

Alternativa de biotransformación de residuos orgánicos mediante el cultivo de larvas de  
mosca soldado negra en Paipa (Boyacá)

Jessica Paola Rosas Patarroyo  
Daniel Alejandro Castelblanco Vega

Universidad de Boyacá  
Facultad de Ciencias e Ingeniería  
Ingeniería Ambiental  
Tunja  
2023

Alternativa de biotransformación de residuos orgánicos mediante el cultivo de larvas de  
mosca soldado negra en Paipa (Boyacá)

Jessica Paola Rosas Patarroyo  
Daniel Alejandro Castelblanco Vega

Trabajo de grado para optar al título de:  
Ingeniero Ambiental

Director:  
Juan Pablo Ortiz Rosas  
MSc en Ciencias – Biotecnología

Co-directora:  
Zulma Edelmira Rocha Gil  
MSc Ciencias Ambientales

Universidad de Boyacá  
Facultad de Ciencias e Ingeniería  
Ingeniería Ambiental  
Tunja  
2023

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Tunja, 31 de mayo de 2023

“Únicamente el graduando es responsable de las ideas expuestas en el presente trabajo”.  
(Lineamientos constitucionales, legales e institucionales que rigen la propiedad intelectual).

Dedico este trabajo de grado, a mis padres por apoyarme cada día de forma incondicional, por su amor, paciencia y ejemplo. A mi hermano, por las palabras de aliento, apoyo e impulsarme a ser mejor cada día. A mi sobrino quien es mi fuente de motivación y a mi compañero Daniel Castelblanco por la dedicación y compromiso en este proceso.

Jessica Rosas

Dedico este trabajo de grado, a mis padres por su apoyo incondicional, por creer en mí y motivarme día a día, a Mónica Camargo, por impulsarme en este proceso, a mi compañera Jessica Rosas por su amistad, colaboración y compromiso durante la investigación para lograr culminar esta etapa juntos.

Daniel Castelblanco

### **Agradecimientos**

A nuestro director de trabajo de grado Juan Pablo Ortiz Rosas y Co-directora Zulma Edelmira Rocha Gil, por su apoyo, tiempo dedicado, por compartirnos sus conocimientos y orientarnos durante el transcurso de la investigación.

A la empresa Red Vital, por permitirnos tener un espacio en las instalaciones de la planta de aprovechamiento para llevar a cabo el desarrollo de la parte experimental.

A las auxiliares de los laboratorios de análisis ambiental e investigación de la Universidad de Boyacá por su disposición y colaboración en la realización de los análisis de laboratorio.

## Contenido

	Pág.
Introducción.....	18
Caracterización fisicoquímica de los residuos sólidos orgánicos urbanos que llegan a la planta de compostaje del municipio de Paipa.....	20
Caracterización física .....	20
Caracterización química .....	28
Determinación de la eficiencia en condiciones controladas y no controladas de biotransformación de residuos orgánicos por las larvas de la mosca soldado negra (LMS)....	35
Temperatura del proceso .....	38
Índice de reducción de residuos .....	40
Eficiencia en la reducción de residuos .....	41
Análisis de composición proximal de las LMS .....	43
Análisis de ventajas y desventajas del proceso de biotransformación de las LMS frente al proceso de compostaje.....	47
Conclusiones.....	63
Recomendaciones .....	64
Referencias .....	65
Anexos.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

**Lista de Tablas**

	Pág.
Tabla 1. Caracterización física de residuos orgánicos mes de julio .....	22
Tabla 2. Caracterización física de residuos orgánicos mes de septiembre .....	23
Tabla 3. Caracterización física de residuos orgánicos mes de noviembre .....	24
Tabla 4. Análisis bromatológico de residuos orgánicos del municipio de Paipa .....	31
Tabla 5. Temperatura promedio durante el proceso de biotransformación .....	39
Tabla 6. Índice de reducción de residuos orgánicos .....	40
Tabla 7. Porcentaje de eficiencia de las LMS.....	41
Tabla 8. Resultados análisis composición proximal de LMS.....	43
Tabla 9. Ventajas y desventajas.....	49
Tabla 10. Justificación de subcriterios.....	53
Tabla 11. Evacuación de matriz multicriterio.....	58
Tabla 12. Comparación viabilidad económica .....	60

**Lista de Figuras**

	Pág.
Figura 1. Caracterización de residuos orgánicos municipio de Paipa .....	21
Figura 2. Agrupación de residuos caracterizados según su origen. ....	25
Figura 3. Caracterización química de residuos orgánicos .....	28
Figura 4. Resultados caracterización química residuos orgánicos .....	30
Figura 5. Proceso de biotransformación de residuos orgánicos usando LMS .....	35
Figura 6. Experimentos bajo condiciones experimentales .....	38
Figura 7. Proceso de compostaje planta de aprovechamiento del municipio de Paipa. ....	47
Figura 8. Resultado matriz multicriterio.....	60

**Lista de Anexos**

	Pág.
Anexo A. Anteproyecto.....	74

## Glosario

***Aprovechamiento de residuos:*** el aprovechamiento de los residuos se define como aquel conjunto de acciones que se orientan con el propósito de recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, remanufactura, rediseño, reciclado y recuperación de materiales secundarios o de energía (Henaó y Márquez, 2008).

***Biotransformación:*** proceso en el que se busca descomponer una variedad de residuos orgánicos y convertirlos en productos de valor agregado (Imwene et al., 2021).

***Bromatología:*** es la ciencia que permite conocer las características, valor nutricional y adulteraciones de los alimentos, en el que se hace una evaluación química de la materia que los compone y es por medio de este que se conoce la calidad del alimento (Gutiérrez, J. 2000).

***Caracterización:*** la caracterización de los residuos sólidos es una etapa básica e importante dentro de la gestión de residuos, ya que busca identificar las fuentes de generación, las cantidades y las variaciones en el tiempo, así como observar la calidad de los residuos generados (Alayón, 2021).

***Compostaje:*** se trata de una técnica a partir de la descomposición biológica de sustratos orgánicos, realizada por una población microbial diversa y en condiciones predominantemente aerobias, por la cual se genera un material estable, libre de patógenos, que puede aplicarse al suelo (Oviedo et al., 2017).

***Compost:*** materia orgánica que ha sido degradada y transformada por procesos aeróbicos en una sustancia similar al suelo y que puede utilizarse como fertilizante y enmienda del suelo (Dortmans et al., 2021).

***Cuarteo:*** método usado para la caracterización de los residuos sólidos, que consiste en recolectar una muestra, formar un círculo y dividir este en cuatro partes iguales, posteriormente,

tomar dos lados opuestos hasta obtener una muestra representativa que permita caracterizar y cuantificar los residuos (Castro, 2020).

**Eclosión:** proceso por el que las larvas jóvenes (crías) salen del huevo (Dortmans et al., 2021).

**Eficiencia:** se define como la capacidad o cualidad de actuación de un sistema o sujeto económico, para lograr el cumplimiento de objetivos determinados, minimizando el uso de recursos durante el proceso empleado (Andrade, 2005).

**Larva:** es la etapa en el desarrollo de algunos insectos, que ocurre después del nacimiento o eclosión y antes de que se alcance la forma adulta (Dortmans et al., 2021).

**LMS:** larva de la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*).

**Micronutrientes:** los micronutrientes son vitaminas y minerales, se encuentran en concentraciones mucho menores en los alimentos y son requeridos por el organismo en muy pequeñas cantidades, con la finalidad de que este tenga un normal funcionamiento, crecimiento y desarrollo (Reynaud, 2014).

**Minerales:** los minerales en los seres humanos y otros mamíferos tienen numerosas funciones metabólicas, como la función muscular, el estímulo nervioso, actividades enzimática y hormonal y el transporte del oxígeno (Santos et al., 2018).

**Sustrato:** es todo material compuesto por varias corrientes de biorresiduos después del pre procesamiento y acondicionamiento con el cual se alimenta las LMS (Dortmans et al., 2021).

**Residuos Orgánicos:** los residuos orgánicos pueden ser definidos como todo aquel material que proviene de especies de flora, fauna y son capaces de descomponerse por

microorganismos, también pueden ser desperdicios o productos de desechos de cualquier organismo (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2017).

## Resumen

### **Alternativa de biotransformación de residuos orgánicos mediante el cultivo de larvas de mosca soldado negra en Paipa (Boyacá).**

El procesamiento de residuos orgánicos mediante el uso de larvas de la mosca soldado negra (LMS), es una alternativa emergente y prometedora para la gestión sostenible de los mismos. Este estudio evaluó las características físico-químicas de los residuos orgánicos, el desarrollo de las LMS y el porcentaje de reducción bajo las condiciones de temperatura ambiental del municipio y mediante un calentamiento eléctrico leve, posteriormente, se realizó un análisis de las ventajas y desventajas del proceso de biotransformación usando LMS y el proceso de compostaje, alternativa que se viene desarrollando en el municipio.

La presente investigación surge de la necesidad de generar nuevas alternativas para el aprovechamiento de residuos orgánicos generados en el municipio de Paipa, donde se evaluó la eficiencia del proceso de biotransformación de LMS mediante la implementación de un sistema de crianza para valorar componentes técnicos relacionados con la adaptabilidad de las larvas, proporcionando una alternativa potencial y económica para el reciclaje de desechos orgánicos.

