiando el efecto de 3 diferentes fuentes de luz en la oviposición de las moscas. Mientras que los huevos no se vieron afectados por la fuente de luz, las moscas que crecieron en los ambientes con luz halógena tuvieron una vida media más corta que las que crecieron bajo luces LED y concluyeron que podría deberse a la alta temperatura de las lámparas halógenas [22].

Se destaca adicionalmente, que es importante proteger los contenedores de la luz solar directa, pues esta puede aumentar la temperatura de los mismos y comprometer la eficiencia y el desarrollo de las larvas de mosca soldado negra [22].

## **4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL USO INTEGRAL DE LA LARVA DE MOSCA SOLDADO NEGRA**

En este capítulo se establecerán las especificaciones técnicas del uso integral de la larva de mosca soldado negra, se plantea el diagrama de proceso y los balances de materia. Una vez analizadas las condiciones y parámetros óptimos de crecimiento para *Hermetia illucens* en el proceso de descomposición de residuos sólidos orgánicos establecidos en el capítulo 3, se propone la implementación de esta en un proyecto piloto para una plaza de mercado pequeña (plaza de mercado Tunjuelito).

### **4.1 Descripción general del proceso**

El proceso inicia con la disposición de residuos sólidos orgánicos los cuales están libres de material inorgánico y elementos peligrosos; esta materia orgánica es llevada a un equipo de trituración, puesto que es necesario que esté molida, triturada o cortada a fin de facilitar el proceso de alimentación y descomposición para las larvas. Después de esto, se aplica el método de cuarteo para homogeneizar la mezcla y a su vez hacer una toma de muestras que permitirá conocer el estado inicial de la biomasa a tratar. Posterior al cuarteo, se agrega los residuos orgánicos en el biorreactor junto con las larvas que acaban de eclosionar y una adición de material seco para control de humedad; estas larvas son provenientes de una cama madre donde se ubica el moscario y por ende la cría de estas. En los biorreactores se van a medir los parámetros necesarios como humedad, temperatura y pH para el desarrollo y crecimiento óptimo de las larvas. Después de aproximadamente 15 a 20 días, se recolectan las larvas y el abono orgánico proveniente del biorreactor y se continúa con el ciclo de disposición de residuos usando *Hermetia Illucens*.

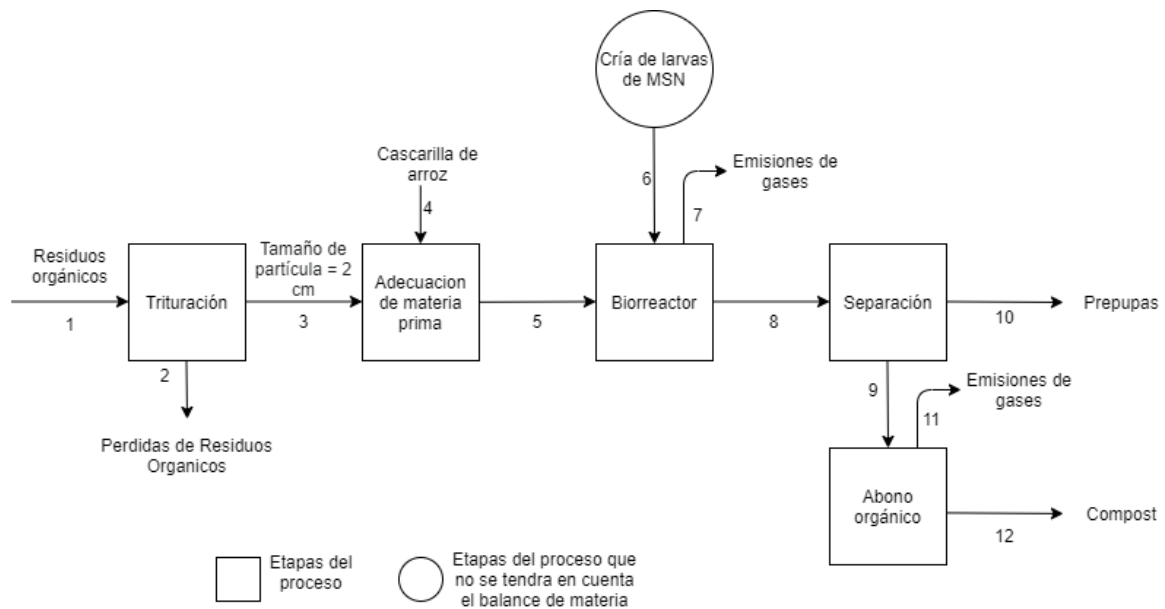


## 4.2 Diagrama de bloques general del proceso

Existen unidades de procesamiento que contienen etapas individuales llamadas operaciones unitarias que conforman el proceso de tratamiento de residuos sólidos orgánicos mediante el uso de larvas de mosca soldado negra y serán representadas gráficamente en el diagrama de bloques (ver figura 9) que incluirá las corrientes que intervienen en este proceso para ejecutar posteriormente un balance de materia que permitirá dimensionar el proyecto piloto. Adicional a esto se explica lo que ocurre en cada unidad de procesamiento.

**Figura 9**

*Diagrama de bloques del procesamiento de residuos orgánicos usando *Hermetia Illucens**



**Nota:** Esta figura muestra el diagrama de bloques general indicando cada etapa del proceso que se tendrá en cuenta o no en el balance con su respectiva corriente.

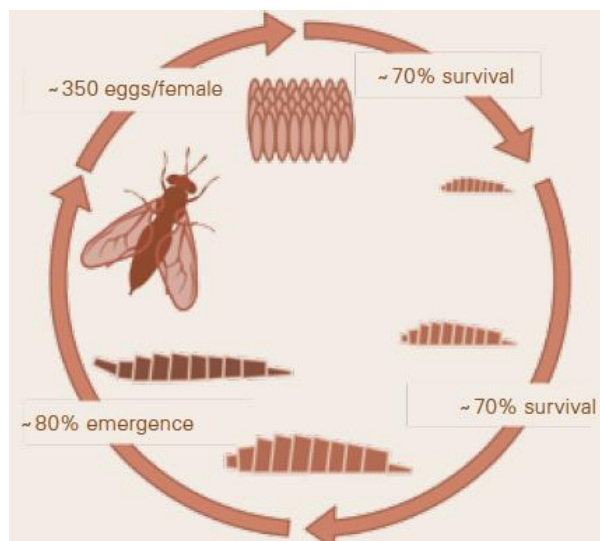
## 4.3 Unidades de procesamiento

### 4.3.1 Unidad de cría de la MSN

Para asegurar el tratamiento del ciclo de vida de la *Hermetia Illucens*, es importante controlar cada etapa de crecimiento, desarrollo, apareamiento y eclosión de huevos y monitorear su desempeño. En un criadero de moscas soldado negro bien diseñado, es fácil controlar el número de pre pupas que puedan pasar a su fase adulta, y así se estima un número de moscas que emergerán, lo que se podrá saber cuántos huevos depositarán, cuántas larvas eclosionarán y así podrán estar disponibles en el tratamiento de residuos orgánicos [24] La tasa de supervivencia difiere de un vivero a otro, ver figura 10.

**Figura 10.**

*Indicadores de rendimiento de una instalación de cría MSN*



**Nota:** Muestra el rendimiento de supervivencia en cada etapa de la *Hermetia Illucens*. Tomado de: B. Dortmans, S. Diener, B. Verstappen y C. Zurbrügg, *Black Soldier Fly Biowaste Processing*, p11. Disponible: [https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF\\_Biowaste\\_Processing\\_LR.pdf](https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF_Biowaste_Processing_LR.pdf)

4.3.1.a Jaulas oscuras: Existen dos maneras de recolectar las prepupas, cuando ellas migran por sí solas, suben la rampa y caen a un contenedor; y la otra es después de los 15 días de procesamiento de MSN, cuando se recoge el abono orgánico y se tamiza, se encuentra larvas que tiene su peso máximo, pero no han llegado a su fase pre pupa. Para ayudar en su proceso de pupación, se llevan las larvas a unos contenedores apilados unos sobre otros y se tapan completamente, a esto se le llama jaulas oscuras, ver figura 11. Este ambiente oscuro facilita la protección del ambiente externo cambiante, es decir, humedad, temperatura, movimiento del aire, etc. [24].

**Figura 11.**

*Jaulas oscuras*



**Nota:** Muestra la adecuación de las jaulas oscuras. Tomado de: B. Dortmans, S. Diener, B. Verstappen y C. Zurbrügg, Black Soldier Fly Biowaste Processing, p30. Disponible: [https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF\\_Biowaste\\_Processing\\_LR.pdf](https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF_Biowaste_Processing_LR.pdf)

La capa que tapa los contenedores de larvas tiene una tela suave oscura por dentro y una tela de mosquitero en la parte exterior, ambas telas permiten el paso de aire. Se ponen trampas de hormigas en las patas, puede ser agua con jabón. Después de 10 días, la fase de pupación ha finalizado, y su cuerpo empieza a secarse, lo que facilita su conversión a moscas; las moscas van a permanecer inmóviles hasta que haya una fuente de luz, ahí las moscas pasan por un canal que se conecta a otra jaula, llamada jaula de amor, donde empiezan a aparearse [24].

4.3.1.b Jaulas de amor y apareamiento: Cuando llegan a su fase final, moscas, estas se reproducen en una jaula de amor; está cuelga de un marco móvil iluminado y está conectada por un túnel a varias jaulas oscuras. Este método es útil ya que permite el paso constante de moscas de la misma edad, es muy importante que todas tengan la misma edad, ya que así copulan y ponen huevos aproximadamente al mismo tiempo; por lo que todas tendrán la misma función en el biorreactor. En estas jaulas de amor, ver figura 12, habrá suficiente agua, ya que deben hidratarse para poder reproducirse, debido a que las moscas no comen ya que tuvieron 13 días para comer y guardar suficiente grasa y energía para su reproducción [24].

## Figura 12.

### *Jaula de amor*



**Nota:** Jaulas de amor conectadas por un túnel a las jaulas oscuras. Tomado de: B. Dortmans, S. Diener, B. Verstappen y C. Zurbrügg, Black Soldier Fly Biowaste Processing, p13. Disponible: [https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF\\_Biowaste\\_Processing\\_LR.pdf](https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF_Biowaste_Processing_LR.pdf)

En la figura 13 se puede observar como la jaula de amor está hecha con un mosquitero con presilla, o ganchos, en cada esquina para poder sostenerla y darle la forma que se quiere, tiene una cremallera larga para la abertura, una abertura de túnel central redonda y en cada pata poner trampas para hormigas. Esta jaula de amor es ideal para 6000 a 10000 moscas [24].

## Figura 13.

### *Jaula de amor*



**Nota:** Configuración para la jaula de amor. Tomado de: B. Dortmans, S. Diener, B. Verstappen y C. Zurbrügg, Black Soldier Fly Biowaste Processing, p26. Disponible:

[https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF\\_Biowaste\\_Processing\\_LR.pdf](https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF_Biowaste_Processing_LR.pdf)

4.3.1.c Deposición y recolección de huevos: En la parte inferior de cada jaula de amor se pondrá un medio llamado *eggie* [24] ], ya se de cartón o madera, con cavidades protegidas que aseguran la deposición de huevos, también se pondrá un atrayente que imite los desechos orgánicos para atraer a la hembra a poner huevos cerca. En la figura 14 se puede ver varias formas y materiales del *eggie*.

## Figura 14.

### *Eggies*



**Nota:** Muestra los diferentes materiales y formas del eggie. Tomado de: B. Dortmans, S. Diener, B. Verstappen y C. Zurbrügg, Black Soldier Fly Biowaste Processing, p11. Disponible:

[https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF\\_Biowaste\\_Processing\\_LR.pdf](https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF_Biowaste_Processing_LR.pdf)

Los huevos deben ser manipulados lo más mínimo, ya que en cada movimiento o toque en el paquete de huevo, la tasa de supervivencia disminuye. Los medios que son de láminas de madera tienen chinchas en los extremos para que pueda haber un espacio entre las láminas para la deposición de los huevos y van unidas por un caucho o banda elástica. Los huevos de madera conocidos como “*Bioballs*” o “*Oviballs*” han demostrado en la práctica dar buenos resultados en la cantidad de huevos, también se fabrican como biofiltros para estanques y acuarios. Estos materiales de cartón y madera absorben humedad cambiando así el peso del huevo [24] En la figura 15 se puede observar *Eggies* de láminas de madera y los *Bioballs*.

**Figura 15.**

*Eggies*



**Nota:** Muestra láminas de madera y bioballs. Tomado de: B. Dortmans, S. Diener, B. Verstappen y C. Zurbrügg, Black Soldier Fly Biowaste Processing, p23-27. Disponible:

[https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF\\_Biowaste\\_Processing\\_LR.pdf](https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF_Biowaste_Processing_LR.pdf)

Para prevenir errores, la elección de un *eggie* de plástico o reutilizable es la mejor opción, ya que, es rápido y fácil de limpiar, o como última opción un *eggie* de un solo uso. Una vez los huevos estén depositados, se cosecha y se lleva a una ducha de cría, son contenedores de crías con huevos recolectados de días anteriores. Después de la eclosión, las larvas salen del huevo y caen abajo al recipiente donde son alimentados, la mezcla [24].

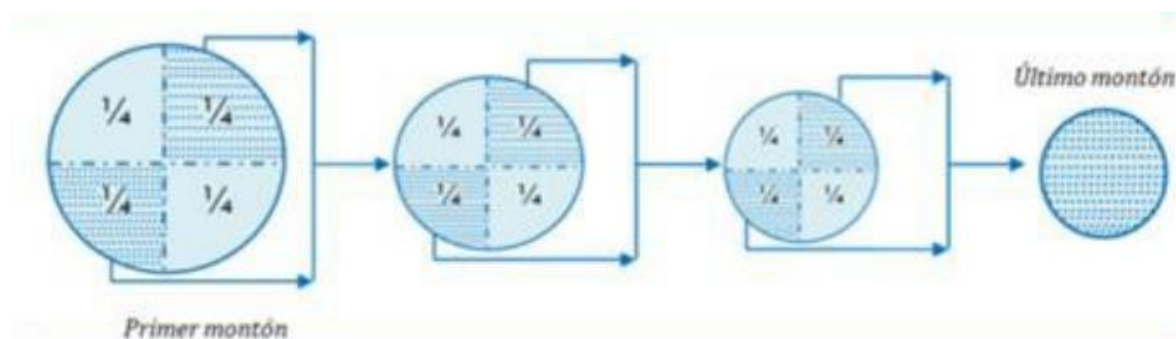
#### **4.3.2 Unidad de procesamiento de residuos**



4.3.2.a Método de cuarteo: El primer paso importante para la correcta caracterización de la materia orgánica inicial se suele usar el método de cuarteo, consiste en homogenizar la muestra en forma de círculo para posteriormente dividirlo en 4 partes, de las cuales se retirará 2 de ellos aleatoriamente que estén diagonal y opuestos entre sí, se mezcla el material restante y se cuartea de la misma manera hasta conseguir una muestra significativa y de la cantidad que se requiera, como se observa en la Figura 16. Esto con el fin de ser llevada al laboratorio para la realización de las pruebas fisicoquímicas que indican el estado inicial de la muestra y poder predecir la calidad del material remanente final.

**Figura 16.**

*Método de cuarteo*



**Nota:** Muestra el debido proceso para realizar un buen método de cuarteo. Tomado de: Método para la Caracterización, p4. Disponible: <https://dokumen.tips/documents/metodo-del-cuarteo.html>

De no poderse ejecutar la técnica de muestreo o las pruebas de laboratorio, se definirán las características de los vegetales, frutas y hortalizas más encontradas en la plaza de mercado como se observa en la tabla 3 para posteriormente realizar un análisis y definir los residuos más convenientes para el compostaje.

4.3.2.b Trituración: Luego del método de cuarteo, y homogeneizar la muestra, se debe garantizar que no contengan materiales peligrosos, ni sustancias inorgánicas, por lo que se llevará a cabo una inspección física y a nivel de laboratorio de los residuos sólidos orgánicos dispuestos por el ente recolector de las basuras; en caso

de que contenga detergente, disolventes, pesticidas y metales pesados, la basura debe ser rechazada en su totalidad [24].

Después de inspeccionar y aprobar el sustrato de las larvas de la mosca soldado negro, el paso importante a seguir es la reducción del tamaño de partículas; independientemente del equipo o tipo de tecnología que se use, ya sea trituradora o molino de martillo, el material orgánico tiene que reducir su partícula de 1 a 2 cm de diámetro, debido a que las larvas de mosca soldado negro no tienen piezas bucales adecuadas para romper grandes trozos de desechos [24].

4.3.2.c Adecuación de la materia prima: Por último, se debe mirar la cantidad de humedad presente en los residuos orgánicos, si la humedad es superior al 80%, deberá deshidratarse o mezclarse con otra fuente de residuos secos, puede ser hojas secas, cáscaras de arroz o salvado de trigo para retirar el exceso de humedad [24]. Existen varias maneras para deshidratar el material orgánico, una manera muy sencilla es introducir los desechos en una malla, o bolsa que actúe como filtro. Otros equipos podrían ser una prensa de tornillo horizontal o una prensa de sidra.

Se debe agregar agua si el contenido de humedad es inferior al 60%. Se puede hacer una prueba de humedad exprimiendo un puño de desechos, y si muy pocas gotas de agua emergen del puño, se puede decir que los residuos están muy secos [24]. Sin embargo, hay que hacer toma de muestras para saber el contenido exacto de humedad, ya que la prueba puño es una estimación a tener en cuenta. La muestra se pesa, se seca en un horno a 105°C durante 24h y luego se vuelve a pesar.

#### **Ecuación 1.**

$$\% \text{Humedad} = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso húmedo}} * 100 \text{ [24]}$$

Para mayor precisión en cálculos, y datos, se debe pesar el material orgánico después de haberlo triturado, y si el material orgánico debe deshidratarse, deberá pesarse después de retirar el exceso de agua. La diferencia entre el total de

residuos triturados y el total de residuos deshidratados es la cantidad de agua eliminada [24]

### **4.3.3 Unidad de tratamiento de residuos con MSN**

En esta zona estarán ubicados los biorreactores, la cantidad de larvas dependen de la cantidad de residuos que se agreguen para un volumen y área específico. *Dortmans y Diener* [24] tienen como regla general 10000 larvas para 15 kg de sustrato en un larvero de 40x60x17 cm<sup>3</sup> con un volumen de 40,8 L, alimentan las larvas 3 veces, agregan el sustrato el primer día, y más alimento el día 5 y el día 8. mientras que *H. Guo, C. Jiang, Z. Zhang, W. y H. Wang* [30] usan cajas con un volumen de 30 × 26 × 17 cm<sup>3</sup> con 14000 larvas y alimentan todos los días con cantidad de sustrato diferente como se muestra en la figura 17, y *A. Parodi, et al.* [34] usan cajas de 50x30x10 cm<sup>3</sup> con 10000 larvas y 4 kg de sustrato, hasta que hayan crecido lo suficiente para ser cosechadas entre el día 10 y 13 [24]

Durante esos 12 días, las larvas se alimentan de los desechos, degradan la materia orgánica y metabolizan los nutrientes en biomasa. Si se agrega demasiados desechos, se hará una capa de residuos sin digerir que acumula calor a través de la actividad bacteriana, lo que puede llegar a ser un ambiente desfavorable para las larvas. El alimento intacto atrae otras moscas por la suciedad. [24].

Sin embargo, la metodología que se propone es agregar el sustrato (desperdicios de alimentos triturados con cascarilla de arroz mezclados) todos los días, como se muestra en la figura 17. En el día 0 se debe agregar 1 kg de sustrato; en el día 1, 0 kg de sustrato; en el día 2, 1 kg de sustrato; en el día 3, 2 kg de sustrato; en el día 4, 3,5 kg de sustrato; en el día 5, 4,5 kg de sustrato, en el día 6, 6 kg de sustrato; en el día 7, 5 kg de sustrato; en el día 8, 2 kg de sustrato; en el día 9, 1 kg de sustrato y en el día 10, 0 kg de sustrato. “Los sustratos se mezclaron de manera homogénea antes del muestreo diario y se tomó una muestra (0,2 kg) de cada caja. Todas las muestras sólidas se almacenaron a - 20 ° C.” [30]

Los biorreactores deben tener buena ventilación o suministro de oxígeno para el buen desarrollo de las larvas de MSN para permitir que se reponga el aire saturado de humedad [24]. Adicional a esto se deben medir diariamente los parámetros establecidos en el capítulo 3 para el crecimiento y desarrollo óptimo de la larva de MSN.

El proceso será llevado a cabo por lotes debido a la recolección de larvas que se lleva a cabo al final del proceso en caso de no migrar por sí solas y a la recolección del compost resultante, siendo este el producto de interés.

#### **4.3.4 Unidad de recolección del producto**

En esta área se cosecha el producto, en este caso es cuando se separan las larvas del abono orgánico después de 15 días. Se puede usar un tamiz de agitación manual, o mecánico, para facilitar la separación, ver figura 17. Los tamices con mayor agitación son los que el tamaño de la malla del tamiz es más grande, esto es más fácil de conseguir en un tamiz de agitación automatizado. [24]

**Figura 17.**

*Tamices de agitación*



**Nota:** Muestra Tamiz de agitación automático (izquierda), tamiz de agitación manual (derecha). Tomado de: B. Dortmans, S. Diener, B. Verstappen y C. Zurbrügg, Black Soldier Fly Biowaste Processing, p19. Disponible: [https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWMBSF/BSF\\_Biowaste\\_Processing\\_LR.pdf](https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWMBSF/BSF_Biowaste_Processing_LR.pdf)

El tamaño del tamiz adecuado es de alrededor de 3 mm para un tamiz manual y de 5 mm para un tamiz automático. El tamiz se pondrá en un ángulo, que mientras se agita, las larvas no pasan, al contrario, se deslizan por un lado del tamiz hasta llegar a unos contenedores, mientras que el residuo pasa sobre el tamiz. Se tiene que pesar cada larvero en el momento de la cosecha y se vuelve a pesar después de la separación con las larvas para mejores rendimientos. Ambos productos se van a refinar [24]

Se puede sacar provecho de las larvas, ya sea como proteína en la producción de pellets de pienso o sacar grasa para la producción de biodiesel. El primer paso es matar las larvas, ya sea secándose o congelándose. Para la producción de pellet de pienso las larvas tienen que ser mezcladas con otros ingredientes como harina de soja, sorgo, maíz, etc. Para cumplir con los requisitos nutritivos de cada animal en objetivo, puede ser peces, pollos, cerdos [24]

#### 4.4 Balance de masa

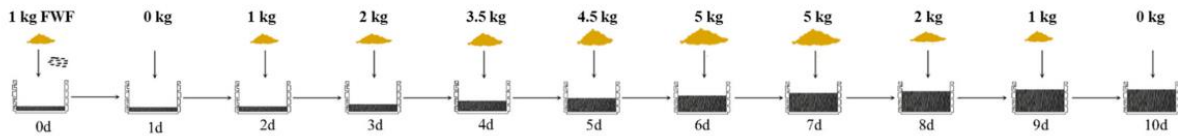
Inicialmente se establece una base de cálculo para llevar a cabo el desarrollo de los balances, se escoge la producción de material orgánico en toneladas por año de la plaza de mercado Tunjuelito, 13 Ton/Año, puesto que su producción al año es baja comparada a las otras plazas de mercado ubicadas en Bogotá, lo que permite realizar un proyecto para una planta piloto con el fin de visualizar la viabilidad de este [17]. Por lo tanto, la masa inicial es de:

$$\text{Masa inicial} = 13 \frac{\text{Toneladas}}{\text{Año}} * \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ Tonelada}} * \frac{1 \text{ Año}}{365 \text{ días}} = \underline{35,62 \text{ kg/día}}$$

El siguiente balance de materia se realiza teniendo en cuenta que el proceso es un proceso semicontinuo debido al método en el que se alimentan las larvas como se puede observar en la figura 18, y las emisiones a la atmósfera que se presentan a lo largo de este, así lo indica un estudio realizado en el 2020 por *Hanwen Guo* y otros autores [30].

**Figura 18.**

*Procedimiento de alimentación diaria de la MSN para la bioconversión*



**Nota:** Muestra la cantidad de alimento diario que se debe agregar a la larva.

Tomado de: H. Gao, C. Jiang, Z. Zhang, W. y H. Wang, Material flow analysis and life cycle assessment of food waste bioconversion by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.), p4. Disponible:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720351858>

**4.4.1 Balance de flujo másico total**

4.4.1.a Balance de masa de la trituración: Inicialmente se busca reducir el tamaño de partícula de la materia prima, se supone una pérdida del 1% en la operación debido a que cierto porcentaje de material queda pegado en el equipo según reportan algunos estudios [29]. Para esta operación se establece el siguiente balance de masa:

$$m_1 = m_2 + m_3$$

Definida la masa inicial que ingresa por la corriente 1 y la corriente 2 con una pérdida del 1% de la masa inicial, se halla mediante la ecuación 2, la masa que sale después de la reducción del tamaño de partícula.

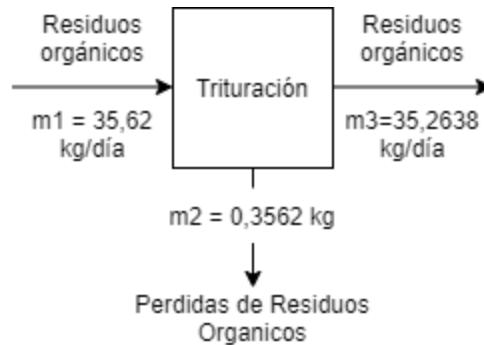
$$35,62 \frac{kg}{día} = 0,01 \text{ kg} (35,62 \frac{kg}{día}) + m_3$$

$$35,62 \frac{kg}{día} - 0,3562 \frac{kg}{día} = m_3$$

$$m_3 = 35,2638 \frac{kg}{día}$$

**Figura 19.**

*Trituración*



**Nota:** Muestra el diagrama balance de materia de la trituración

4.4.1.b Balance de masa adecuación de materia prima: Debido al alto contenido de humedad en los residuos vegetales a trabajar (Entre 80 y 92%) [17], se requiere acondicionar el sustrato para alcanzar una humedad del 70%. Esto con la finalidad de proporcionar las condiciones óptimas de desarrollo de la larva como se mencionaron en el capítulo 3. Por lo que se decide usar cascarilla de arroz como material seco para conseguir este objetivo puesto que es más económico que secar el material vegetal. *Hanwen Guo* y otros autores en su estudio estipulan que la relación ideal para la adición de este material seco es de 4:1 [30], por lo que se establece la siguiente relación para hallar la cantidad de cascarilla que se requiere con respecto a los desechos a disponer en este estudio:

$$x = \frac{35,2638 \text{ kg residuos}}{4} = 8,816 \text{ kg}$$

Se obtiene una cantidad en kilogramos de 8,816 kg cascarilla de arroz necesaria para disminuir la humedad inicial del sustrato. Por lo tanto, ya conociendo el valor de la corriente 4 (8,816 kg cascarilla de arroz/día), se establece el siguiente balance de masa para conocer el valor de la corriente 5:

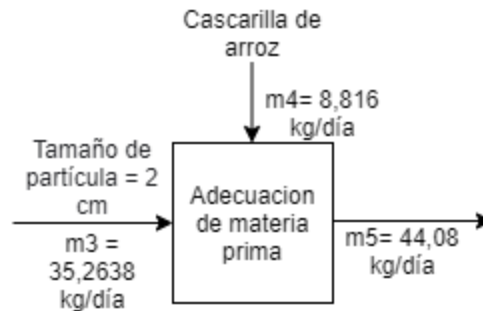
$$m_3 + m_4 = m_5$$

$$m_5 = 35,2638 + 8,816$$

$$m_5 = 44,08 \frac{kg}{día}$$

**Figura 20.**

*Adecuación de la materia prima*



**Nota:** Muestra el diagrama balance de materia de la adecuación de la materia prima

4.4.1.c Balance de materia biorreactor: Según fuentes bibliográficas, *Dortmans* y *Diener* tienen como regla general 10000 larvas para 15 kg de sustrato en un larvero de 40x60x17 cm con un volumen de 40,8 L [24]. Por otro lado, *Hanwen Guo* y otros autores usan 14000 larvas para 25 kg de sustrato en larveros de 30x26x17 cm que equivale a 13,26 L [30]. Partiendo de que un autor usa aproximadamente 666,66 larvas por kg de sustrato y otro usa 560 larvas por kg de sustrato, respectivamente, se decide usar como fuente de referencia a *Hanwen Guo* ya que, aunque la diferencia no es esencialmente alta, este autor requiere menos larvas por kg de comida y usa un sustrato similar al estudiado en este trabajo.