Para el desarrollo del estudio, se tomaron muestras de residuos orgánicos provenientes del municipio, inicialmente se realizó una caracterización física mediante la metodología de cuarteo y una caracterización química en la que se midió el contenido de humedad, nitrógeno y cenizas, además de un análisis bromatológico del sustrato de alimentación. Posteriormente, se adecuó una zona para la crianza de las LMS en la cual se establecieron dos condiciones experimentales para evaluar la eficiencia: con calentamiento eléctrico leve y el otro con las condiciones climáticas de temperatura del municipio la cual según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2023) en promedio es de 18.5 °C, cada experimento se desarrolló por triplicado en tres periodos distintos. Por último, se realizó una matriz multicriterio evaluando las ventajas y desventajas de los procesos de compostaje y la biotransformación mediante el uso de LMS.

Los resultados obtenidos en la investigación, mostraron que el sustrato utilizado es adecuado para el crecimiento y desarrollo de las LMS, además se confirmó su gran potencial para la reducción de residuos orgánicos y su posible uso como alimento alternativo para el sector porcícola, avícola y piscícola por su alto contenido nutricional y proteico, dicho esto se identifica que la alternativa de las LMS es viable en el municipio, sin embargo, es necesario se desarrolle bajo los parámetros técnicos y operativos adecuados.

**Palabras claves:** Bioconversión, Eficiencia larvaria, Gestión de residuos, Mosca soldado negra, Reducción de residuos orgánicos.

### **Abstract**

#### **Alternative biotransformation of organic waste through the cultivation of black soldier fly larvae in Paipa (Boyacá).**

The processing of organic waste through the use of black soldier fly larvae (LMS) is an emerging and promising alternative for the sustainable management of organic waste. This study evaluated the physical-chemical characteristics of organic waste, the development of LMS and the percentage reduction under the conditions of the municipality and by means of mild electrical heating; subsequently, an analysis was made of the advantages and disadvantages of the biotransformation process using LMS and the alternative composting process that is being developed in the municipality.

The present research arises from the need to generate new alternatives for the use of organic waste generated in the municipality of Paipa, where the efficiency of the LMS biotransformation process was evaluated through the implementation of a rearing system to evaluate technical components related to the adaptability of the larvae, providing a potential and economic alternative for the recycling of organic waste.

For the development of the study, samples of organic waste from the municipality were taken, initially a physical characterization was carried out using the quartering methodology and a chemical characterization in which the moisture, nitrogen and ash content was measured, in addition to an analysis of the proximal composition of the feeding substrate. Subsequently, an area was adapted for the rearing of the LMS in which two experimental conditions were established to evaluate efficiency: one with mild electrical heating and the other with the climatic conditions of the municipality; each experiment was carried out in triplicate in three different periods. Finally, a multicriteria matrix was carried out to evaluate the advantages and disadvantages of the composting and biotransformation processes using LMS.

The results obtained in the research showed that the substrate used is suitable for the growth and development of LMS, and also confirmed its great potential for the reduction of organic

waste and its possible use as an alternative food for the pig, poultry and fish farming sector due to its high nutritional and protein content, thus identifying that the alternative of LMS is viable in the municipality, however, it is necessary to develop it under the appropriate technical and operational parameters.

**Keywords:** Bioconversion, Larval efficiency, Waste management, Black soldier fly, Organic waste reduction.

## Introducción

La generación y manejo de residuos sólidos urbanos es hoy en día una de las problemáticas que enfrentan los gobiernos, y que aumentará en el futuro dadas las tendencias de rápida urbanización y crecimiento en la población urbana, en consecuencia, esta problemática amenaza la salud humana, la biodiversidad y el ecosistema debido a problemas ambientales asociados con la contaminación del agua, el aire y el suelo (Pastor et al., 2015).

Estas problemáticas son comunes en los países en desarrollo, debido a una gestión inadecuada de residuos, que implica tratamientos de mala calidad, vertido incontrolado y disposición en rellenos sanitarios sin aprovechamiento de los mismos (Dzepe et al., 2021), situación que se presenta actualmente en Colombia (López y Franco, 2020). Además, esta gestión presenta inconvenientes relacionados con la propagación de organismos patógenos, la contribución a las emisiones de gases de efecto invernadero, la ocupación de espacios valiosos que pueden ser destinados a otros usos y la producción de olores ofensivos (FAO, 2013 citado por Siddiqui et al., 2022).

En el caso específico del municipio de Paipa, se promueve la gestión sostenible de los residuos sólidos orgánicos por medio del compostaje, una tecnología eficaz y respetuosa con el medio ambiente para convertir la materia orgánica en un producto con una menor carga de patógenos, humificado y estable a través de la acción metabólica de microorganismos activos (Chang et al., 2022). Mediante esta alternativa se aprovechan 60 toneladas de residuos orgánicos de las 187 generadas mensualmente en el municipio (Alcaldía de Paipa, 2020), sin embargo, dicha alternativa no logra en su totalidad un aprovechamiento de todos los residuos orgánicos generados, por lo que actualmente se buscan nuevas tecnologías innovadoras y sostenibles, siendo este municipio un modelo para la realización de estudios en pro del aprovechamiento debido a su cultura de clasificación.

En este sentido, una de las alternativas prometedoras es el uso LMS, la cual puede gestionar y reciclar residuos a un bajo costo ambiental, mediante esta tecnología se pueden aprovechar una variedad de desechos, entre los que se incluyen frutas y verduras (Giannetto et al., 2020), residuos orgánicos municipales (Diener et al., 2011), estiércol animal, heces humanas (Gold et al., 2020), lodos no digeridos y residuos de matadero (Lalander et al., 2019), además, esta alternativa otorga un valor agregado al proceso, ya que convierte los residuos orgánicos en

compost que se puede usar como biofertilizante y biomasa larvaria fuente de grasa y proteína útil en la alimentación animal (Chang et al., 2022). Según Arroyave et al. (2019) los nutrientes de la larva LMS representan en promedio un 40 % de proteína y 35 % de grasa, productos muy apetecidos por el primer sector de la economía, de igual forma, el contenido considerable de aceite hace que las pre pupas sean una materia prima potencial para producir biodiesel (Wong et al., 2019).

Sin embargo, para realizar el proceso de biotransformación empleando LMS, se requiere de monitorear algunas condiciones como la temperatura, humedad, pH y parámetros de reproducción, los cuales tienen influencia en el crecimiento y desarrollo de las larvas. Dicho esto, el objetivo de la investigación fue evaluar la eficiencia del proceso de biotransformación de los residuos orgánicos generados en el municipio de Paipa, mediante el cultivo de LMS, evaluando condiciones técnicas de adaptabilidad.

Para cumplir con el propósito de la investigación fue necesario realizar la caracterización físico-química de los residuos sólidos orgánicos urbanos que llegan a la planta de aprovechamiento donde se evaluó el contenido de humedad, cenizas y nitrógeno; posteriormente se determinó la eficiencia y porcentaje de reducción de residuos en condiciones controladas y no controladas, para lo cual se realizaron ensayos bajo las condiciones planteadas y por último, se analizaron ventajas y desventajas del proceso de biotransformación de LMS frente al proceso de compostaje.

Los resultados de la investigación aportan conocimientos técnicos que sirven de base para futuras investigaciones y podrán beneficiar a los habitantes del municipio de Paipa, así como a las poblaciones de los municipios aledaños que tengan condiciones climáticas similares, quienes podrían implementar dicho proceso, ya que se considera como una alternativa orientada al manejo de residuos sólidos orgánicos, que genera beneficios ambientales y que aportan a la economía circular, además de ser un tratamiento efectivo y destacado en comparación con otras tecnologías que contribuyen con la sostenibilidad económica y ecológica (Acosta y Guzmán, 2022).

### **Caracterización fisicoquímica de los residuos sólidos orgánicos urbanos que llegan a la planta de compostaje del municipio de Paipa**