A partir de lo anteriormente dicho, los autores también establecen un peso aproximado de 0,85 mg por larva, en edades de 4 días. Por ello es necesario calcular el número de larvas que se requieren para disponer de los 44,08 kg/día en las instalaciones y su peso promedio.



$$25 \text{ kg} \rightarrow 14000 \text{ larvas}$$

$$44,08 \text{ kg} \rightarrow x$$

$$x = 24685 \text{ unidades de larvas}$$

Se observa un requerimiento de 24685 larvas y su peso aproximado equivale a:

$$24685 \times 0,85 \text{ mg} = 20982,25 \text{ mg} \simeq 0,021 \frac{\text{kg larvas}}{\text{día}}$$

Por lo tanto, el valor de la corriente 6 es de 0,021 kg/día

Adicionalmente en esta operación existe una salida de emisiones debido a las reacciones de descomposición que suceden en el biorreactor. Según el análisis realizado por los autores de referencia, de los 1250 kg de sustrato, 630,53 kg fueron liberados a la atmósfera como emisiones compuestas por carbono, nitrógeno y metano [30] por lo tanto, se calcula un promedio de emisiones para la cantidad de sustrato a trabajar:

$$1250 \text{ kg sustrato} \rightarrow 630,53 \text{ kg emisiones}$$

$$44,08 \text{ kg sustrato} \rightarrow x$$

$$x = 22,235 \text{ kg emisiones}$$

De modo que el valor de la corriente 7 es de 22, 235 kg emisiones/día. Ya conociendo el valor de la corriente 5, 6 y 7, se puede calcular el valor de la corriente 8 por medio del siguiente balance de materia:

$$m_5 + m_6 = m_7 + m_8$$

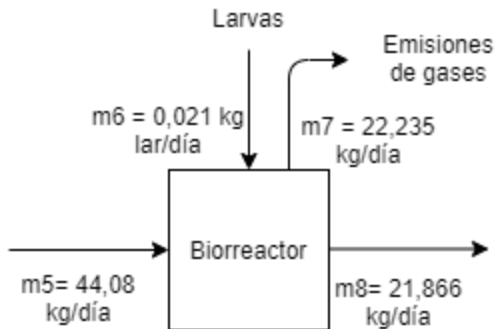
$$m_8 = m_5 + m_6 - m_7$$

$$m_8 = 44,08 \frac{\text{kg sus}}{\text{día}} + 0,021 \frac{\text{kg lar}}{\text{día}} - 22,235 \frac{\text{kg emi}}{\text{día}}$$

$$m_8 = 21,866 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

**Figura 21.**

*Biorreactor*



**Nota:** Muestra el diagrama balance de materia del biorreactor

4.4.1.d Balance de masa de la separación: Basado en los datos experimentales de los autores, para una bioconversión de 619,47 kg compuesto por prepupas y residuo post-compostaje, 93,86 kg fueron prepupas y el restante, residuo [30]. Se procede a calcular el peso de las prepupas para la cantidad de sustrato que se está trabajando:

$$619,47 \text{ kg} \rightarrow 93,86 \text{ kg prepupas}$$

$$21,866 \text{ kg} \rightarrow x$$

$$x = 3,313 \text{ kg prepupas}$$

De acuerdo con lo anterior la corriente 10 tiene un valor de 3,313 kg de prepupas. Con ello establecido se procede a calcular la corriente 9 por medio del siguiente balance de materia:

$$m_8 = m_9 + m_{10}$$

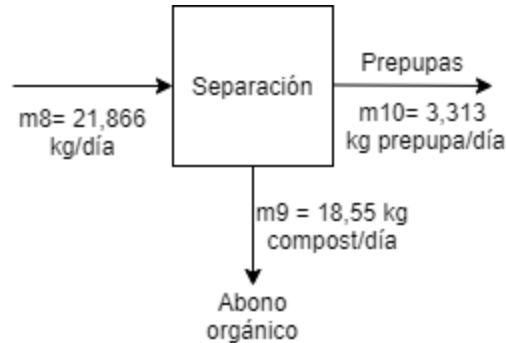
$$m_9 = m_8 - m_{10}$$

$$m_9 = 21,866 \frac{kg}{día} - 3,313 \frac{kg \text{ prepupas}}{día}$$

$$m_9 = 18,55 \frac{kg \text{ compost}}{día}$$

**Figura 22.**

*Separación*



**Nota:** Muestra el diagrama balance de materia de la separación

4.4.1.e Balance de materia post-compostaje: Finalmente para la obtención del compost madurado, los autores expresan un valor de 225,61 kg de emisiones que surgen en la última etapa del compostaje (la maduración), este valor es estimado para 525,61 kg de compost generado en el proceso [30]. A partir de estos datos, se procede a calcular el valor de las emisiones que generan los 18,66 kg obtenidos de compost en el estudio:

$$525,61 \text{ kg compost} \rightarrow 225,61 \text{ kg emisiones}$$

$$18,66 \text{ kg compost} \rightarrow x$$

$$x = 8,009 \text{ kg emisiones}$$

Partiendo del dato anterior que equivale al valor de la corriente 11 (8,009 kg emisiones), se calcula el valor de la corriente 12 a partir del siguiente balance de materia:

$$m_9 = m_{11} + m_{12}$$

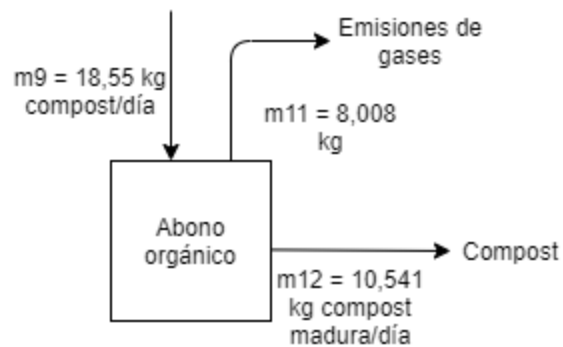
$$m_{12} = m_9 - m_{11}$$

$$m_{12} = 18,55 \text{ kg compost} - 8,009 \text{ kg emisiones}$$

$$m_{12} = 10,541 \frac{\text{kg compost maduro}}{\text{día}}$$

**Figura 23.**

*Abono orgánico*



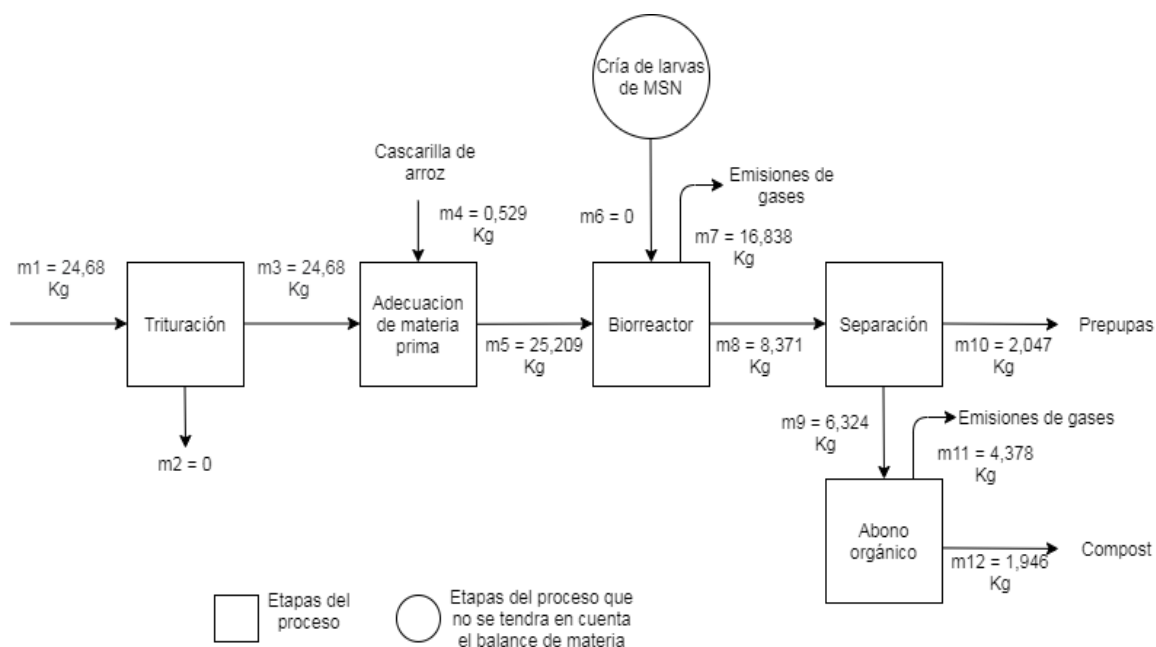
**Nota:** Muestra el diagrama balance de materia del abono orgánico

#### **4.4.2 Balance de flujo de agua**

Se toma como base de cálculo los 35,62 kg/día que se producen en la plaza de mercado y se saca la relación de agua contenida en este (ver cálculos del balance de flujo de agua en el anexo C)

**Figura 24.**

*Diagrama de bloques del procesamiento de residuos orgánicos usando *Hermetia Illucens**



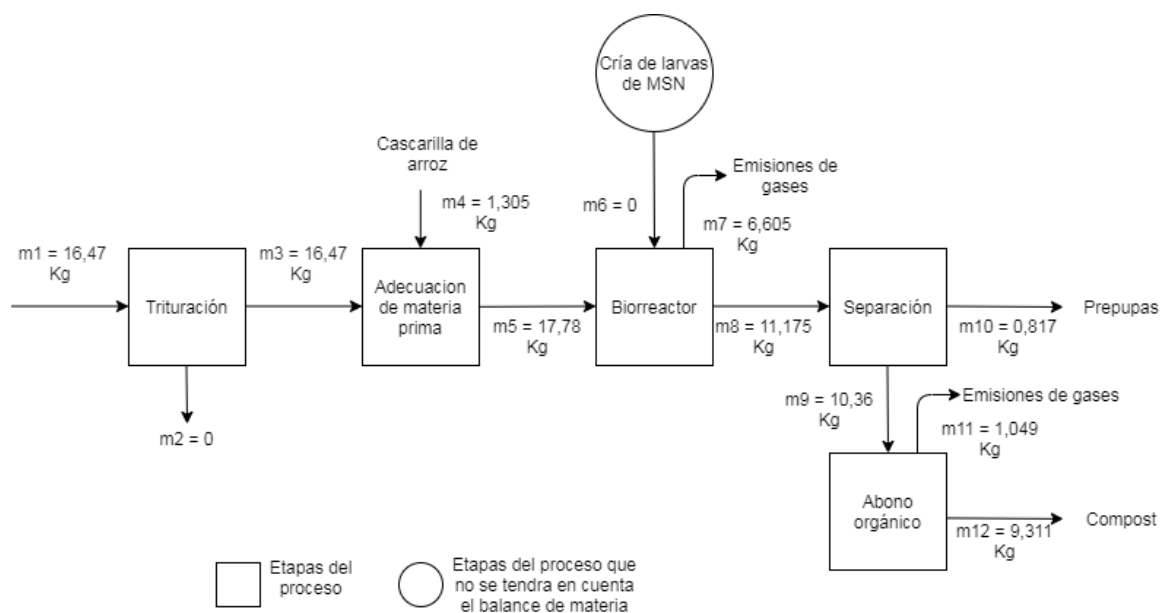
**Nota:** Esta figura muestra el diagrama de bloques general indicando el balance de masa del flujo de agua en cada corriente.