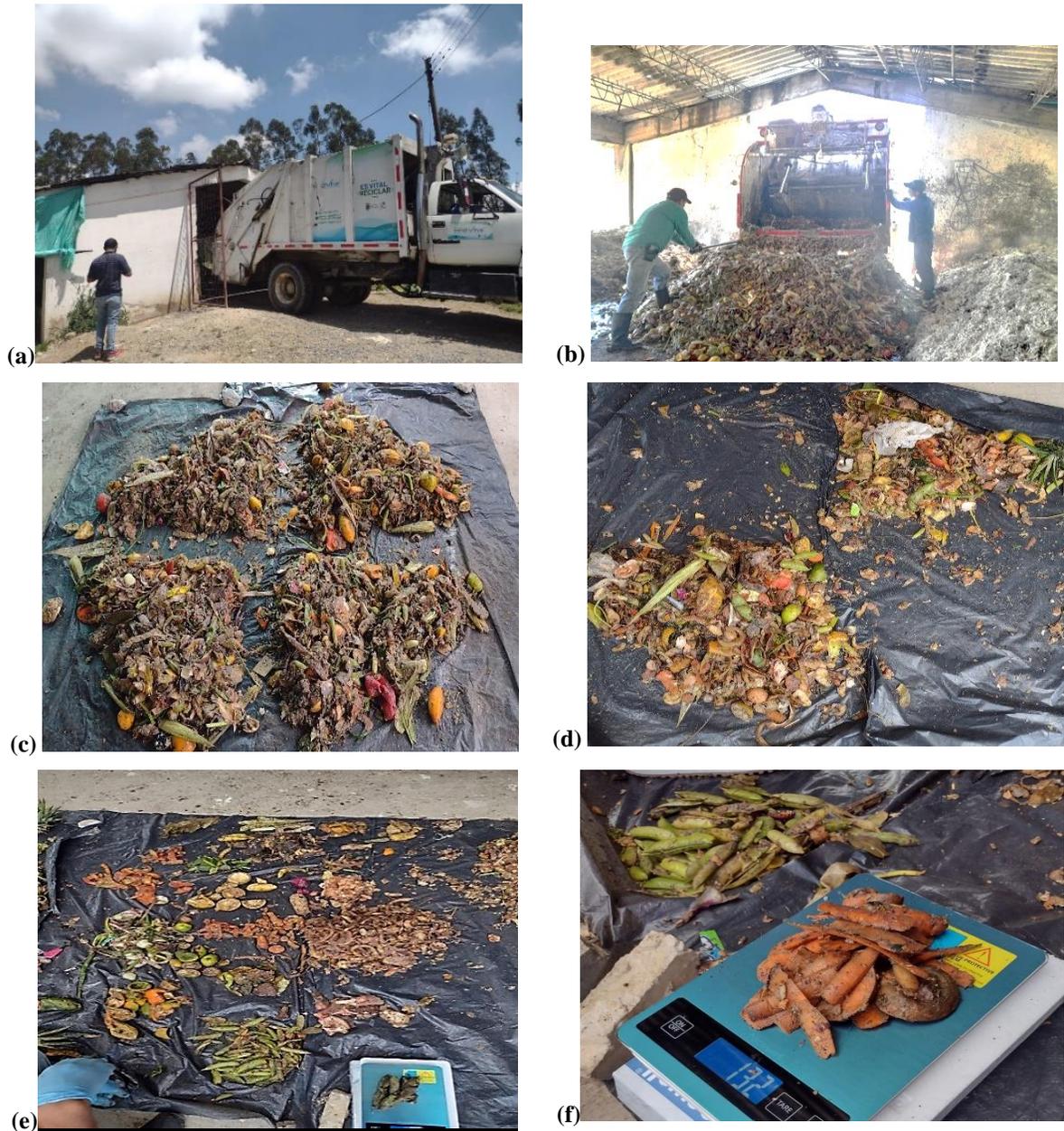
La caracterización de los residuos permite planificar las acciones para el manejo de los mismos, así como poder establecer las soluciones más apropiadas a los problemas que se presentan en las operaciones básicas de almacenamiento, recolección, transporte y disposición final, evitando el deterioro de la calidad ambiental y la salud de las personas. Según Flores (2009), esta consiste en recolectar una muestra e identificar su fuente, características y cantidad de residuos generados, la cual es representativa de la zona de estudio, algunas de las ventajas de realizar un estudio de caracterización, es que permiten iniciar e implementar un sistema de manejo, y tener un conocimiento del potencial económico que representan los residuos diferenciados.

A continuación, se presenta la caracterización físico-química realizada para los residuos orgánicos del municipio de Paipa, con el fin de determinar características cualitativas y cuantitativas de los residuos y poder identificar sus contenidos y propiedades, que son útiles para implementarse en sistemas de aprovechamiento de residuos orgánicos (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2012).

#### **Caracterización física**

El proceso realizado para la caracterización física de los residuos sólidos orgánicos que provienen del municipio de Paipa y llegan a la planta de aprovechamiento, fue basada en la metodología de cuarteo descrita por Rendón (2012), en donde se tomó una muestra de 50 kg de los residuos descargados en la planta, se hizo una circunferencia lo más uniforme posible con todos los residuos y se extrajeron dos cuartos (Figura 1d) y así sucesivamente hasta tener una muestra aproximadamente de 12 kg que fuera representativa y manejable. Posteriormente se realizó una clasificación (Figura 1e) y se procedió al pesaje de cada tipo de residuo (Figura 1f).

A continuación, se relacionan imágenes de la caracterización física realizada en la planta de aprovechamiento del municipio de Paipa y los resultados obtenidos de las caracterizaciones realizadas durante el año 2022 en los meses de julio, septiembre y noviembre.

**Figura 1***Caracterización de residuos orgánicos municipio de Paipa*

Fuente: Autores de la investigación. (a) Ingreso de los residuos a la planta de aprovechamiento; (b) Descarga del material para realizar proceso de compostaje; (c) y (d) Método de cuarteo; (e) Clasificación de residuos; (f) Pesaje de residuos.

**Tabla 1***Caracterización física de residuos orgánicos mes de julio*

<b>Tipo de residuo</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>%</b>
Cebolla	417	3.475
Zanahoria	150	1.250
Tomate	63	0.525
Tusa de maíz	128	1.067
Papaya	275	2.292
Tomate de árbol	48	0.400
Naranja	284	2.367
Hojas (Laurel, Eucalipto)	12	0.100
Hojas de Rea	20	0.167
Cascaras de maíz	51	0.425
Habas	55	0.458
Piña	251	2.092
Pepino	245	2.042
Plástico	50	0.417
Papel	54	0.450
Maracuyá	42	0.350
Mandarina	151	1.258
Yuca	104	0.867
Aguacate	186	1.550
Limón	254	2.117
Feijoa	43	0.358
Fresa	12	0.100
Melón	111	0.925
Pera	33	0.275
Remolacha	40	0.333
Mango	222	1.850
Frijol	33	0.275

<b>Tipo de residuo</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>%</b>
Cáscaras de Huevo	277	2.308
Plátano	701	5.842
Alverja	288	2.400
Papa	2500	20.833
Otros (Huesos, restos de comida)	4790	39.916

Fuente: Autores de la investigación

**Tabla 2**

*Caracterización física de residuos orgánicos mes de septiembre*

<b>Tipo de residuo</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>%</b>
Alverja	286	2.383
Habas	39	0.325
Piña	80	0.667
Mango	63	0.525
Plástico	33	0.275
Aguacate	160	1.333
Naranja	894	7.450
Hojas (espinaca)	48	0.400
Pepino	116	0.967
Cebolla Cabezona	49	0.408
Limón	229	1.908
Cebolla Larga	283	2.358
Maíz	494	4.117
Plátano	772	6.433
Auyama	129	1.075
Papaya	249	2.075
Cascaras huevo	80	0.667
Hoja lechuga	75	0.625
Maracuyá	67	0.558

<b>Tipo de residuo</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>%</b>
Mandarina	272	2.267
Zanahoria	52	0.433
Tomate de árbol	78	0.650
Zapote	44	0.367
Papa	444	3.700
Otros (Huesos, restos de comida)	6964	58.033

Fuente: Autores de la investigación

**Tabla 3**

*Caracterización física de residuos orgánicos mes de noviembre*

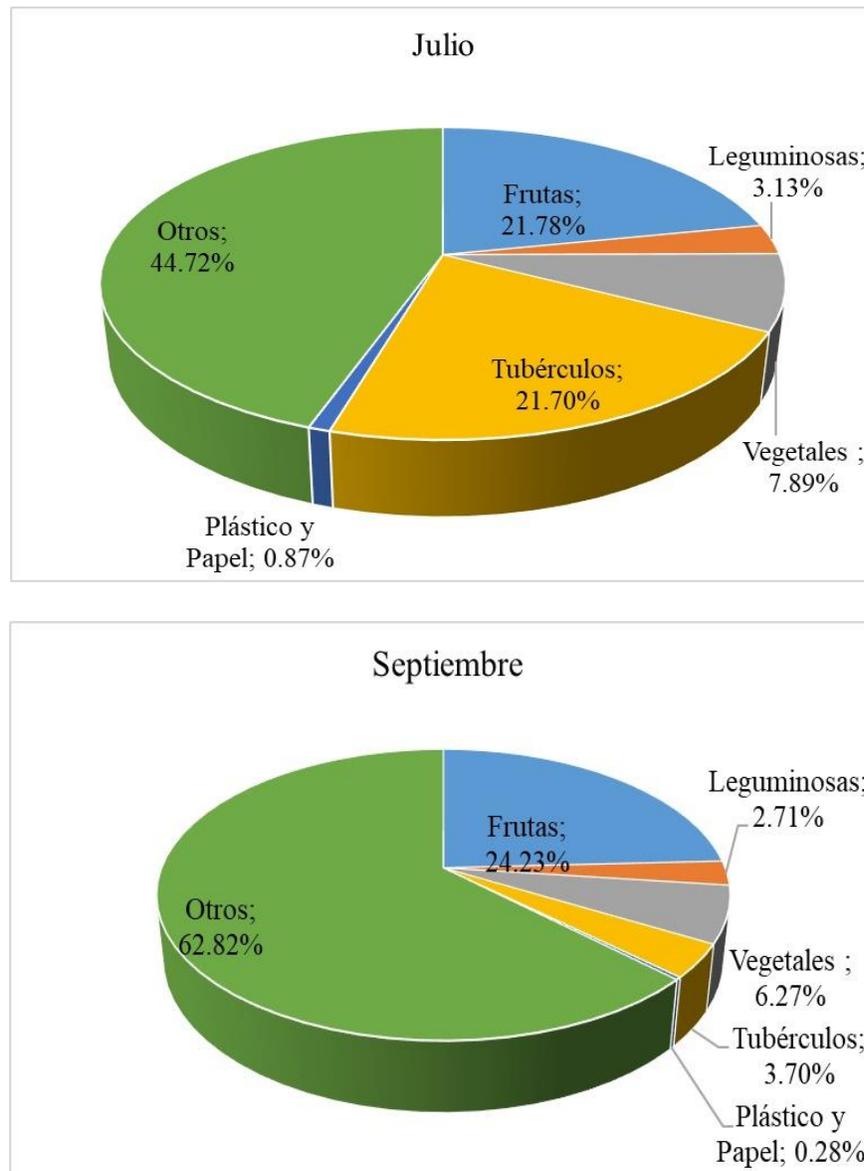
<b>Tipo de residuo</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>%</b>
Pimentón	48	0.369
Tomate	65	0.500
Naranja	930	7.154
Plátano	739	5.685
Mandarina	210	1.615
Pepino	98	0.754
Alverja	295	2.269
Haba	39	0.300
Plástico	42	0.323
Papa	1200	9.231
Limón	237	1.823
Zanahoria	98	0.754
Cebolla Larga	310	2.385
Cascaras de huevo	215	1.654
Papaya	230	1.769
Hojas maíz	94	0.723
Auyama	110	0.846
Manzana	50	0.385