#### 4.4.3 Balance de flujo de carbón

Se toma como base de cálculo los 35,62 kg/día que se producen en la plaza de mercado y se saca la relación de carbón contenida en este (ver cálculos del balance de flujo de carbón en el anexo D)

**Figura 25.**

*Diagrama de bloques del procesamiento de residuos orgánicos usando *Hermetia illucens**



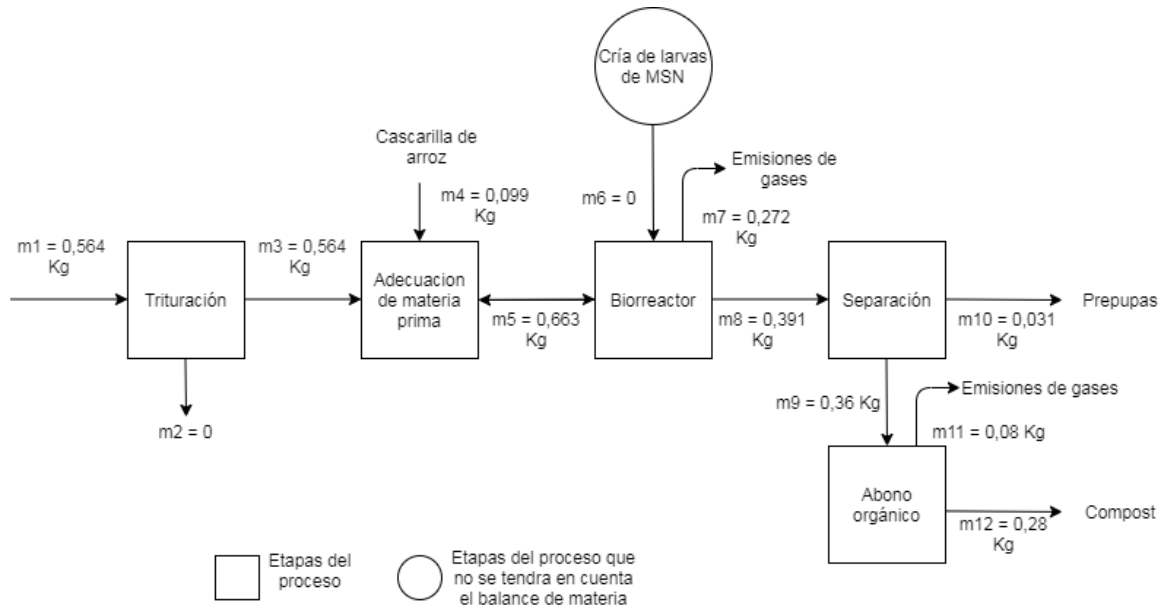
**Nota:** Esta figura muestra el diagrama de bloques general indicando el balance de masa del flujo de carbón en cada corriente

#### 4.4.4 Balance de flujo de nitrógeno

Se toma como base de cálculo los 35,62 kg/día que se producen en la plaza de mercado y se saca la relación de nitrógeno contenida en este (ver cálculos del balance de flujo de nitrógeno en el anexo E)

**Figura 26.**

*Diagrama de bloques del procesamiento de residuos orgánicos usando *Hermetia Illucens**



**Nota:** Esta figura muestra el diagrama de bloques general indicando el balance de masa del flujo de nitrógeno en cada corriente

## 4.5 Equipos

### 4.5.1 Tipos de reactores:

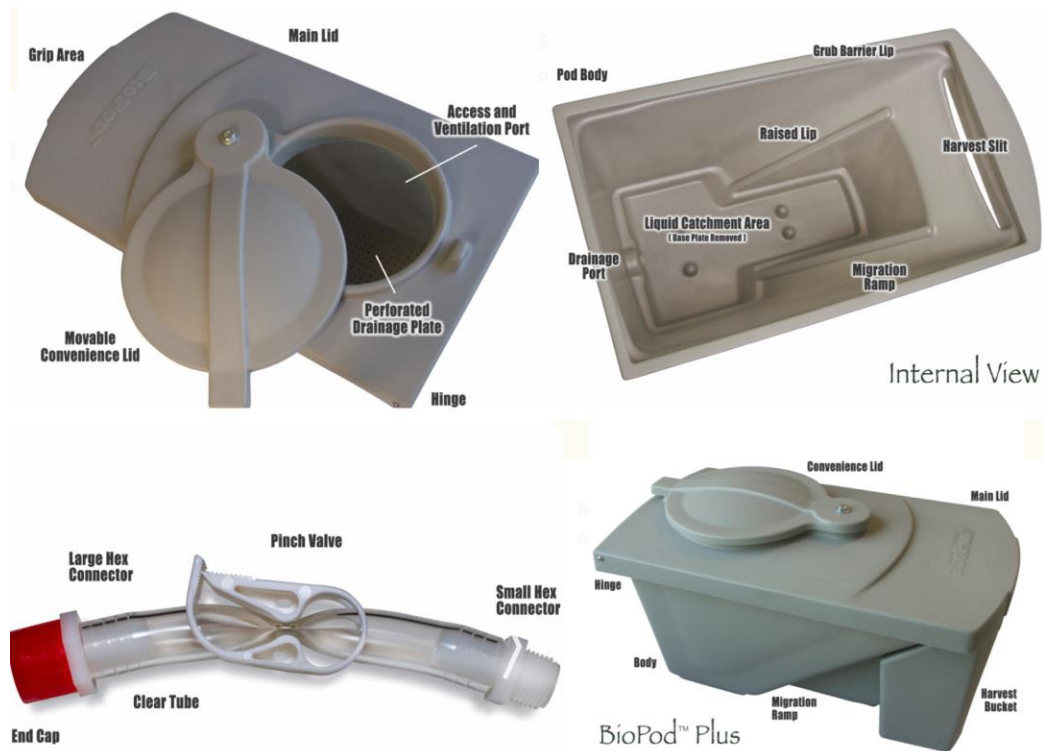
Para el procesamiento de residuos orgánicos con larvas de mosca soldado negro se han presentado tres tipos de reactores diferentes, que satisfacen las necesidades y de acuerdo con los requerimientos de la planta piloto se escogerá el más adecuado.

4.5.1.a Reactor BioPod: Es muy práctico este reactor, ver figura 27, debido a que las larvas maduras se separan fácil de la materia orgánica de adentro del reactor por medio de rampas de arrastre y llegan a un balde de recolección donde luego se procede a manipularlas y recogerlas, para sus diferentes usos como alimento para peces, pollo, cerdo. Tiene un sistema de drenaje avanzado que ayuda a mantener

las condiciones aeróbicas al separar los lixiviados del contenido del reactor, se separan fácilmente debido a un accesorio externo. Tiene un costo de US \$175 [25].

**Figura 27.**

*Reactor BioPod*



**Nota:** Muestra la configuración del reactor BioPod. Tomado de: Protapod USA. Requisito. <http://www.protapodusa.com/biopod-plus.html>

El BioPod tiene 67.31 cm de largo, 39.37 cm de ancho, 40.64 cm de alto y 22.86 de diámetro del portal de ventilación superior circular. Su placa de drenaje tiene 27 cm de largo x 44 cm de ancho x 0.6 cm de espesor. Tiene 38 L de volumen en el cuerpo principal y 7.5 L de volumen en el cubo de cosecha; pesa 4.5 kg vacío. Tiene una capacidad de digestión de 2.2 kg máximo por día. Tiene una bioconversión del 5%. Para ensamblar se necesita de 10 a 15 min. Hecho en USA, norte de Carolina [25].



Está compuesta de resina de polietileno de densidad media roto moldeada, estabilizada a los rayos UV, la placa de drenaje perforada es resina de polipropileno, el conector de drenaje es malla de nylon, la almohadilla de drenaje, ver figura 28, es fibra de cáscara de coco, los herrajes de metal son acero inoxidable, su diseño es muy adecuado para jardines y terrazas sombreadas, acorde con entornos rurales, suburbanos y urbanos. La apariencia de piedra artificial embellece el jardín y se integran naturalmente. El BioPod tiene 1 cuerpo principal, 1 cubo de cosecha, 1 tapa interior circular de conveniencia, 1 tapa exterior rectangular, almohadilla de drenaje de malla. [25]

**Figura 28.**

*Reactor BioPod*



**Nota:** Muestras las mallas o almohadillas que se deben usar dentro del reactor BioPod. Tomado de: ProtaPod USA. Requisito. <http://www.protapodusa.com/biopod-plus.html>

4.5.1.b Reactor ProtaPod: El ProtaPod, ver figura 29, tiene como fin la digestión de desechos de mascotas, residuos orgánicos, y la cría de larvas de MSN. Tiene doble rampa para la migración de las larvas. Hay que poner una elevación para la salida de sus líquidos ya sea bloques, ladrillos y vigas. Tiene un costo de US \$300 [25]

## Figura 29.

### *Reactor ProtaPod*



**Nota:** Muestra la estructura del reactor ProtaPod para el procesamiento de residuos. Tomado de: ProtaPod USA. Requisito. <http://www.protapodusa.com/protapod.html>

El ProtaPod tiene 116.76 cm de diámetro exterior, 86,36 cm de diámetro interior, y 68.072 cm de altura. Tiene 331.31 L de volumen. Tiene la capacidad de procesar 12.5 kg. Pesa 10.88 kg vacío. Está hecho de resina de polietileno de densidad media roto moldeada, resistente a los rayos UV. Tiene un cuerpo principal y 1 placa base sin perforar, 1 conector de drenaje de color blanco. Se necesita aproximadamente de 30 a 60 min para el montaje. Debe estar protegido de la luz solar directa. Es fabricado en USA, en Carolina del norte, Texas [25]

4.5.1.c Reactor NEW Grub Pod: El NWRW Grub Pod, ver figura 30, es una tecnología de bioconversión nueva, este biorreactor ayudará a reciclar los residuos. Esta nueva tecnología utiliza la etapa larvaria de MSN como motor biológico para degradar los desperdicios de comida rápidamente y sin mal olor. Tienen rampas para las larvas lo que no se pierde tiempo separando las larvas maduras de la pila activa en los contenedores de recolección, hay dos contenedores y su sistema de drenaje tiene accesorios que ayuda la separación de líquidos. Tiene un costo de US \$179 [25]

**Figura 30.**

*Reactor NEW Grub Pod*



**Nota:** Muestra la estructura del reactor para el procesamiento de residuos. Tomado de: Protapod USA. Disponible:

<http://www.protapodusa.com/nwrw-grub-pod.html>

El NWRW tiene 66.04 cm de largo, 43.18 cm de ancho y 40.44 cm de alto. Su capacidad de digestión es de 2.7 kg por día. Su bioconversión es del 5% en desperdicios en residuos no digeridos más excremento. Tiene un volumen en el cuerpo principal de 39.75 L y en el balde de cosecha tiene 2.8 L. Su peso vacío es de 4.76 kg. Está hecha de resina plástica reciclada, tiene una resistencia a los rayos UV del 100% [25]

Tiene dos contenedores de recolección independiente de larvas, agujeros de acceso para que entren las hembras preñadas. Tiene orificios de ventilación en los contenedores que reducen la humedad, y pasadores de bloqueo que aseguran los contenedores. La tapa es de deslizar, fácil para la alimentación de las larvas. Para ensamblar se necesita de 10 a 15 min. Hecha en china [25]

4.5.1.d Larveros: Son cajas o contenedores sin rejilla, fabricados en polietileno, cuentan con un fondo reforzado, de fácil limpieza. Sus dimensiones son Largo x Ancho x Altura: 50.8 cm x 38.1 cm x 12.7 cm y tiene una capacidad de retención total de 75 kg. Tiene un valor de \$59900 COP [33]

**Figura 31.**

*Larveros*



**Nota:** Recipiente para el procesamiento de residuos orgánicos Tomado de: B. Dortmans, S. Diener, B. Verstappen y C. Zurbrügg, Black Soldier Fly Biowaste Processing, p48-49. Disponible: [https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF\\_Biowaste\\_Processing\\_LR.pdf](https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF_Biowaste_Processing_LR.pdf)

#### **4.5.2 Tipos de trituradoras y molinos**

La reducción del tamaño en el material orgánico es una operación unitaria que se da por compresión, cortado, cizalla y/o fuerzas de impacto. Las máquinas que cumplen con esas funciones son trituradoras y molinos. Las trituradoras reducen el tamaño de partícula mayor a 2.25 cm de diámetro y los molinos menores a 2.25 cm de diámetro [26]

**Tabla 4.**

*Equipos de fragmentación*

| <b>Equipo</b>      | <b>Fuerza</b> |
|--------------------|---------------|
| Molinos de disco   | Cizalla       |
| Trituradores       | Comprensión   |
| Molino de martillo | Impacto       |

**Nota:** Describe la fuerza que aplica cada equipo para reducir la partícula de residuos sólidos orgánicos. Tomado de: J. Hernandez, DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE TRITURADOR DE DESECHOS ORGÁNICOS.

A continuación, se mostrará varios tipos de trituradoras y molinos adecuados para el procesamiento de residuos orgánicos. Están diseñadas para triturar cáscaras de frutas, restos de vegetales y comida, madera, papeles, céspedes, virutas de árboles, hojas, flores secas, entre otros, para que los residuos puedan ser transformados en abono orgánico de excelente calidad. Por eso, son necesarios algunos cuidados.

4.5.2.a Tr 200: Esta trituradora está diseñada para reducir los residuos a 2.25 cm de diámetro, compuesto con cuchillas fijadas directo al eje del motor, tolva removible con traba de seguridad. Pintura de polvo de poliéster polimerizado en estufa a 230° y tratamiento anticorrosivo, dando mayor durabilidad y mejor acabado. Tiene una velocidad de rotación de 3600 rpm, potencia de 1.5 cv, tanque de 3 L, producción de 0.64 m<sup>3</sup>/h si es madera, 0.54 m<sup>3</sup>/h si es arbustos y 271 kg/h si es legumbres y frutas. Eléctrica de 60 cm de alto, 52 cm de ancho y 98 cm de largo [27] Tiene un valor de \$1'249900 COP [28] En la figura 32 se puede observar la trituradora Tr 200.

## Figura 32.

*Trituradora Tr 200*



**Nota:** Muestra la estructura de la trituradora Tr 200. Tomado de: *Trapp*.

*Disponible:*

<https://www.trapp.com.br/es/produtos/compostaje/trituradores-de-ramas%2C-troncos-y-residuos-organicos./produto/tr-200>

No exponer el equipo Tr 200 a la lluvia, ya que opera de manera eléctrica y hay que asegurarse de que esté en posición “desconectada” a la hora de poner el enchufe al tomacorriente para prever daños. Asegurarse de que las cuchillas funcionan en contra de las manecillas del reloj, evitar triturar piedras, metales, o plásticas. Limpiar la trituradora para evitar la acumulación de residuos. [27]

4.5.2.b Tr 200 G: Esta trituradora está diseñada con las mismas características y dimensiones que la Tr200, solo que esta es a gasolina y con una potencia de 6 HP [27] Tiene un valor de \$2'539900 COP [28] Ver figura 33.

### Figura 33.

*Trituradora Tr 200G*



**Nota:** Muestra la estructura de la trituradora Tr 200G. Tomado de: Trapp. Disponible:

<https://www.trapp.com.br/es/produto/s/compostaje/trituradores-de-ramas%2C-troncos-y-residuos-organicos./produto/tr-200g>

No guardar el equipo con gasolina en el depósito. De lo contrario, se debe mantener el motor funcionando hasta que ocurra la desconexión por la falta de combustible. Tiene un motor a explosión de 4 tiempos. Limpiar la trituradora para evitar la acumulación de residuos [27]

4.5.2.c Trf 80 G: Este molino de martillos, muele semillas, cáscaras de cereales, caña de azúcar, maíz desgranado, hierbas, cáscaras de cereales y ramas de yuca. Está recubierto en pintura de poliéster y polimerizado en horno a 180°C, con tratamiento anticorrosivo en todo el equipo. Tiene una velocidad de rotación de 3600 rpm, potencia de 7 HP, tanque con capacidad de 3 L y capacidad del embudo del grano de 13 L. De gasolina con 106 cm de alto, 79 cm de ancho y 59 cm de largo. [27] Tiene un valor de \$1'539900 COP [28] Ver figura 34.

## Figura 34.

### *Molino de martillos*



**Nota:** Muestra la estructura del molino de martillos Trf 80 G. Tomado de: Trapp. Disponible:

<https://www.trapp.com.br/es/produutos/rural/trituradores-forrajeros/produto/trf-80g---motor-trapp>

La siguiente tabla indica que el molino viene con varios tamaños de criba, y dependiendo el tamaño de partícula que se desee, se pone la criba necesaria. Los valores indicados en la tabla 5, son valores de referencia de como saldría la partícula usando diferente tamaño de criba y diferentes materiales como harina, quirera (cereal molido de maíz). Entre más grande la criba, mayor será la producción.



**Tabla 5.**

*Características de producción*

| Modelo   | Criba (mm)                |              |                |              |
|----------|---------------------------|--------------|----------------|--------------|
|          | 0,8                       | 3            | 5              | Lisa         |
|          | Material producido (kg/h) |              |                |              |
|          | Harina                    | quirera fina | quirera gruesa | Racion verde |
| TRF 80 G | 30/60                     | 130/300      | 250/700        | 500/1200     |

**Nota:** Las cantidades mostradas en la tabla 5, son solamente valores de referencia, varían de acuerdo con las condiciones de trabajo y humedad del producto.

Tomado de: Trapp. Requisito.

<https://www.trapp.com.br/es/produutos/rural/trituradores-forrajeros/produoto/trf-80g--motor-trapp>

#### **4.6 Análisis y discusión**

Se parte inicialmente de una producción de 13 toneladas al año de material orgánico en la plaza de mercado Tunjuelito para realizar el balance de materia en términos de flujo másico, de los cuales se desea disponer diariamente de una cantidad de 35.62 kg, adicionalmente se tiene en cuenta la incorporación de un material seco para controlar la humedad de los residuos, por ello se decide usar 8.816 kg de cascarilla de arroz, esto con el fin de proporcionar el 70% de humedad requerida para el desarrollo óptimo de las larvas y ahorrar en energía al practicar un proceso de secado en este sustrato. Esta mezcla de material equivalente a 44.08 kg produce un total de 3.313 kg de *prepupas* vivas y 18.55 kg de compost, que finalmente después del post-compostaje, se obtiene 10.541 kg de compost maduro, siendo este el producto de interés. Como subproducto también de valor económico se tienen las prepupas de la mosca soldado negra, este producto puede ser secado y vendido como harina proteica para alimentación animal o puede ser usado en su estado natural (larvas vivas). Según el estudio realizado por *Hanwen Guo* y otros autores [30], el mejor método para disponer de las larvas es en su estado vivo,

puesto que los costos de energía para secar el producto, aumenta los costos de este subproducto y al tiempo genera más emisiones de gases a la atmósfera, recomendando así el uso de las larvas vivas para la alimentación animal.

Adicionalmente, se realizó un balance de materia para el flujo de agua contenido en este proceso, pues como se mencionó anteriormente se debe garantizar un 70% de humedad, lo que nos indica un volumen alto de agua en este tratamiento, allí se obtiene que a partir de una masa inicial de agua equivalente a 25.209 kg compuesta por la humedad de los desechos orgánicos y la cascarilla de arroz, se producen 2.047 kg de agua contenida en las pre pupas y 1.946 kg de agua contenida en el compost maduro, se observa que el mayor porcentaje de agua es emitido a la atmósfera en un equivalente en peso de 16.838 kg en el proceso de bioconversión y un 4.378 kg en el proceso de la maduración del compost.

Como se mencionó anteriormente el producto de interés es el compost maduro, por lo que se decide realizar un balance de masa para el flujo de carbono y uno para el flujo de nitrógeno, pues estos dos compuestos son los más importantes a la hora de disponer de un buen abono orgánico. Se parte de análisis experimentales realizados en las plazas de mercado a los residuos orgánicos y de datos teóricos para la cascarilla de arroz y se observa que, para un flujo inicial de 17.78 kg de carbono contenido tanto en el material vegetal como en la cascarilla de arroz, una cantidad de 0.817 kg en las prepupas y un 9.311 kg en el compost maduro. Otro dato que se destaca es el carbón liberado a la atmósfera, con un total de 6.605 kg/día, lo que se considera relativamente bajo comparado con otros procesos y según lo establecido en la resolución 000642 del año 2019 [63], el máximo permitido de gases GEI a la atmósfera es de 0,381 ton, por lo que este valor obtenido no supera la normatividad colombiana.

Adicionalmente para el flujo de nitrógeno, para una masa inicial de 0.663 kg en el sustrato vegetal y la cascarilla de arroz, se obtiene un peso de 0.031 kg en las larvas y un peso de 0.28 kg en el sustrato vegetal. Al realizar la relación carbono - nitrógeno en este proceso, se observa que esta es de 33:1, y según fuentes bibliográficas [5], el rango ideal varía entre 15:1 y 35:1, por lo que se puede concluir que el compost

maduro tratado con las larvas está dentro del rango óptimo y por lo tanto el abono es de especial provecho como fertilizante.

También se concluye mediante los datos arrojados en el balance de flujo másico, que el biorreactor a usar serían los Larveros, esto debido a la necesidad de procesar aproximadamente 45 kg de sustrato diarios, teniendo en cuenta que el tiempo del proceso es de 10 a 15 días, y que la capacidad de los larveros es de 15 kg cada uno con medidas de 40x60x17 cm, como lo indican algunos autores [30][33], se calcula un requerimiento de 45 larveros. Estos serán ubicados en pilas de a 5 larveros para optimizar espacio. De la misma manera se escoge la trituradora Tr200 ya que, aunque las tres reducen el material al tamaño de partícula deseado, este equipo es más económico comparado con los otros y funciona con electricidad, a diferencia de los otros que funcionan con gasolina, adicionalmente esta será usada en un tiempo determinado en el día y no constantemente, por lo que la mejor opción es la Tr200.

La separación de residuos orgánicos con sustancias o materiales no deseados al iniciar el proceso es importante para que no afecte la calidad final del compost. “Una utilización reiterada de enmiendas no separadas en origen, pueden ocasionar graves problemas sobre la productividad del terreno debido a su elevada salinidad, o problemas de contaminación en los medios naturales adyacentes” [68]. En un estudio realizado por J.J. García [68], menciona que los metales pesados afectan el rendimiento del suelo, ya que pueden ocasionar problemas en acuíferos, por medio de los lixiviados, convirtiendo el agua no apta para su aprovechamiento; lo mismo pasa con la salinización del suelo, ocasionando contaminación difusa.

Como este proyecto está propuesto para realizarse en una plaza de mercado en la ciudad de Bogotá, a una temperatura promedio de 15°C [58]. Este parámetro no afecta el proceso debido al aumento que se genera en el interior de los contenedores, pues el proceso de descomposición como se mencionó anteriormente genera calor por las reacciones químicas presentes en el proceso y los microorganismos, por lo tanto, el clima no repercute, así mismo Bogotá cuenta una humedad relativa entre el 60% y 80% [59] ideal para las larvas. Como las

condiciones climáticas de Bogotá se encuentran dentro de los parámetros óptimos de crecimiento de la *Hermetia Illucens*, no se presentan complicaciones al momento de desarrollar el proyecto en la ciudad de Bogotá.

Se propone una unidad de cría de reproducción de las moscas soldado negro, según lo mencionado en el capítulo 3, sección 3.4.4 donde se habla de las intensidades de luz en nm, Bogotá cuenta con radiaciones ultravioletas entre 305 y 340 nm según el Atlas de radiación solar de Colombia [71] y por tener un clima tropical templado, es apta para desarrollar el proceso de reproducción de las moscas. Sin embargo en épocas de invierno, donde se presenta mucha lluvia en Bogotá se recomienda ventanas o vidrios para evitar el paso de gotas según D. Carusso, et al. [48], ver sección 3.1.

En cuanto al almacenamiento de la materia orgánica, este proyecto esta propuesto para disponer de los residuos que genera la plaza diariamente. En el caso de que esa disposición incremente, se recomienda tener un refrigerador para congelar los desechos y usarlos cuando haya canastillas libres y disponibles. La refrigeración de los residuos no afecta en la alimentación de las larvas, solo, se debe sacar y descongelar 24 horas antes de su uso como sustrato para larvas. Debido al uso del refrigerador aumentaría costos, ya que operaría eléctricamente. Otra solución es incrementar el área de procesamiento con un espacio de canastillas extras considerables en caso de que ocurra un incremento en los desechos orgánicos.

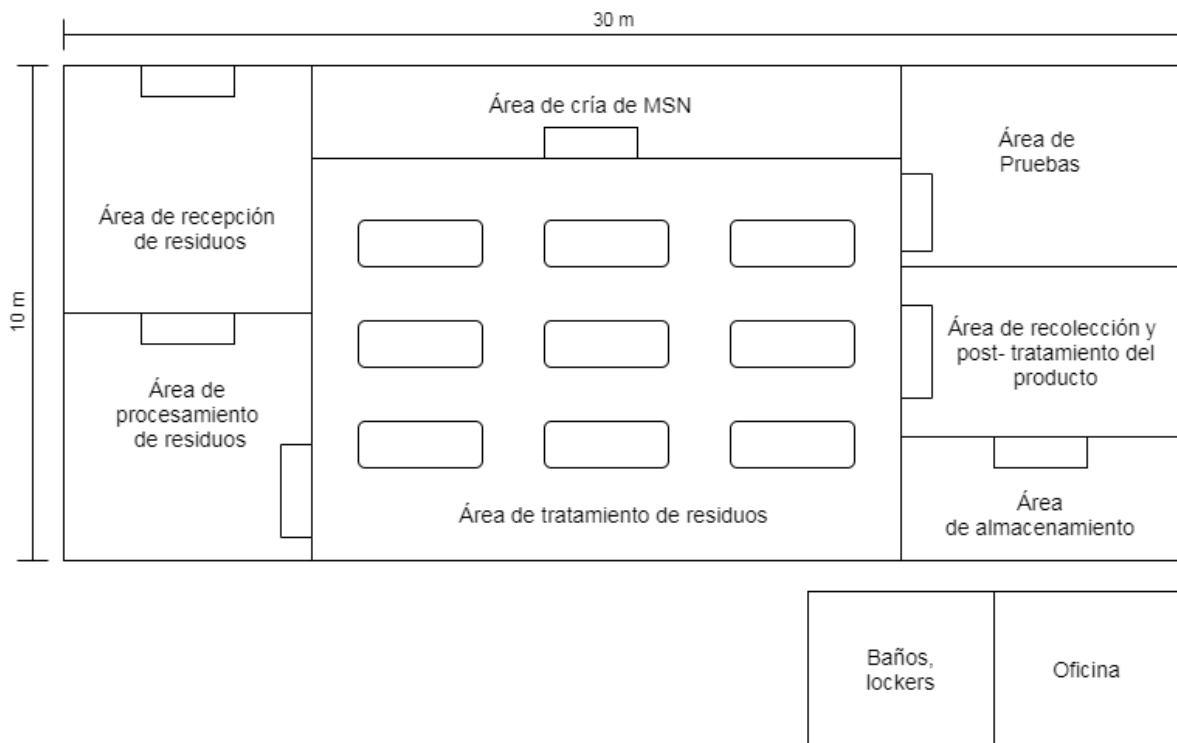
#### **4.7 Distribución física de la planta**

En la instalación de tratamiento de residuos sólidos orgánicos usando larva de mosca soldado negro, se puede observar distintas áreas como el área de cría de MSN, el área de recepción y procesamiento de los residuos, el área de tratamiento de residuos, allí están ubicados los biorreactores en pilas de 5 Larveros, con sus respectivos soportes para permitir la ventilación y facilitar la alimentación de las larvas, acomodados en filas de 3x3 para optimizar espacio, también está el área de pruebas, en donde se lleva a cabo el registro diario de los parámetros pactados anteriormente y se realizan las pruebas del estado inicial en el que ingresa el

material orgánico, además está el área de recolección del producto, el área de pos tratamiento y finalmente el área de almacenamiento donde se dispondrá de los dos productos resultantes del proceso. Adicionalmente existe un área destinada para los trabajadores conformada por oficinas, baños y casilleros. En la figura 34 se mostrará la posible distribución de la planta. Otro factor a tener en cuenta es que de ser posible la planta deberá ser ubicada a las cercanías de donde proviene el material vegetal con el fin de no adicionar gastos en transporte de materia prima.

**Figura 35.**

*Distribución física de la planta piloto*



**Nota:** Esta figura muestra la posible distribución de las diferentes áreas contenidas en el proceso de tratamiento de residuos sólidos orgánicos provenientes de una plaza de mercado.

## 5. COSTOS

En este capítulo se hablará de un estudio financiero asociado a la producción de abono orgánico a partir de desechos sólidos orgánicos usando la larva *Hermetia illucens* como método de degradación. Por ello se evaluarán los costos de capital, costos de equipos, costos de mano de obra y los costos variables (materiales, servicios y gasto energético)

### 5.1 Costos de capital

Para llevar a cabo un proyecto se requieren de costos fijos que están representados por una inversión inicial que debe conocerse antes de que arranque la planta en proceso. Estos costos fijos se ven representados por los equipos que requiere el proceso.

**Tabla 6.**

*Costo de equipos*

| EQUIPO             | PRECIO UNITARIO | CANTIDAD | COSTO             |
|--------------------|-----------------|----------|-------------------|
| Trituradora        | \$1'249900      | 1        | \$1'249900        |
| Biorreactor        | \$59900         | 45       | \$2'695500        |
| pH metro           | \$491900        | 1        | \$491900          |
| Termómetro         | \$29000         | 1        | \$29000           |
| Balanza            | \$19000         | 1        | \$19000           |
| Tamiz              | \$271000        | 1        | \$271000          |
| <b>Costo total</b> |                 |          | <b>\$4'756300</b> |

**Nota:** Esta tabla muestra el precio de cada equipo a usar en el procesamiento de residuos usando la *Hermetia Illucens*

## 5.2 Costos variables

También se tienen en cuenta los costos que varían con respecto a la producción de la planta, es decir la materia prima debido a su valor no constante, el costo de operación de los equipos que depende del tiempo de uso y el costo de mano de obra, ya que es un proceso semi continuo que requiere de personal en las áreas.