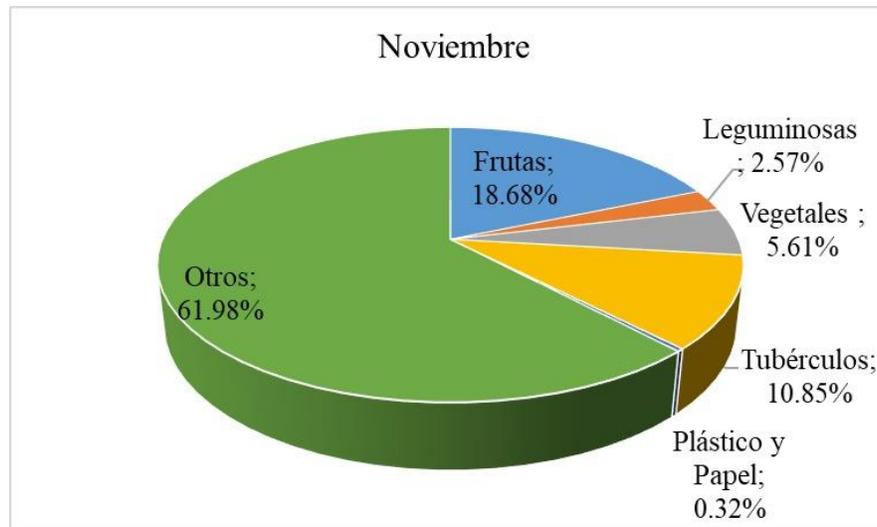
Tipo de residuo	Peso (g)	%
Yuca	210	1.615
Fresa	32	0.246
Otros (restos de comida)	7.748	59.600

Fuente: Autores de la investigación

**Figura 2**

*Agrupación de residuos caracterizados según su origen.*





Fuente: Autores de la investigación. Agrupación de residuos orgánicos realizada en los meses de julio, septiembre y noviembre del año 2022.

En las tablas 1,2 y 3; se presentan los resultados de las caracterizaciones realizadas en los meses de julio, septiembre y noviembre, con el fin de identificar el tipo de material disponible para el crecimiento y desarrollo de las larvas de la mosca soldado negra (LMS), debido a que este es uno de los factores implicados en el cultivo de la larva ejerciendo un efecto en la productividad y crecimiento de las mismas (Nguyen, 2015).

Sobre este aspecto Gold et al. (2020) consideran que las variaciones de los sustratos en la dieta afectan la concentración de aminoácidos, lípidos y cenizas en la larva, al igual que las variables asociadas a la producción del cultivo, principalmente el rendimiento, tasa de supervivencia y tasa de conversión alimenticia. Por lo tanto, es importante conocer los factores que determinan la calidad nutricional de los sustratos, según Barragán et al. (2018) los nutrientes determinantes para el desarrollo y rendimiento de las LMS son los macronutrientes, proteínas, carbohidratos, fibras y lípidos.

Para el análisis de resultados se agruparon los residuos según su origen, en los cuales encontramos las siguientes categorías: 1) frutas, dentro de esta se encontraron diversas cáscaras como mango, papaya, piña entre otras, con porcentajes de (21.78; 24.23 y 18.68%); 2) tubérculos, dentro de esta se encontraron restos de papa y yuca con porcentajes de (21.70; 3.7 y 10.85%); 3) leguminosas, identificando cáscaras de alverjas y habas con porcentajes de (3.13; 2.71 y 2.57 %); 4) vegetales y hortalizas, en la cual se encontraron cáscaras de zanahoria,

tomates, cebolla entre otras con porcentajes de (7.89; 6.25 y 5.61%); adicionalmente se estableció la categoría 5) plásticos y papeles con porcentajes de (0.87; 0.28 y 0.32 %) y finalmente la categoría 6) otros, la cual hace mención a alimentos procesados, cascara de huevos y demás residuos que debido al estado de descomposición no fueron posible clasificar, teniendo porcentajes de (43.71; 62.81 y 61.98 %) respectivamente para cada caracterización realizada.

En cuanto a la caracterización de los residuos que fueron usados para los procesos de biotransformación, se identificó la presencia de frutas y verduras que según autores como Arroyo et al. (2018) son ricas en fibra y dado que son alimentos con una alta cantidad de agua (80% – 90%) van a proporcionar muy poca energía, sin embargo, presentan mayor porcentaje de micronutrientes como las vitaminas y los minerales destacándose el potasio y el fosforo; de igual forma según Cohen et al. (2004) citado por Lalander et al. (2019) los nutrientes esenciales en la dieta de los insectos están compuesta por lípidos, vitaminas, nutrientes, aminoácidos y minerales, que están presentes en este tipo de residuos.

Por otro lado, autores como Gold et al. (2018) establecen que los desechos de restaurantes son ricos en carbohidratos y lípidos. Asimismo, estudios evaluaron el uso de diferentes sustratos presentando resultados en el que desechos de restaurante son considerados óptimos para el desarrollo de las LMS, según Nyakeri et al. (2017) una adaptación más rápida de crecimiento larvario se observó en el caso de los restos de comida debido a la estructura fina de la materia prima, junto con la composición de nutrientes.

De modo que los residuos como sustrato para el desarrollo de las LMS son eficientes reduciendo hasta el 64.3% y obteniendo larvas con un alto valor de proteína y grasas (Huaripata y Carrasco, 2022).

Teniendo en cuenta lo anterior, se considera que el sustrato utilizado para el proceso de biotransformación usando LMS, cuenta con los nutrientes necesarios para el desarrollo de las mismas, lo cual hace que este factor contribuya a la reducción del sustrato y a la obtención de LMS con alto contenido nutricional.