### 5.2.1 *Materia prima*

El precio del material orgánico por lo general no tiene ningún costo, ya que son desperdicios provenientes de plazas de mercados, *fruver*, casas, restaurantes, entre otros lugares, donde no tendrían valor e irían a un basurero. Al contrario, aquí se obtiene beneficio económico de esos residuos al final del proceso. Por otra parte, el material requerido para controlar la humedad de dicho material orgánico es la cascarilla de arroz, esta tiene un costo de \$9300 por bulto de 10 kg [38], por lo tanto, al requerir aproximadamente 9 kg por día de cascarilla de arroz, el valor diario para esta materia prima es de \$8370 COP.

### 5.2.2 *Costo de operación de equipos y maquinaria*

Los procesos necesarios se realizaron con equipos y maquinaria que no necesitan suministro de energía excepto la trituradora, por lo que solo se va a realizar el costo de operación de la trituradora. Partiendo del valor promedio de la energía en Bogotá, Colombia tomada de Enel-Codensa [35] para el sector industrial es de \$500,79/kWh.

Trituradora: En este proceso se utilizará una trituradora de desechos orgánicos TR 200 con una potencia de 1.5 HP [27] que equivale a 1.11855 kW. En la bibliografía no reportan un tiempo de trituración, por lo tanto, se asumirá un tiempo de 1 hora para triturar 35.62 Kg de desechos orgánicos:

$$1.11855 \text{ kW} * 1 \text{ h} * \frac{\$ 500,79 \text{ COP}}{1 \text{ kWh}} = \$560.16 \text{ COP}$$

Por lo que diariamente existiría un consumo de \$560.16 COP, que mensualmente en la factura se verá reflejado por el valor de \$17365 COP.

### **5.2.3 Costo de mano de obra**

Se le pagará a la persona encargada de revisar el proceso, un salario mensual mínimo legal vigente de **\$877803** pesos colombianos [36] teniendo en cuenta que las actividades a realizar por esta persona son actividades sencillas como el control de variables (temperatura, humedad, pH, aireación) toma de datos, muestreos, entre otras, dentro de sus 8 horas diarias correspondientes durante 7 días a la semana. Para domingo y días festivos se pagarán las horas extras correspondientes.

También se tendrá en cuenta, los aportes salariales por parte del empleador que serán los siguientes:

- Salud: 8.5%
- Pensión: 12%
- Parafiscales (Sena, ICBF, CCF): 9%
- ARL (Nivel 1): 0.522%
- Auxilio de Transporte (COP): \$102853

Realizando los cálculos pertinentes de los aportes salariales y el valor del smmlv del trabajador, el costo total de mano de obra por mes sería de \$1'277791 y teniendo en cuenta que un mes tiene 30 días, el precio de la hora del trabajador es de \$1775 COP

$$\frac{\$ 1'277,791}{30 \text{ días}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} = \$1775 \text{ COP}$$

Por lo tanto, el costo de mano de obra diaria para las 8 horas que requiere el proceso es de \$14200 COP por operario.



Finalmente se hallan los costos asociados al proceso de tratamiento de 35.62 kg diarios de residuos orgánicos generados en la plaza de Tunjuelito, juntando los costos fijos que son representados por los equipos requeridos y los costos variables que son representados por la materia prima, servicios y mano de obra. Representados en la siguiente tabla:

**Tabla 7.**

*Resumen total de costo*

| <b>Costo capital</b>          | <b>Cantidad</b> | <b>Precio (\$ COP)</b> |
|-------------------------------|-----------------|------------------------|
| Trituradora                   | 1 Unidad        | \$1'249.900            |
| Biorreactores                 | 45 Unidades     | 2'695.500              |
| pH metro                      | 1 Unidad        | \$491.900              |
| Termómetro                    | 1 Unidad        | \$29.000               |
| Balanza                       | 1 Unidad        | \$19.000               |
| Tamiz                         | 1 Unidad        | \$271.000              |
| <b>Total costos capital</b>   |                 | <b>\$4'756.300</b>     |
| <b>Costos variables</b>       | <b>Cantidad</b> | <b>Precio (\$ COP)</b> |
| Materia prima                 | 9 kg            | \$8.370                |
| Operación triturado           | -               | \$560,16               |
| Mano de obra                  | 4 operarios     | \$56.800               |
| <b>Total costos variables</b> |                 | <b>\$65.730,16</b>     |
| <b>TOTAL</b>                  |                 | <b>\$4'822.031</b>     |

**Nota:** Esta tabla muestra el resumen del costo total del procesamiento de residuos usando *Hermetia Illucens*

De acuerdo con los resultados, los mayores costos son los de capital, por la inversión inicial en maquinaria. Por otro lado, los costos variables son menores, por la ventaja que tiene el proceso de usar residuos de materia orgánica. Los costos de pruebas de laboratorio y criadero de larva de MSN no se tienen en cuenta para este trabajo; sin embargo, Colombia por ser un país tropical, dispone de luz solar suficiente para la cría de las moscas, por lo que no se requerirá de instalaciones especiales con demanda de energía mayor a la ya establecida en la trituradora.

## 6. CONCLUSIONES

El proceso de compostaje es una herramienta muy efectiva y fácil, debido a que se puede llevar a cabo desde pequeñas cantidades en casa, hasta grandes escalas en la industria, convirtiendo los desechos orgánicos, que representan el 80% de los residuos en Colombia, en un producto útil que aporta beneficios al medio ambiente, ya que de otro modo los residuos terminan en botaderos a cielo abierto, ocasionando infecciones, malos olores, producción de gases y proliferación de animales.

La mosca soldado negra es útil para la reducción de desechos orgánicos; sobrevive a condiciones hostiles como la sequía, la falta de oxígeno y la falta de alimento; su desarrollo óptimo en la temperatura es de 27 a 30 °C, humedad del 60 al 80%, estableciendo la ideal como 70% y su pH óptimo de 8 pero resaltando que las larvas pueden regular su pH hasta 10; también ayuda a lograr una producción de metano menor comparado con otros métodos de compostaje, reduciendo la huella de carbono del proceso; y, finalmente, la mosca no se siente atraída por el hábitat o los alimentos de los humanos ya que no posee partes bucales, sistema digestivo o aguijón, reduciendo las poblaciones de moscas domésticas.

La construcción de una planta de tratamiento para los residuos sólidos orgánicos en Bogotá es posible debido a que se tiene materia prima disponible en grandes cantidades procedente de distintos lugares, permitiendo tener varias opciones de ubicación. Adicionalmente, las condiciones climáticas de la ciudad permiten la construcción de un moscario alimentado por luz natural evitando la necesidad de usar luz artificial.

Se requiere de un capital inicial alto, debido a todos los equipos y maquinaria para empezar el proceso de tratamiento de los desechos usando la *Hermetia illucens*, pero como es un proceso autosostenible y cíclico, no requiere de mayor inversión durante el proceso, teniendo en cuenta que la materia prima principal no tiene costo y la *Hermetia Illucens* se reproduce sola, por lo que no habrá necesidad de comprar las larvas cada vez que se acaba el proceso.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] H. Mon-Blanco. (2019, Ene 10). "Colombia podría aprovechar 40% de las toneladas de residuos que genera anualmente". [En línea]. Disponible: <https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/colombia-podria-aprovechar-cerca-de-40-de-los-116-millones-de-toneladas-de-residuos-que-genera-al-ano-2813141> [Acceso: 30 de abril de 2020].
- [2] "Colombia genera 12 millones de toneladas de basura y solo recicla el 17%", [En línea]. Disponible en: <https://www.dinero.com/edicion-impresa/pais/articulo/cuanta-basura-genera-colombia-y-cuanta-recicla/249270> [Acceso: 30 de abril de 2020].
- [3] A. SINGH, K. KUMARI, "An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review", Vol., No 251, 2019. [En línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719312873> [Acceso: abril 30, 2020]
- [4] UASP, "GUÍA TÉCNICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS A TRAVÉS DE METODOLOGÍAS DE COMPOSTAJE Y LOMBRICULTURA", Bogotá, Cundinamarca, Colombia. [En línea]. Disponible: [http://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP\\_SR.pdf](http://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf) [Acceso: abril 30, 2020]
- [5] FAO, "Manual de compostaje del agricultor". Santiago de Chile. 2013. [En línea]. Disponible: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf> [Acceso: mayo 9, 2020]
- [6] L. A. Sep-Villada y J. A. Alv-Torres, "Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos a través de sistemas de compostaje y lombricultura en el Valle de Aburra". Medellín, 2013, Medellín, feb 2013. [En línea]. Disponible: <http://www.earthgreen.com.co/descargas/manual-compostaje.pdf> [Acceso: mayo 9, 2020]

- [7] A. Copello, "Biología de *Hermetia illucens* Latr". [En línea]. Disponible: [https://www.researchgate.net/publication/315681950\\_Biology\\_of\\_Hermetia\\_illucens](https://www.researchgate.net/publication/315681950_Biology_of_Hermetia_illucens) [Acceso: mayo 10, 2020]
- [8] I. Ard-Lizarazo y G. Dur-Silva, "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE COSECHADOR DE LARVAS DE MOSCA SOLDADO NEGRO, *Hermetia illucens*, (DIPTERA: SARCOPHIDAE) EN EL MUNICIPIO DE PIEDECUESTA, SANTANDER, COLOMBIA", Tesis pregrado, Universidad industrial de Santander, Piedecuesta, Colombia, 2013. [Acceso: mayo 10, 2020]
- [9] J. W. Diclaro y P. E. Kaufman, "Black soldier fly *Hermetia illucens* Linnaeus (Insecta: Diptera: Stratiomyidae)", EENY 461, Jun 2009. [En línea]. Diponible: <https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/IN/IN83000.pdf> [Acceso: mayo 10, 2020]
- [10] M. Segura, "Composición bromatológica *Hermetia Illucens*", Tesis pregrado, Univerisdad de almeria, Almeria, 2014. [Acceso: mayo 10, 2020]
- [11] LI, Quing, et al., "From organic waste to biodiesel: Black soldier fly, *Hermetia illucens*, makes it feasible", vol 90, pp. 1545-1548, Abr 2011. [En línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236110006307> [Acceso: mayo 11, 2020]
- [12] C. Borrero. "Cesar Augusto. La agricultura convencional agroquímica se basa en la dependencia del agricultor en tecnologías industrializadas que requieren alta inversión de dinero". [En línea]. Disponible en: [https://www.infoagro.com/documentos/abonos\\_organicos.asp](https://www.infoagro.com/documentos/abonos_organicos.asp) [Acceso: mayo 11, 2020]
- [13] Compostadores, "lixiviados". [En línea]. Disponible en: <http://www.compostadores.com/descubre-el-compostaje/vermicompostaje/181-lixiviados.html> [Acceso: mayo 11, 2020]
- [14] Consejo de Bogotá, "Las 6.000 toneladas de basura que llegan a Doña Juana es responsabilidad de TODOS". [En línea]. Disponible:

<http://www.concejodebogota.gov.co/las-6-000-toneladas-de-basura-que-llegan-a-dona-juana-es-responsabilidad/cbogota/2019-04-02/131450.php>

[Acceso: mayo 11, 2020]

- [15] M. Sar-Duque, “Los cuatro rellenos en crisis que pueden causar emergencias sanitarias”, El Tiempo. [En línea]. Disponible: <https://www.eltiempo.com/justicia/investigacion/colombia-no-tiene-rellenos-sanitarios-y-mantiene-un-mal-manejo-de-basuras-279956> [Acceso:

septiembre 12, 2020]

- [16] CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL, Documento conpes “POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS”, DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. [En línea]. Disponible: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3874.pdf>

[Acceso: septiembre 12, 2020]

- [17] H. Her-Castillo, “Plazas de mercado en Bogotá, generadoras de residuos y desarrollo”, Congreso nacional del medio ambiente, 2014. P 8-9. [En línea]. Disponible:

<http://www.conama.org/conama/download/files/conama2014/CT%202014/1896711446.pdf> [Acceso: septiembre 12, 2020]

- [18] López, 2009. “Método del cuarteo”. [En línea]. Disponible: <https://dokumen.tips/documents/metodo-del-cuarteo.html> [Acceso: septiembre 12, 2020]

- [19] Čičková, H., Newton, G.L., Lacy, R.C. y Kozánek, M., “The use of fly larvae for organic waste treatment”, Vol 35, pp. 68-80, Mayo 2015. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.09.026> [Acceso: septiembre 18, 2020]

[20] D. Sarpong, et al., “Biodegradación mediante el compostaje de residuos sólidos municipales orgánicos en abono orgánico utilizando la mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) (: Stratiomyidae Diptera) larvas”, vol 8, pp. 45-54,

- Mayo 2019. [En línea]. Disponible: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40093-019-0268-4> [Acceso: septiembre 18, 2020]
- [21] F. Giroto y R. Cossu, "Role of animals in waste management with a focus on invertebrates' biorefinery: An overview", vol 32, 2019. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2019.08.001> [Acceso: septiembre 18, 2020]
- [22] GDP. DA SILVA, TH. ESSELBERG, "A Review of the Use of Black Soldier Fly Larvae, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), to Compost Organic Waste in Tropical Regions", vol 49, pp. 151-162, Nov 2019. [En línea]. Disponible: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13744-019-00719-z> [Acceso: septiembre 18, 2020]
- [23] S. Kumar, S. Negi, A. Mandpe, R. V. Singh y A. Hussain, "Rapid Composting Techniques in Indian Context and Utilization of Black Soldier Florida Y to Improve Decomposition of Biodegradable Waste", vol 227, pp.189-199, Dic 2018. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.096> [Acceso: septiembre 29, 2020]
- [24] B. Dortmans, S. Diener, B. Verstappen and C. ZurbrÜgg, "*Black soldier fly biowaste processing*". A step-by-step. Dubendorf, Switzerland. Eawag: Swiss federal institute aquatic science and technology. 2017
- [25] Prota Culture (2020) ProtaPod USA. [En línea]. Disponible: <http://www.protapodusa.com/> [Acceso: septiembre 29, 2020]
- [26] J. Hernández, "DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE TRITURADOR DE DESECHOS ORGÁNICOS", Tesis pregrado, Universidad Autónoma de México (UNAM), México 2015.
- [27] Trapp, 2020, Productos compostaje trituradores de ramas [En línea]. Disponible: <https://www.trapp.com.br/es/productos/compostaje/trituradores-de-ramas%2C-troncos-y-residuos-organicos> [Acceso: septiembre 29, 2020]