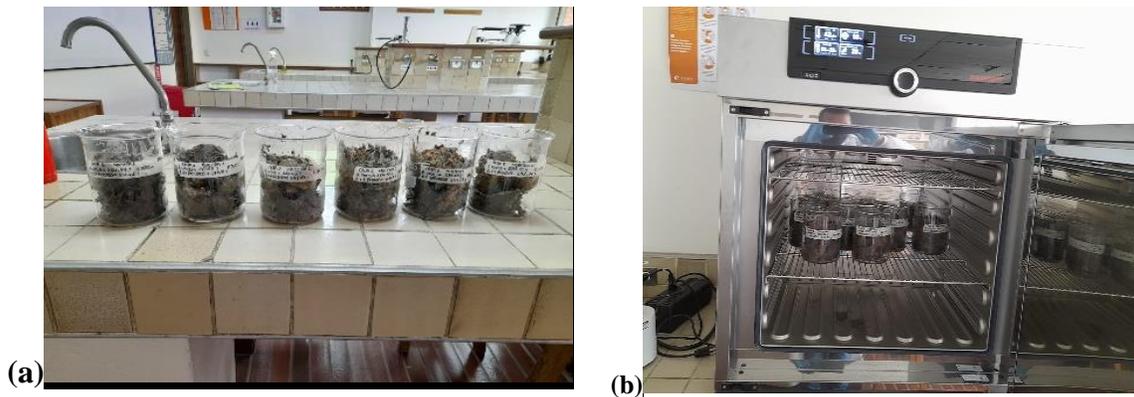
### Caracterización química

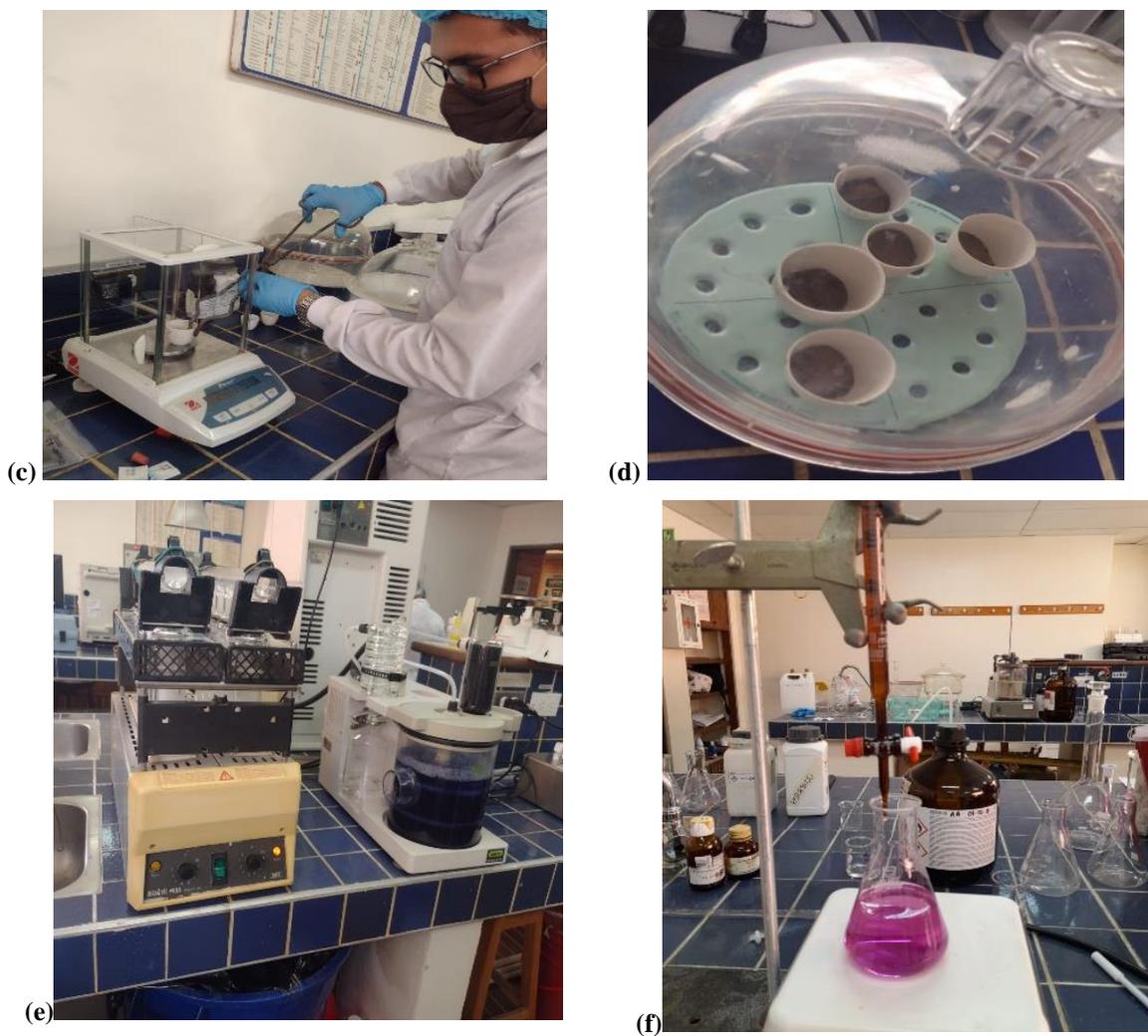
Los análisis químicos realizados a los residuos que provienen del municipio de Paipa y llegan a la planta de aprovechamiento fueron, humedad y cenizas bajo el estándar de la Norma Técnica Colombiana NTC 5167 (2011), nitrógeno empleando la NTC 5889 (2011) método estándar Kjeldahl. Estos análisis se realizaron para los “residuos frescos” termino que hace mención a los residuos recolectados y transportados hacia la planta de aprovechamiento, así como a los “residuos congelados” que hacen referencia a los recolectados en la planta de aprovechamiento, pero que se refrigeraron para su conservación y posterior uso en la alimentación de las LMS, estas mediciones se llevaron a cabo para los tres ensayos realizados en los meses de julio, septiembre y noviembre.

A continuación, se relacionan imágenes del análisis de características químicas en el laboratorio Análisis Ambiental de la Universidad de Boyacá (Figura 3) y la representación gráfica de los resultados para humedad, cenizas y nitrógeno (Figura 4).

### Figura 3

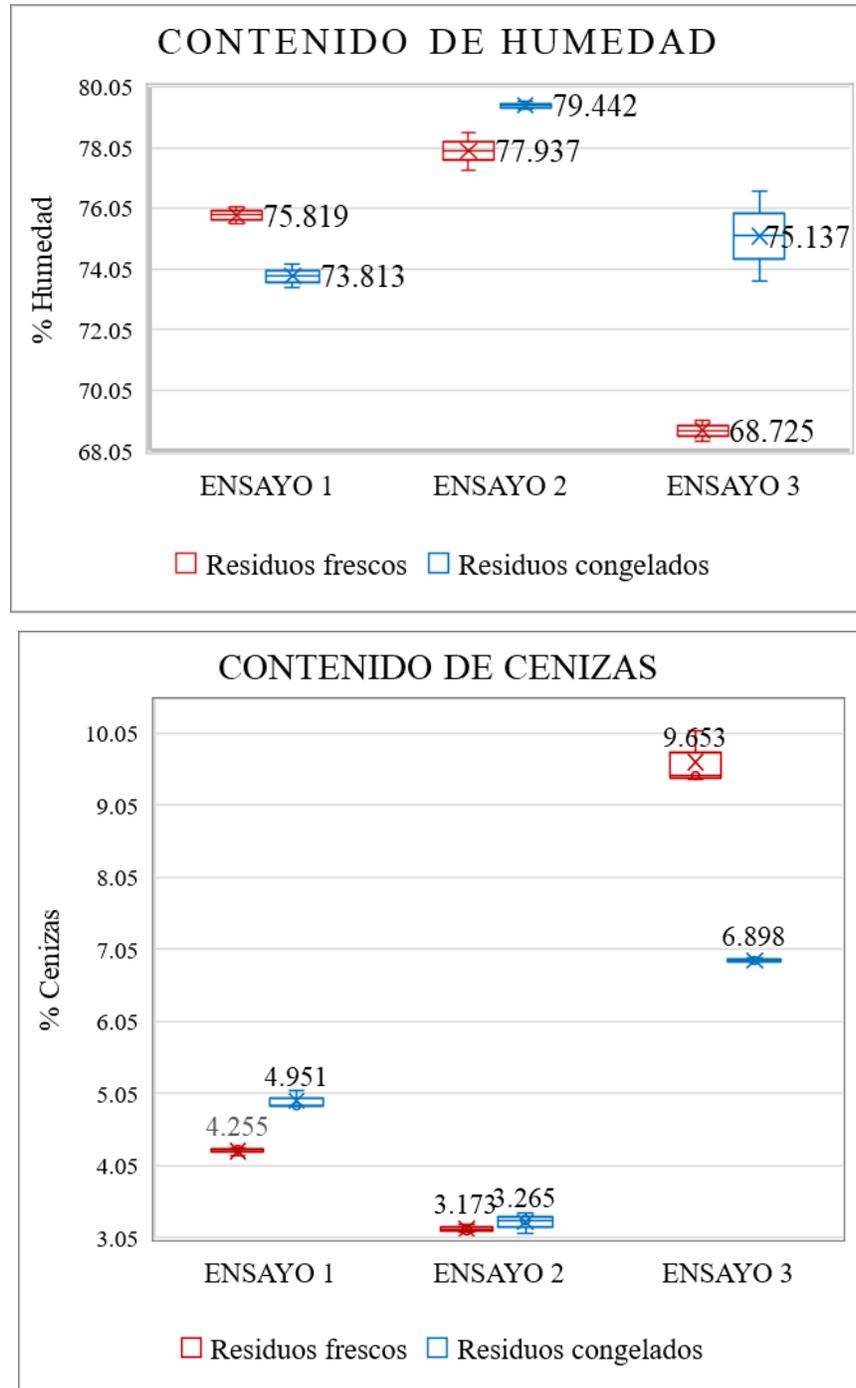
#### *Caracterización química de residuos orgánicos*

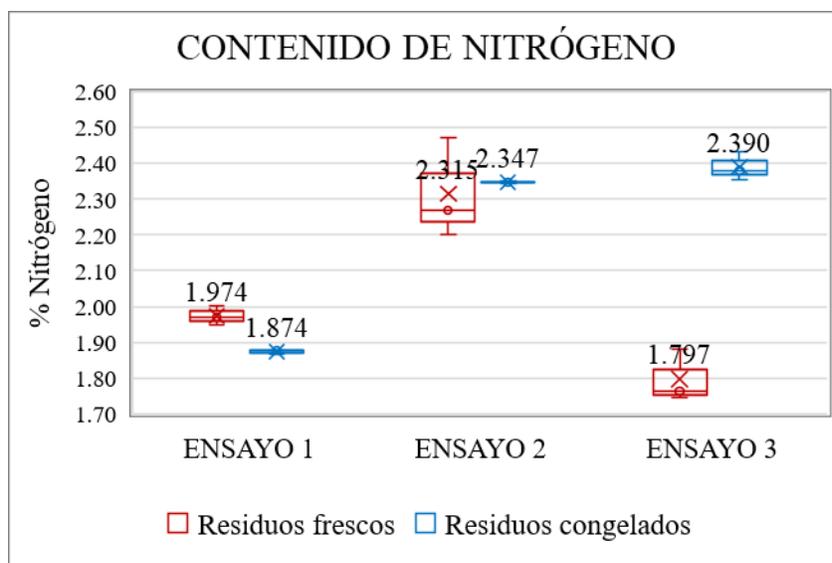




Fuente: Autores de la investigación. (a) Recipientes para el secado de las muestras; (b) Secado de muestras en el horno a 70°C; (c) Pesaje de crisoles; (d) Desecador con muestras de residuos; (e) Equipo de digestión para análisis de nitrógeno; (f) Titulación del residuo destilado.

En la figura 4, mediante diagramas de cajas se presentan los resultados de los análisis realizados en cuanto a humedad, cenizas y nitrógeno de los residuos frescos y congelados que fueron caracterizados y usados para los tres ensayos de biotransformación.

**Figura 4***Resultados caracterización química residuos orgánicos*



Fuente: Autores de la investigación. Representación gráfica del contenido de humedad, cenizas y nitrógeno de los residuos orgánicos del municipio de Paipa.

Adicionalmente, se presentan los resultados del análisis bromatológico de los residuos que llegan a la planta de aprovechamiento, contratados por el laboratorio AGRILAB S.A.S de servicios ambientales y agrícolas.

**Tabla 4**

*Análisis bromatológico de residuos orgánicos del municipio de Paipa*

Variable	Expresión/ Sigla	Resultado	Unidades
Humedad	N.A	6.20	%
Materia Seca	N.A	93.8	%
Cenizas	Fracción mineral	14.4	%
Perdidas por volatización	N.A	85.6	%
Extracto Etéreo	Grasa	9.35	%
Fibra Cruda	FC	13.4	%
Fibra Detergente Acida	FDA	33.4	%
Fibra Detergente Neutra	FDN	40.0	%
Nitrógeno Orgánico	N. Orgánico	2.20	%
Proteína Cruda	PC	13.8	%

Extracto No Nitrogenado	ENN	49.0	%
Fosforo	P	0.472	%
Calcio	Ca	2.66	%

Fuente: Autores de la investigación. Resultados análisis bromatológico de los residuos orgánicos realizados por la empresa AGRILAB S.A.S.

De los resultados obtenidos para la humedad se evidencia que los residuos frescos y congelados para los tres ensayos realizados oscilaron entre 68.73 a 75.82 % y 73.81 a 79.44 % respectivamente. Al comparar estos resultados con otros estudios, como el realizado por Gold et al. (2020), los cuales reportaron un contenido de humedad de 74.1 % para residuos de restaurante y además, de acuerdo con el estudio realizado por Sarpong et al. (2019) el porcentaje de humedad para residuos sólidos orgánicos municipales de los hogares, mercados y restaurantes fue de 60.3 a 63.1 %, por ultimo para García y Parra (2018) el porcentaje de humedad de los residuos orgánicos en el municipio de Paipa fue de 76.6 %. Se considera que los resultados de humedad obtenidos se encuentran dentro del rango reportado por otros autores con respecto al tipo de sustrato evaluado.

A partir de estos resultados se asocia que la humedad es un parámetro influyente en cualquier tipo de aprovechamiento que se vaya a realizar con los residuos orgánicos (Jiménez, 2021), en cuanto al proceso de biotransformación este parámetro influye significativamente en la supervivencia y el crecimiento de las LMS (Cheng et al., 2017). Además es muy variable puesto que es influenciado por las características composicionales del residuo, debido a que en algunos casos va a depender del grosor de la cáscara, así como del tiempo y temperatura de secado al que fueron sometidos durante su procesamiento (Cruz, 2002 citado por Vargas et al., 2019), adicionalmente va a depender del tipo de desechos que presente la muestra, en cuanto a los residuos que llegan a la planta de aprovechamiento del municipio de Paipa, al realizar la caracterización física se registró que algunos de los residuos más predominantes fueron frutas y verduras, los cuales según Arroyo et al. (2018) presentan un alto contenido de agua, lo cual probablemente está relacionado con los resultados obtenidos en la medición.

De igual manera, el contenido óptimo de humedad para el desarrollo de las LMS según autores como Dortmans et al. (2017) es del 70 al 80%; según Da Silva y Hesselberg (2020) es del 60 al 65% y para Salam et al. (2022) es del 70 a 75%, teniendo en cuenta los resultados en

este estudio los contenidos de humedad de la materia prima fueron adecuados para el desarrollo de las LMS y se encuentran dentro de los rangos reportados por otros autores.

En cuanto a las cenizas según Zumbado (2004), la determinación de este parámetro es indicador del contenido total de minerales y materia inorgánica, micro elementos que cumplen funciones metabólicas en el organismo. Es importante su medición ya que autores como Cohen et al. (2004) citado por Gold et al. (2018), consideran que los minerales son indispensables para el desarrollo de las LMS. Con respecto a los resultados obtenidos en el contenido porcentual de cenizas se evidenció que los residuos frescos y congelados para los tres ensayos realizados, oscilaron entre 3.17 a 9.65 % y 3.26 a 6.90 % respectivamente, además el porcentaje de cenizas de acuerdo con lo reportados por la empresa AGRILAB S.A.S fue de 14.4 %.

Al realizar la comparación con otros estudios como lo reportado por Adebayo et al. (2021), donde evaluaron la composición proximal de cenizas de algunos sustratos como restos de fruta y de alimentos, obtuvieron valores de 8.23 y 8.29 %; del mismo modo estudios como el realizado por Acosta y Guzmán (2022), presentaron un contenido de cenizas de 5.61% para residuos orgánicos domésticos, adicionalmente, el porcentaje de cenizas reportado por García y Parra (2018) para los residuos del municipio de Paipa fue de 15.5 %.

Teniendo en cuenta lo anterior se puede evidenciar que este parámetro puede oscilar altamente, ya que se identifica una variabilidad en los resultados no solo con lo reportado por otros autores, sino que también entre ensayos se presentaron algunas diferencias, posiblemente debido a que las muestras fueron recolectadas en diferentes meses, a la heterogeneidad de los residuos y a la naturaleza de los mismos como indica Rojas et al. (2019) debido a que residuos como la cáscara de tomate de árbol, cáscara de maracuyá, cáscara de plátano entre otros, pueden llegar a tener un alto contenido en cenizas. Asimismo, la sal de los alimentos utilizada en la cocción puede incrementar este valor; igualmente estos procesos se van transformando desde el momento de su generación lo cual puede contribuir a la pérdida de humedad y la concentración de los sólidos, por último, el contenido de cenizas puede estar influenciada como indica Cano (2016) debido a una alta presencia de metales pesados especialmente de plomo y cadmio, que proceden de elementos como equipos electrónicos y algunos plásticos en los residuos sólidos municipales.

En cuanto a los resultados obtenidos del contenido porcentual de nitrógeno se evidencio que los residuos frescos y congelados para los tres ensayos realizados oscilaron entre 1.79 a

2.31% y 1.87 a 2.39 %, adicionalmente, el porcentaje de nitrógeno de acuerdo con lo reportado por la empresa AGRILAB S.A.S fue de 2.20 %, al realizar la comparación con otros autores como Brito et al. (2016), reportaron un valor para el contenido de nitrógeno en residuos orgánicos provenientes de plazas de mercado de 1.82 %; asimismo, autores como Salam et al. (2022), evaluaron este parámetro en residuos orgánicos reportando un valor 2.78%, adicionalmente según Cabrera et al. (2021), reportaron un porcentaje de nitrógeno para residuos orgánicos de plazas de mercado de 1.1 y 2.1 %, por último García y Parra (2018), reportaron un valor de nitrógeno de 1.67% para los residuos orgánicos del municipio de Paipa; teniendo en cuenta lo anterior los valores para el contenido de nitrógeno se encuentran cercanos a los reportados en la literatura, dicho parámetro según Lu et al. (2021) es de gran importancia ya que ejerce efectos significativos en la longitud de las larvas, peso, rendimiento de proteína y contenido de lípidos crudos.

**Determinación de la eficiencia en condiciones controladas y no controladas de biotransformación de residuos orgánicos por las larvas de la mosca soldado negra (LMS)**

Actualmente han surgido nuevas alternativas para el manejo de residuos, buscando la maximización del aprovechamiento de estos y en consecuencia la minimización de las cantidades que son dispuestas en rellenos sanitarios, acciones que contribuyen a conservar y reducir la demanda de recursos naturales, disminuir el consumo de energía, preservar los sitios de disposición final y reducir sus costos, así como reducir la contaminación (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2012)

A continuación, se relacionan imágenes del proceso de biotransformación de residuos orgánicos usando LMS en la planta de aprovechamiento del municipio de Paipa.

**Figura 5**

*Proceso de biotransformación de residuos orgánicos usando LMS*





Fuente: Autores de la investigación. (a) zona de crianza (b) huevos de larvas; (c) sustrato de residuos orgánicos ;(d) medición de temperatura; (e) migración de larvas y (f) recolección y pesaje de larvas.

El proceso de biotransformación de los residuos por las LMS se realizó en las instalaciones de la planta de aprovechamiento del municipio de Paipa, donde se adecuó una zona para la crianza, en la cual se establecieron 2 condiciones experimentales para evaluar la eficiencia: con plancha eléctrica, que para el proceso se denominó “controlada”, con una temperatura que oscilo de 28 a 39 °C y el otro con las condiciones climáticas de temperatura del municipio que para el proceso se denominó “no controlada” con una temperatura que oscilo de 17.6 a 19.7 °C, adicionalmente cada experimento se desarrolló por triplicado en tres meses diferentes.

Los huevos de las LMS se obtuvieron del sistema de crianza de la empresa EntoPro SAS, se recibieron 3 g de huevos que fueron distribuidos en el sustrato de a 0.5g ( $\approx 12500$  larvas), para cada uno de los tres recipientes de las dos condiciones experimentales, el proceso de biotransformación de los residuos orgánicos tuvo una duración aproximada de 21 días, durante los experimentos se realizó la medición de temperatura tres veces por semana para analizar las condiciones de crecimiento y desarrollo de las LMS. Una vez completado el tiempo del proceso se recolectaron las larvas que empezaron a emigrar y las que permanecían dentro del sustrato, por último, fueron pesadas.

Las larvas recolectadas fueron sacrificadas aplicando la metodología propuesta por Zhen et al. (2020), quienes describen un método térmico proceso que consiste en agregar agua hirviendo durante un tiempo breve lo que ayuda a disminuir la cantidad de contaminación microbiana, conservar la calidad de los nutrientes y evitar la degeneración del producto final.