- [28] Homecenter, 2020, Triturador de residuos orgánicos [En línea]. Disponible: <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/54348/triturador-de-residuos-organicos-jtr200> [Acceso: septiembre 30, 2020]
- [29] J. Natividad, “Diseño de una planta piloto agroindustrial para la producción de aceite esencial de eucalipto (*eucalyptus globulus*), no convencional, bajo la filosofía “zero waste””, Tesis pregrado, FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALÚRGICA, UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SANCHÉZ CARRIÓN, Huacho, Perú, 2019.
- [30] H. Guo, Ch. Jiang, Z. Zhang, W. Lu y H. Wang, “Material flow analysis and life cycle assessment of food waste bioconversion by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.)”, vol 750, agosto 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720351858> [Acceso: septiembre 30, 2020]
- [31] A. Prada y C. Cortés, “LA DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA DE LA CASCARILLA DE ARROZ: UNA ALTERNATIVA DE APROVECHAMIENTO INTEGRAL”, vol 14, pp.155-170, 2010. [En línea]. Disponible: <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v14s1/v14s1a13.pdf> [Acceso: septiembre 30, 2020]
- [32] A. Valverde, J. Monteagudo, “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS DE LA CASCARILLA DE ARROZ”, vol 37, pp. 255-260, dic 2007. [En línea]. Disponible: <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4055> [Acceso: septiembre 30, 2020]
- [33] Mercadolibre, “Caja Plastica Blanca Uso General Rubbermaid Fg 3349”. [En línea]. Disponible: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-564796260-caja-plastica-blanca-uso-general-rubbermaid-fg3349-JM?matt\\_tool=88200327&matt\\_word=&matt\\_source=google&matt\\_campaign\\_id=11584009880&matt\\_ad\\_group\\_id=115856425187&matt\\_match\\_type=&matt\\_network=g&matt\\_device=c&matt\\_creative=478549091430&matt\\_keywor](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-564796260-caja-plastica-blanca-uso-general-rubbermaid-fg3349-JM?matt_tool=88200327&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=11584009880&matt_ad_group_id=115856425187&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=478549091430&matt_keywor)

[d=&matt\\_ad\\_position=&matt\\_ad\\_type=pla&matt\\_merchant\\_id=151211319&matt\\_product\\_id=MCO564796260&matt\\_product\\_partition\\_id=315555065440&matt\\_target\\_id=pla-315555065440&gclid=CjwKCAiAiML-BRAAEiwAuWVggIxRSwNmrVZr2q4kLC3fqJUPJUVY6k5YpmiBCSATtvm6\\_k3CgLmGXBoCrZMQAvD\\_BwE](https://www.mercadolibre.com.co/MCO-585258908-set-de-tamices-de-suelo-de-4-piezas-set-de-12-diametros-de-a-JM#position=8&type=item&tracking_id=5231a2f2-b7cd-4285-9696-4db918059b77) [Acceso: septiembre 30, 2020]

- [34] A. parodi, et al. "Bioconversion efficiencies, greenhouse gas and ammonia emissions", vol 271, 2020. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122488>. [Acceso: septiembre 18, 2020]
- [35] Enel, "TARIFAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA (\$/kWh) REGULADAS POR LA COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS (CREG) NOVIEMBRE DE 2019". [En línea]. Disponible: <https://www.enel.com.co/content/dam/enel-co/español/personas/1-17-1/2019/Tarifario-abril-2019.pdf> [Acceso: octubre 28, 2020]
- [36] Mintrabajo, "Salario mínimo para 2020 será de \$877.802". [En línea]. Disponible: [https://www.mintrabajo.gov.co/prensa/mintrabajo-es-noticia/2019/-/asset\\_publisher/5xJ9xhWdt7lp/content/salario-m-c3-adnimo-para-2020-ser-c3-a1-de-877.802](https://www.mintrabajo.gov.co/prensa/mintrabajo-es-noticia/2019/-/asset_publisher/5xJ9xhWdt7lp/content/salario-m-c3-adnimo-para-2020-ser-c3-a1-de-877.802) [Acceso: octubre 28, 2020]
- [37] Mercadolibre, "Set De Tamices De Suelo De 4 Piezas Set De 12 Diámetros De A". [En línea]. Disponible: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-585258908-set-de-tamices-de-suelo-de-4-piezas-set-de-12-diametros-de-a-JM#position=8&type=item&tracking\\_id=5231a2f2-b7cd-4285-9696-4db918059b77](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-585258908-set-de-tamices-de-suelo-de-4-piezas-set-de-12-diametros-de-a-JM#position=8&type=item&tracking_id=5231a2f2-b7cd-4285-9696-4db918059b77) [Acceso: octubre 28, 2020]
- [38] Mercadolibre, "Cascarilla De Arroz Cruda X 10 Kg", [En línea]. Disponible: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-592041330-cascarilla-de-arroz-cruda-x-10-kg-JM#position=3&type=item&tracking\\_id=cd66ee3c-aefa-4cde-b8c8-678b63a55e4d](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-592041330-cascarilla-de-arroz-cruda-x-10-kg-JM#position=3&type=item&tracking_id=cd66ee3c-aefa-4cde-b8c8-678b63a55e4d) [Acceso: octubre 28, 2020]
- [39] Infoagro, "EL COMPOSTAJE (1ª parte)" [En línea]. Disponible: <https://www.infoagro.com/abonos/compostaje.htm> [Acceso: octubre 28, 2020]

- [40] Amigos de la tierra, "Manual básico para hacer compost" [En línea]. Disponible: [https://www.tierra.org/wp-content/uploads/2015/03/compost\\_esp\\_v04.pdf](https://www.tierra.org/wp-content/uploads/2015/03/compost_esp_v04.pdf)  
[Acceso: octubre 28, 2020]
- [41] Departamento para el desarrollo sostenible, "Manual para el compostaje ", [En línea]. Disponible: [http://www4.gipuzkoa.net/medioambiente/compostaje/down/Manual\\_compostaje.pdf](http://www4.gipuzkoa.net/medioambiente/compostaje/down/Manual_compostaje.pdf) [Acceso: octubre 28, 2020]
- [42] Manual de Aprovechamiento de Residuos Orgánicos a través de Sistemas de Compostaje y Lombricultura en el Valle de Aburrá, "Manual de Compostaje", [En línea]. Disponible: <http://www.earthgreen.com.co/descargas/manual-compostaje.pdf> [Acceso: octubre 28, 2020]
- [43] "Manual práctico de técnicas de compostaje", [En línea]. Disponible: <https://www.abarrataldea.org/manualpdf.pdf> [Acceso: octubre 28, 2020]
- [44] F. P. Gobbi, *Biología reproductiva y caracterización morfológica de los estadios larvarios de Hermetia illucens (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae). Bases para su producción masiva en Europa*, tesis doctoral. Universidad de alicante, Alicante, España, 2012
- [45] Y. A. Chirinos Aguirre, *ESTUDIO DEL CICLO BIOLÓGICO DE Hermetia illucens (Diptera: stratiomyidae) BAJO LAS CONDICIONES DE LABORATORIO EN LA IRRIGACIÓN MAJES, CAYLLOMA AREQUIPA*, tesis pregrado. Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú, 2019.
- [46] N. M. Studt, *USO DE LARVAS DE MOSCA SOLDADO NEGRO (Hermetia illucens) PARA EL MANEJO DE RESIDUOS MUNICIPALES ORGÁNICOS EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD EARTH, COSTA RICA*, tesis pregrado. Instituto tecnológico de costa rica, Cartago, Costa Rica, 2010.
- [47] H. M. Myers, J. K. Tomberlin, B. D. Lambert y D. Kattes, "Development of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae Fed Dairy Manure", Vol 37, pp 11-

- 15, 2008. [En línea]. Disponible: [http://dx.doi.org/10.1603/0046-225X\(2008\)37\[11:DOBSFD\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1603/0046-225X(2008)37[11:DOBSFD]2.0.CO;2) [Acceso: octubre 28, 2020]
- [48] D. Caruso, et al., *Technical handbook of domestication and production of dipetera black soldier fly (BSF) Hermetia Illucens, Stratiomyidae*. 2013.
- [49] Compostando ciencia, “Geosmina, ese olor característico del compost a tierra mojada”, [En línea]. Disponible: <http://www.compostandociencia.com/2018/10/geosmina-ese-olor-caracteristico-del-compost-a-tierra-mojada/> [Acceso: Noviembre 15, 2020]
- [50] Biblioteca agroecológica, “Fertilización”. [En línea]. Disponible: <https://biblioteca.fundesyram.info/biblioteca.php?id=4767> [Acceso: Noviembre 15, 2020]
- [51] R. Popa, T. R. Green, *Using black soldier fly larvae for processing organic leachates*, vol 105, pp 374-378, 2012. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1603/EC11192> [Acceso: Noviembre 15, 2020]
- [52] J.K. Tomberlin, P. H. Adler, H. M. Myers, *Development of the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) in Relation to Temperature*, Vol 38, pp 930–934, 2009. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1603/022.038.0347> [Acceso: Noviembre 15, 2020]
- [53] L. M. Harnden, J. K. Tomberlin, *Effects of temperature and diet on black soldier fly, Hermetia illucens (L.) (Diptera: Stratiomyidae), development*, vol 266, pp 109-116, 2016. [En línea]. Disponible: <http://dx.doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.05.007> [Acceso: Noviembre 15, 2020]
- [54] S. Fatchurochim; C. J. Geden; R. C. Axtell, *FILTH FLY (DIPTERA) OVIPOSITION AND LARVAL DEVELOPMENT IN POULTRY MANURE OF VARIOUS MOISTURE LEVELS*, vol 24, pp 224–231, 1989. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.18474/0749-8004-24.2.224> [Acceso: Noviembre 15, 2020]

- [55] L. A. Holmes, S. L. Vanlaerhoven, J. K. Tomberlin, *Relative Humidity Effects on the Life History of Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae)*, Vol 41, pp 971–978, 2012. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1603/EN12054> [Acceso: Noviembre 15, 2020]
- [56] D. Sarpong, et al. *Biodegradation by composting of municipal organic solid waste into organic fertilizer using the black soldier fly (Hermetia illucens) (Diptera: Stratiomyidae) larvae*, vol 8, pp 45–54, 2019. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0268-4> [Acceso: Noviembre 15, 2020]
- [57] C. D. Heussler, et al., *Influence of three artificial light sources on oviposition and half-life of the Black Soldier Fly, Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae): Improving small-scale indoor rearing*, 2018. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/1.1371/journal.pone.0197896> [Acceso: Noviembre 15, 2020]
- [58] CLIMATE-DATA.ORG. “Bogotá climate, Colombia”. [En línea]. <https://es.climate-data.org/> [Acceso: Noviembre 15, 2020]
- [59] El Tiempo, “LA HUMEDAD EN BOGOTÁ ES ALTA: OSCILA ENTRE 60 Y 80 % La ciudad, azotada por las lloviznas y poco sol”. [En línea]. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-3516441> [Acceso: Noviembre 15, 2020]
- [60] B. U. Choudhury S. Ferraris R. W. Ashton D. S. Powlson W. R. Whalley, *The effect of microbial activity on soil water diffusivity*, vol 69, pp 407–413, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/ejss.12535> [Acceso: Noviembre 15, 2020]
- [61] S. Diener, N. M. Studt Solano, F. R. Gutiérrez, C. Zurbrügg, K. Tockner, *Biological Treatment of Municipal Organic Waste using Black Soldier Fly Larvae*, vol 2, pp 357–363, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12649-011-9079-1> [Acceso: Noviembre 28, 2020]
- [62] S. Diener, C. Zurbrügg, K. Tockner, *Conversion of organic material by black soldier fly larvae: Establishing optimal feeding rates*, vol 27, pp 603-610, 2009.

- [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0734242X09103838> [Acceso: Noviembre 28, 2020]
- [62] Unidad de planeación minero energética. (27 de diciembre del 2019). Resolución número 000642 de 2019. [En línea]. Disponible en: [https://www1.upme.gov.co/Normatividad/642\\_2019.pdf](https://www1.upme.gov.co/Normatividad/642_2019.pdf) [Acceso: Noviembre 28, 2020]
- [64] H. Pathak, *Greenhouse Gas Emissions and Mitigation in Agriculture*, vol 5, pp 357-358, 2015.[En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/ghg.1528> [Acceso: Diciembre 8, 2020]
- [65] S. Diener, C. Zurbrügg, K. Tockner, *Bioaccumulation of heavy metals in the black soldier fly, Hermetia illucens and effects on its life cycle*, vol 1, pp 261-270, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3920/JIFF2015.0030> [Acceso: Diciembre 8, 2020]
- [66] J. Ortel, *Accumulation of Cd and Pb in successive stages of Galleria mellonella and metal transfer to the pupal parasitoid Pimpla turionellae*, 1995. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1995.tb01989.x> [Acceso: Diciembre 8, 2020]
- [67] M. Maryanski, P. Kramarz, R. Laskowski, M. Niklinska, *Decreased Energetic Reserves, Morphological Changes and Accumulation of Metals in Carabid Beetles (Poecilus cupreus L.) Exposed to Zinc- or Cadmium-contaminated Food*, vol 11, pp 127-139, 2002. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1023/A:1014425113481> [Acceso: Diciembre 9, 2020]
- [68] J.J. García, *Efecto de los compost sobre las propiedades del suelo: Evaluación comparativa de compost con separación en origen y sin separación en origen*, tesis master. Univeridad politécnica de Cartagena, Cartagena, Colombia. 2012
- [69] H. H. Park, *Black Soldier Fly Larvae Manual*, 2016. [En línea]. Disponible en: [https://scholarworks.umass.edu/sustainableumass\\_studentshowcase/14/](https://scholarworks.umass.edu/sustainableumass_studentshowcase/14/) [Acceso: Febrero 9, 2021]

- [70] A. D. Briscoe, L. Chittka, The evolution of color vision in insects, vol 46, pp 471-510, 2001. Disponible en: <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.ento.46.1.471> [Acceso: febrero 9, 2021]
- [71] Atlas de radiación Solar de Colombia, Apendice E. [En línea]. [http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas\\_Radiacion\\_Solar/11-Apendice\\_E.pdf#page11](http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/11-Apendice_E.pdf#page11) [Acceso: febrero 16, 2021]

## GLOSARIO

**Economía lineal:** Se basa en que todo producto fabricado tenga un destino final. La materia prima se transforma en un elemento que tiene vida corta o solo tiene un fin. Se fundamenta en el constante consumo y en el crecimiento económico. El daño ambiental es muy grande.