Para el cálculo de la eficiencia de conversión del sustrato en biomasa valiosa (eficiencia de conversión del alimento ingerido ECI) y reducción del sustrato (SR); índices calculados en base seca y húmeda bajo las condiciones “controladas” y “no controladas” se utilizaron las fórmulas descritas por (Jucker et al., 2020):

$$ECI = \frac{B}{(W - R)} \times 100 \quad (1)$$

$$SR = \frac{W - R}{W} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

B = biomasa total (larvas + pupas) (g)

W = cantidad total de alimento proporcionado

R = sustrato restante

Durante el proceso de biotransformación la cantidad de sustrato suministrado para cada uno de los tres ensayos bajo la condición controlada fue de 3 kg y no controlada de 2 kg, en los diferentes meses se presentaron distintas condiciones que tuvieron incidencia en el crecimiento y desarrollo de las larvas, para el primer y tercer ensayo realizados en los meses de julio y noviembre se agregaron las larvas eclosionadas en los sustratos, por el contrario en el segundo ensayo se procedió a agregar los huevos, lo cual generó que en la condición no controlada no se presentara una eclosión de larvas, además en cuanto a la condición controlada en el transcurso del proceso se interrumpió el sistema de suministro de calor por fallas técnicas durante aproximadamente 4 días, afectando las condiciones óptimas de temperatura y el proceso de biotransformación.

A lo largo de los tres ensayos se registró que, para la condición no controlada, el proceso de biotransformación de residuos se desarrolló de manera lenta, inicialmente presentaba olores ofensivos y presencia de vectores como mosquitos, sin embargo, al transcurrir el proceso dichas características fueron disminuyendo. En cuanto al crecimiento y desarrollo larvas estas presentaron un tamaño pequeño, poco movimiento y se encontraron en la mayoría del tiempo sobre el sustrato, así como en las paredes del recipiente (Figura 6 a), además, no se observó un cambio en el estadio de pre pupa a pupa.

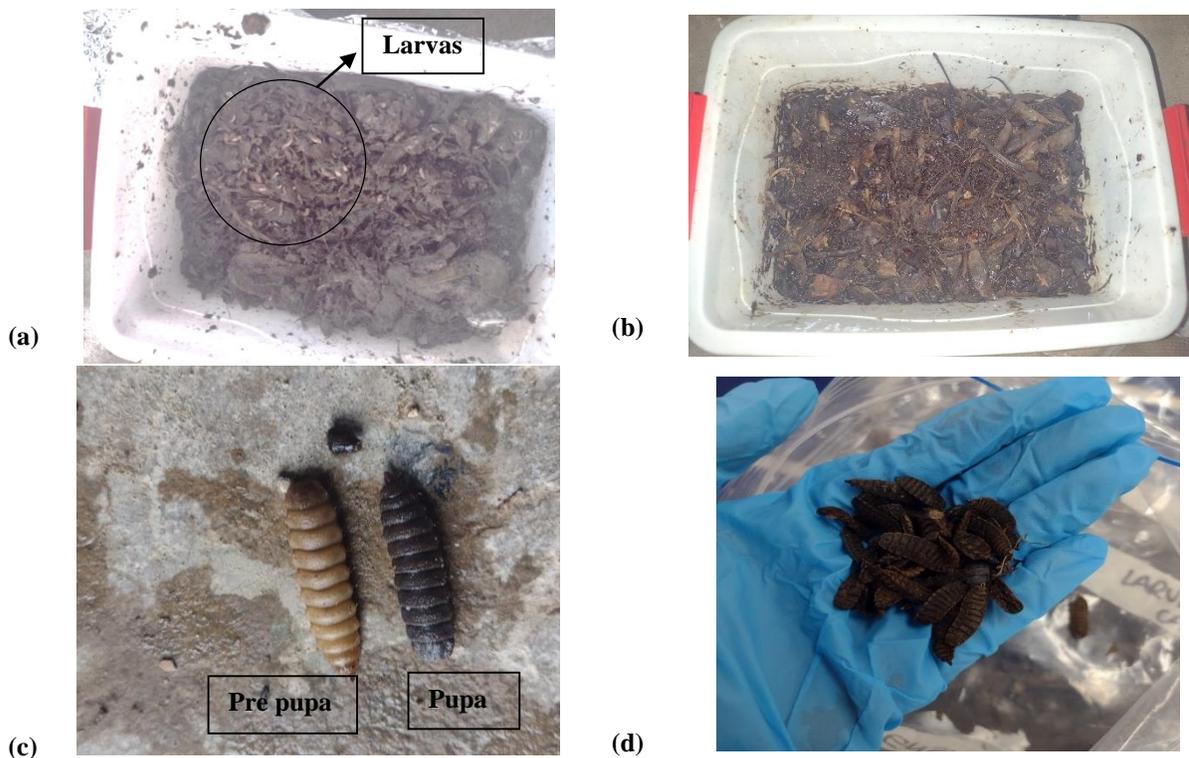
En cuanto a la condición controlada desde el inicio del proceso no se presentaron olores ofensivos, ni la presencia de vectores (Figura 6 b), de igual forma se observó que el tamaño de las larvas era mayor y el proceso de biotransformación de residuos fue más rápido, con respecto

a las larvas se encontraron dentro del sustrato y el estadio de pre pupa a pupa sucedió con más rapidez (Figura 6 c), lo que generó que emigraran buscando un lugar seco para completar su ciclo larvario.

Al final del período experimental los recipientes contenían sustrato residual en el cual observó restos no convertidos en la parte superior del recipiente y en la parte del fondo se encontró excremento, asimismo, durante el proceso se agregó agua en cada recipiente teniendo en cuenta condiciones ideales de humedad para la biotransformación del sustrato.

### Figura 6

*Experimentos bajo condiciones experimentales*



Fuente: Autores de la investigación. (a) sustrato bajo la condición no controlada (b) sustrato bajo la condición controlada; (c) estadio de pre pupa a pupa y (d) larvas desarrolladas en el sustrato de la condición controlada.

### Temperatura del proceso

A continuación, se presenta el registro de la temperatura promedio para las dos condiciones.

**Tabla 5***Temperatura promedio durante el proceso de biotransformación*

<b>Temperatura °C</b>				
<b>Recipiente</b>	<b>Condiciones</b>	<b>Ensayo 1</b>	<b>Ensayo 2</b>	<b>Ensayo 3</b>
1	Controlada	36.7	28.8	38.3
2		37.6	28.6	38.2
3		36.2	27.8	39
1	No Controlada	17.6	-	19.7
2		17.8	-	19.7
3		17.7	-	19.7

Fuente: Autores de la investigación.

La temperatura es uno de los factores más influyentes en el crecimiento y desarrollo de las larvas puesto que se ve reflejado en la reducción del sustrato y la eficiencia. Según Gómez (2018) la temperatura óptima de crecimiento se situó en un rango de 24 a 29.3 °C, y para Cabrera et al. (2021) fue en un rango de 27 a 30°C, lo cual garantiza que las larvas puedan desarrollarse y consumir una amplia gama de sustratos, sin embargo, para la condición controlada, los recipientes llegaron a presentar temperaturas que oscilaron entre 27.8 y 39 °C, aunque algunos ensayos se encontraron en el rango óptimo, en su mayoría la temperatura del proceso sobre paso lo reportado en la literatura, debido a que esta condición estaba sometida a un aumento de temperatura por medio de una esterilla de calor, lo cual no permitía tener un control total sobre esta variable, además se observaba una alta densidad larvaria, que como indica Parra et al. (2015) las LMS pueden llegar a generar auto calor en el proceso.

Con respecto a la condición no controlada, la cual se relaciona a las condiciones climáticas del municipio, según la estación Tinguavita situada cerca de la zona del estudio, reporto una temperatura ambiente en promedio anual para el año 2022 que oscilo entre 14.89 °C y 22.01 °C (IDEAM, 2023), sin embargo, los resultados en la medición dentro del sustrato fluctuó entre (17.6 y 19.7°C), esto debido a que como afirma Parra et al. (2015) la diferencia de temperatura con la temperatura ambiente se pudo haber debido al hacinamiento de la larvas y al calor que genera su movimiento.

### Índice de reducción de residuos

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el índice de reducción de residuos orgánicos mediante el uso de las LMS, calculado en base seca (BS) y en base húmeda (BH), este índice describe la capacidad de las larvas para reducir los sustratos de alimentación (Dzepe et al., 2021).

**Tabla 6**

*Índice de reducción de residuos orgánicos*

		% Reducción de residuos					
Recipiente	Condiciones	Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3	
		BS	BH	BS	BH	BS	BH
1	Controlada	49.03	37	18.32	12.63	54.95	14.90
2		42.69	29.17	25.18	14.73	60.77	27.90
3		41.89	28.17	19.79	11.90	67.53	43.33
1	No Controlada	37.22	22.4	-	-	54.83	9.95
2		27.35	10.2	-	-	57.42	10.45
3		41.91	28.2	-	-	48.18	6.85

Fuente: Autores de la investigación. Cálculo realizado en BS (En base seca) BH (En base húmeda). Nota: para el cálculo del ensayo 1, el valor fue estimado con base en los resultados obtenido de la humedad del ensayo 2.

El índice de reducción de residuos calculado en base seca para las dos condiciones experimentales, mostraron un porcentaje en promedio para cada ensayo de (44.54; 21.10 y 61.08 %) controladas y (35.49 y 53.48 %) no controladas, se puede evidenciar que el porcentaje de reducción más bajo se presentó en el ensayo 2 para la condición controlada, como se señaló anteriormente debido a situaciones adversas con la falta de suministro eléctrico, de igual forma, el porcentaje de reducción de residuos más alto se presentó en la misma condición, siendo la temperatura uno de los factores más influyentes sobre el crecimiento y desarrollo de las LMS.