**Economía circular:** A diferencia de la economía lineal, esta economía tiene un proceso sostenible y mantiene un ciclo productivo. Al desechar el producto final o convertirlo en basura, la economía circular le da vida útil a su producto y utiliza su producto como medio para un nuevo ciclo de vida.

**Euritermas:** Especies que soportan grandes variaciones en la temperatura.

**Pupación:** Estado de transformación de larva a su fase pupa.

**Saprófagos:** Organismos que obtienen los nutrientes, alimentándose de materia orgánica en putrefacción o descomposición.




**Vermicompostaje:** Es un proceso de descomposición de la materia orgánica usando lombrices para la obtención de un producto final homogéneo.




## **ANEXOS**

## ANEXO 1




### EQUIPOS Y MAQUINARIA USADOS DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE


| Equipos                           | Imagen  | Descripción  |
|-----------------------------------|---|--|
| pHmetro<br><br>(buffer o digital) |    | <p>También conocido como potenciómetro es un sensor utilizado en el método electroquímico para medir el pH de una disolución. Se debe sumergir el medidor encendido en el líquido que se desea examinar (hasta la marca como se indica el manual) Al terminar lave con agua y guárdelo apagado</p> |
| Termómetro                        |  | <p>Sonda de 215 mm para medir la temperatura interna, fácil de leer las temperaturas, pantalla de 52 mm. Material: acero inoxidable</p> <p>dimensión: cerca de 215*52mm</p>  |
| Balanza                           |  | <p>Son instrumentos de pesaje de funcionamiento no automático que utilizan la acción de la gravedad para determinación de la masa. Se compone de un único receptor de carga (plato) donde se deposita el objeto para medir.</p>  |

|              |   |  |
|--------------|---|--|
| <p>Tamiz</p> |  | <p>Es un instrumento que sirve para separar partes finas de las gruesas y está formado por una rejilla o una tela metálica, conocido como cedazo o criba</p> |
|--------------|---|--|

## ANEXO 2

### ELEMENTOS DE SEGURIDAD

| Elementos de seguridad | Imagen  | Descripción   |
|------------------------|---|---|
| Gafas de seguridad     |    | Son ideales para proteger los ojos de las personas contra riesgos de salpicaduras de líquidos, impacto de partículas y contacto directo con material particulado.   |
| Bata                   |   | Bata en algodón poliéster, no producen chispas por fricción, ni se encienden al contacto con la llama. Manga larga ideal para una protección integral. Antifluidos  |
| Guantes                |  | El nitrilo es un material muy resistente que, aplicado en equipos de protección, como los guantes, hace que el operario tenga una buena cobertura de seguridad. A su vez, le permite realizar el trabajo con una muy alta precisión, a diferencia de otros materiales |

|                  |   |   |
|------------------|---|---|
| <p>Tapabocas</p> |  | <p>Los respiradores ayudan a reducir la exposición a ciertos contaminantes en el aire. Para partículas sólidas y nieblas líquidas en concentraciones que no exceda 10 veces el PEL/OEL.</p> |
|------------------|---|---|

## ANEXO C

### CALCULOS BALANCE DE FLUJO DE AGUA

Inicialmente se parte de una humedad del 70% para el sustrato y del 6% para la cascarilla de arroz [30]. Seguido a esto se calcula en kg el contenido de agua en cada uno de estos dos materiales:

$$\text{Sustrato} \rightarrow 35,2638 \quad 70\% (35,2638) = 24,68 \text{ kg agua sust}$$

$$\text{Cascarilla de arroz} \rightarrow 8,816 \quad 6\% (8,816) = 0,529 \text{ kg agua casc}$$

Por lo tanto:

- $m1 = m3 = 24,68 \text{ kg}$
- $m2 = \text{Despreciable}$
- $m4 = 0,529 \text{ kg}$
- $m5 = m3 + m4 \quad m5 = 24,68 + 0,529 \quad m5 = 25,209 \text{ kg}$
- $m6 = \text{Despreciable}$

Según los datos experimentales de referencia, para una masa de agua inicial de 775 kg, se producen 517,64 kg de emisiones [30], por lo tanto:

$$775 \text{ kg} \rightarrow 517,64 \text{ kg} \quad x = 16,838 \text{ kg}$$

$$25,209 \text{ kg} \rightarrow x$$

Por lo tanto:

$$m5 + m6 = m7 + m8 \quad m5 + m6 - m7 = m8$$

$$m8 = 25,209 + 0 - 16,838 \quad m8 = 8,371 \text{ kg}$$

Continuando con los datos experimentales de referencia, para un restante de 257,36 kg de agua todavía presente en el proceso, se producen 62,93 kg de agua en forma de pre pupas [30]. Por lo tanto:

$$257,36 \text{ kg} \rightarrow 62,93 \text{ kg} \quad x = 2,047 \text{ kg}$$

$$8,371 \text{ kg} \rightarrow x$$

Luego:

$$m_8 = m_9 + m_{10} \quad m_8 - m_{10} = m_9$$

$$8,371 - 2,047 = m_9 \quad m_9 = 6,324 \text{ kg}$$

Adicionalmente los datos experimentales arrojan que para los 194,43 kg de agua que no están en forma de prepupas, sino de compost, 134,60 kg son emisiones de gas [30]. Por lo tanto:

$$194,43 \text{ kg} \rightarrow 134,60 \text{ kg} \quad x = 4,378 \text{ kg}$$

$$6,324 \text{ kg} \rightarrow x$$

Entonces:

$$m_9 = m_{11} + m_{12} \quad m_9 - m_{11} = m_{12}$$

$$m_{12} = 6,324 - 4,378 \quad m_{12} = 1,946 \text{ kg}$$

Nota: Los valores despreciados en las corrientes se debe a que estas tienden a 0 y por tanto son despreciables.

## ANEXO D

### CALCULOS DEL BALANCE DE FLUJO DE CARBÓN

Basado en los estudios realizados por el DAMA y el PNUD a los residuos sólidos generados en las plazas de mercado [17], partimos de que el contenido de carbono varía entre el 43,5% y el 49,8%. Establecido lo anterior, se procede a sacar el contenido en kilogramos de carbón disponibles en los 35,2638 kg a procesar, se toma el porcentaje promedio:

$$46,7\% (35,2638 \text{ kg}) = 16,47 \text{ kg}$$

Otro factor a tener en cuenta es el contenido de carbón en la cascarilla de arroz, según análisis experimentales [31], este valor es de aproximadamente el 14,8%, por consiguiente, se procede a calcular en kilogramos el valor presente es los 8,816 kg de cascarilla de arroz a utilizar:

$$14,8\% (8,816 \text{ kg}) = 1,305 \text{ kg}$$

Entonces, por balance de masa, conociendo las corrientes 3 y 4, se halla la corriente 5:

$$m_5 = m_4 + m_3 \quad m_5 = 16,47 + 1,305$$
$$m_5 = 17,78 \text{ kg}$$

Se resalta que  $m_2$  y  $m_6$  son despreciables debido al poco peso que generan por lo que se supone un valor de 0 en estas dos corrientes.

Siguiendo con los datos de referencia, los autores exponen que para un total de 232,94 kg de carbono en el sustrato, se producen 86,53 kg de emisiones a la atmósfera [30], es por ellos que para los 17,78 kg presentes en el estudio, se realiza la siguiente operación:

$$232,94 \text{ kg} \rightarrow 86,53 \text{ kg} \quad x = 6,605 \text{ kg}$$
$$17,78 \text{ kg} \rightarrow x$$

Por balance de materia se halla la corriente 8:



$$m5 + m6 = m7 + m8 \quad m5 + m6 - m7 = m8$$

$$m8 = 17,78 + 0 - 6,605 \quad m8 = 11,175 \text{ kg}$$

Adicionalmente los autores expresan que, para 146,41 kg de carbono generado, 10,71 kg se van en forma de pre pupas [30]. Se calcula para los 11,175 kg, cuanto se iría a pre pupas:

$$146,41 \text{ kg} \rightarrow 10,71 \text{ kg} \quad x = 0,817 \text{ kg}$$

$$11,175 \text{ kg} \rightarrow x$$

Conociendo el valor de la corriente 10 (0,817 kg) se procede a calcular la corriente 9 por balance de materia:

$$m8 = m9 + m10 \quad m8 - m10 = m9$$

$$11,175 - 0,817 = m9 \quad m9 = 10,36 \text{ kg}$$

Finalmente, los autores reportan que, para 135,70 kg de carbono en el proceso final de compostaje, se generan 13,74 kg como emisiones [30], por lo tanto:

$$135,70 \text{ kg} \rightarrow 13,74 \text{ kg} \quad x = 1,049 \text{ kg}$$

$$10,36 \text{ kg} \rightarrow x$$

Por balance de materia, se estima el valor de la corriente 12:

$$m9 = m11 + m12 \quad m9 - m11 = m12$$

$$m12 = 10,36 - 1,049 \quad m12 = 9,311 \text{ kg}$$

## ANEXO E

### CALCULOS DEL BALANCE DE FLUJO DE NITROGENO

Basado en los estudios realizados por el DAMA y el PNUD a los residuos sólidos generados en las plazas de mercado [17], partimos de que el contenido de nitrógeno varía entre el 1,1% y el 2,1%. Establecido lo anterior, se procede a sacar el contenido en kilogramos de nitrógeno disponible en los 35,2638 kg a procesar, se toma el porcentaje promedio:

$$1,6\% (35,2638 \text{ kg}) = 0,564 \text{ kg}$$

Otro factor a tener en cuenta es el contenido de nitrógeno en la cascarilla de arroz, según análisis experimentales [32], este valor es de aproximadamente el 1,13% por consiguiente se procede a calcular en kilogramos el valor presente es los 8,816 kg de cascarilla de arroz a utilizar:

$$1,13\% (8,816 \text{ kg}) = 0,099 \text{ kg}$$

Entonces, por balance de masa, conociendo las corrientes 3 y 4, se halla la corriente 5:

$$m_5 = m_4 + m_3 \quad m_5 = 0,564 + 0,099 \\ m_5 = 0,663 \text{ kg}$$

Se resalta que  $m_2$  y  $m_6$  son despreciables debido al poco peso que generan por lo que se supone un valor de 0 en estas dos corrientes.

Siguiendo con los datos de referencia, los autores exponen que para un total de 12,19 kg de nitrógeno en el sustrato, se producen 5 kg de emisiones a la atmósfera [30], es por ellos que para los 0,663 kg presentes en el estudio, se realiza la siguiente operación:

$$12,19 \text{ kg} \rightarrow 5 \text{ kg} \quad x = 0,272 \text{ kg} \\ 0,663 \text{ kg} \rightarrow x$$

Por balance de materia se halla la corriente 8:

$$m5 + m6 = m7 + m8 \quad m5 + m6 - m7 = m8$$

$$m8 = 0,663 + 0 - 0,272 \quad m8 = 0,391 \text{ kg}$$

Adicionalmente los autores expresan que, para 7,19 kg de nitrógeno generado, 0,57 kg se van en forma de pre pupas [30]. Se calcula para los 0,391 kg, cuanto se iría a pre pupas:

$$7,191 \text{ kg} \rightarrow 0,57 \text{ kg} \quad x = 0,031 \text{ kg}$$

$$0,391 \text{ kg} \rightarrow x$$

Conociendo el valor de la corriente 10 (0,031 kg) se procede a calcular la corriente 9 por balance de materia:

$$m8 = m9 + m10 \quad m8 - m10 = m9$$

$$0,391 - 0,031 = m9 \quad m9 = 0,36 \text{ kg}$$

Finalmente, los autores reportan que, para 6,62 kg de carbono en el proceso final de compostaje, se generan 1,46 kg como emisiones [30], por lo tanto:

$$6,62 \text{ kg} \rightarrow 1,46 \text{ kg} \quad x = 0,08 \text{ kg}$$

$$0,36 \text{ kg} \rightarrow x$$

Por balance de materia, se estima el valor de la corriente 12:

$$m9 = m11 + m12 \quad m9 - m11 = m12$$

$$m12 = 0,36 - 0,08 \quad m12 = 0,28 \text{ kg}$$

## ANEFO F

### RECOMENDACIONES

- Para llevar a cabo el proceso experimentalmente, se recomienda poner una guardería de huevos, esto permite que ellas nazcan y pasados de 4 a 5 días se puedan contar en número y en masa para llevar un mejor control del proceso, ya que, si se ponen directamente al sustrato, algunas larvas mueren y se van por el canal de lixiviados o simplemente no nacen, resultando así datos muy sesgados.
- Experimentalmente también se recomienda suministrar ventiladores a los reactores los últimos días, para crear un flujo de aire activo sobre la superficie de los reactores y así aumentar la evaporación. Esto hará que sea mucho más fácil tamizar las larvas del abono orgánico resultante.
- De no garantizar las condiciones óptimas de desarrollo de la larva, el proceso se puede extender hasta 4 meses, generando malos olores y condiciones que dificultan la separación final de los dos productos.
- Si se requiere disponer de las larvas muertas, se recomienda someterlas a agua hirviendo durante unos minutos, esto permitirá una desinfección de la piel e intestinos de las larvas y un ahorro energético comparado al proceso de congelarlas a 0°C.