En cuanto a la condición no controlada la temperatura no fue la óptima según lo reportado en la literatura y como señala Diener et al. (2011) en condiciones desfavorables como bajas temperaturas, las larvas dejan de alimentarse, no obstante, se presentaron porcentajes de

reducción altos probablemente relacionados con el tipo de sustrato, en su mayoría uno de los residuos predominantes fueron los restos de frutas y como indica Dzepe et al. (2021), las texturas de los desechos de frutas generalmente están llenos de agua y son fáciles de degradar. Adicionalmente se tuvo en cuenta un pretratamiento del sustrato, el cual consistía en la trituración mejorando la estructura de los residuos y facilitando la digestión para las LMS (Pastor et al., 2015).

Al revisar los índices de reducción reportados por otros autores como Diener et al. (2011) el cual obtuvo un porcentaje de reducción en masa seca del 46% al 76% con residuos orgánicos municipales, mientras que Joly (2018) obtiene un 65 % con residuos de cocina y Cheng et al. (2017) obtuvo un 43 % y un 67 % con frutas y verduras respectivamente; los resultados del estudio se encuentran cercanos a los reportados en la literatura y se considera que bajo las dos condiciones experimentales existe una importante reducción de residuos, dado que desde la perspectiva de la gestión de residuos se presentan beneficios para la salud funcional y ambiental, puesto que se realiza en poco tiempo y con baja huella de carbono (Siddiqui et al., 2022).

### **Eficiencia en la reducción de residuos**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el porcentaje de eficiencia en la bioconversión de residuos orgánicos mediante el uso de las LMS, este fue calculado en base seca (BS) y en base húmeda (BH), la eficiencia muestra la capacidad de las larvas para transformar el alimento ingerido en su biomasa (Jucker et al., 2020).

**Tabla 7**

*Porcentaje de eficiencia de las LMS*

		<b>% Eficiencia de residuos</b>					
<b>Recipiente</b>	<b>Condiciones</b>	<b>Ensayo 1</b>		<b>Ensayo 2</b>		<b>Ensayo 3</b>	
		<b>BS</b>	<b>BH</b>	<b>BS</b>	<b>BH</b>	<b>BS</b>	<b>BH</b>
1		6.15	5.14	19.33	14.78	33.73	99.11
2	Controlada	6.19	5.94	12.97	11.76	50.72	66.55
3		8.31	8.64	18.09	17.65	51.89	19.77

1		1.16	2.45	-	-	5.12	40.70
2	No	12.97	46.08	-	-	5.10	44.02
3	Controlada	3.36	7.09	-	-	3.93	36.50

Fuente: Autores de la investigación. Cálculo realizado en BS (En base seca) BH (En base húmeda). Nota: para el cálculo del ensayo 1, el valor fue estimado con base en los resultados obtenido de la humedad del ensayo 2.

El porcentaje de eficiencia calculado en base seca bajo las dos condiciones a las que fueron sometidas las LMS, utilizando como sustrato los residuos orgánicos del municipio, mostraron un porcentaje en promedio para cada ensayo de (6.88; 16.79 y 45.44 %) para la condición controlada y (5.83 y 4.71 %) no controlada.

Se reportó que a lo largo del proceso hubo variabilidad en los resultados para los tres ensayos especialmente en la condición controlada, esto debido a que la eficiencia está relacionada con la transformación del residuo en biomasa de LMS y como indica Lalander et al. (2019) la eficiencia de la operación está influenciada por la densidad de larvas, cabe resaltar que una de las condiciones que no se controló en el ensayo 1, fue la migración de las larvas, una de las observaciones que se tuvo fue que una vez listas las pre pupas siempre se mostraban inquietas, buscando salir de los recipientes en busca de un lugar más seco y oscuro para cambiar de estadio, lo que generó que estas escaparan de los recipientes por la parte superior abriéndose paso a través de la tapa migrando a lugares aledaños de la zona de crianza, generando una pérdida en la biomasa larval recolectada, reflejándose en los porcentajes bajos en este ensayo.

De igual forma, en el ensayo 2, se implementó un sistema en el que las larvas pudieran emigrar del sustrato directamente a un recipiente, el cual no estaba totalmente sellado, lo que generó que también se presentara una pérdida de biomasa larval. Por último, en el ensayo 3 fue implementado un sistema en el que las larvas emigraban del sustrato directamente a un recipiente sellado garantizando una menor pérdida de biomasa larval (Figura 5 e), cabe mencionar que como no siempre las LMS salían por el orificio designado y se trepaban por las paredes de los recipientes, además de quedar dentro del sustrato, fue necesario recogerlas manualmente, lo cual genera imprecisión en los resultados de eficiencia reportados.

Los porcentajes más altos de eficiencia se obtuvieron en el ensayo 3 para la condición controlada en su mayoría con valores superiores a los observados en la literatura para sustratos similares a los empleados, como reporto Diener et al. (2011) en su estudio obtuvo un porcentaje en masa seca del 11.8 % con residuos orgánicos municipales; adicionalmente Ermolaev et al.

(2019) reporta un porcentaje de 27.9 % para larvas alimentadas con residuos de alimentos, así mismo, Nyakeri et al. (2017) establece un porcentaje de eficiencia de 20,8%. Los altos porcentajes de eficiencia obtenidos señalan la alta capacidad de las larvas para digerir el sustrato suministrado esto se puede atribuir a la composición del alimento, los nutrientes que componen el sustrato, la humedad y el tiempo de desarrollo, mostrando una alta efectividad en cuanto a la transformación de los nutrientes en biomasa larval en este ensayo (Acosta y Guzmán, 2022).

Sin embargo, los porcentajes de eficiencia más bajos se presentaron con la condición no controlada, ya que la temperatura y la humedad pueden tener graves consecuencias en el desarrollo de las LMS si no se mantienen de forma óptima (Park, 2016 citado por Singh et al., 2019). En esta condición la temperatura fue probablemente el factor con mayor incidencia en el proceso generando que no se presentara el cambio de etapa larvaria, adicionalmente teniendo influencia en el tamaño reducido de las LMS.

Otros factores que influyen en la eficiencia según Mutafela (2015), son el flujo de desechos, el modo de alimentación y el número de larvas inoculadas, con respecto a las larvas inoculadas se manejó la misma cantidad de gramos de huevos de LSM para todos los ensayos, sin embargo, se observó variabilidad en la eclosión de larvas, lo que posiblemente tuvo influencia en el índice de reducción de residuos y el porcentaje de eficiencia del proceso.

### **Análisis de composición proximal de las LMS**

A continuación, se presenta el análisis de composición de las LMS para la condición con calentamiento, contratado por el laboratorio AGRILAB S.A.S de servicios ambientales y agrícolas, puesto que con esta condición se logró obtener el peso requerido por la empresa para la realización de los análisis.

**Tabla 8**

*Resultados análisis composición proximal de LMS*

<b>Variable</b>	<b>Expresión/ Sigla</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidades</b>
Humedad	N.A	18.8	%
pH en pasta de saturación	pH	6.40	-
Conductividad eléctrica	CE	8.16	dS/m

<b>Variable</b>	<b>Expresión/ Sigla</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidades</b>
Retención de Humedad	Ret.hum	133	%
Cenizas	N.A	10.1	%
Perdidas por Volatización	N.A	71.1	%
Capacidad de Intercambio Catiónico- CIC	CIC	36.8	Meq/100g
Densidad Real (En base seca)	N.A	0.358	g/cm <sup>3</sup>
Carbono Orgánico Oxidable Total	COOx	21.9	%
Relación Carbono/Nitrógeno	C/N	5.3	Adimensional
Nitrógeno Total	NT	4.17	%
Nitrógeno Orgánico	N orgánico	4.17	%
Proteína Cruda	PC	26.06	%
Fosforo Total	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.168	%
Potasio Total	K <sub>2</sub> O	0.802	%
Calcio Total	CaO	5.81	%
Magnesio Total	MgO	0.397	%
Azufre Total	S	0.158	%
Hierro Total	Fe	I.L.C.M	mg/kg
Manganeso Total	Mn	17.5	mg/kg
Cobre Total	Cu	I.L.C.M	mg/kg
Zinc Total	Zn	35.4	mg/kg
Boro Total	B	6.90	mg/kg
Sodio Total	Na	0.129	%
Silicio Total	SiO <sub>2</sub>	0.987	%
Residuos insoluble en ácido	N.A	1.09	%

Fuente Autores de la investigación. Resultados análisis composición proximal de las larvas realizados por la empresa AGRILAB S.A.S.

Con respecto a las LMS bajo la condición controlada de los tres ensayos estas presentaron un contenido de proteína de 26.06 %. Experimentos realizados con sustratos similares a los empleados en el proyecto mostraron un contenido de proteína de 36.01% usando como sustrato residuos de restaurantes (Nyakeri et al., 2017), mientras que para Lalander et al. (2019) el contenido de proteína fue de 39.2% para larvas alimentadas con desechos de alimentos, para Nguyen et al. (2015) el contenido fue de 21.2 % con desperdicios de cocina y 12.9 % en frutas y verduras. En cuanto a los minerales, las larvas presentan un alto contenido de Calcio, Zinc, Boro, Manganeso entre otros (Tabla 8).

Con respecto a los contenido de proteína y minerales de las LMS estos se encuentran cercanos a los reportados en la literatura, sin embargo, las variaciones entre diferentes estudios, probablemente se presentó por factores como la temperatura, la humedad y el pH a las que fueron sometidas las larvas (Lu et al., 2022), además la composición del alimento proporcionado a las larvas en crecimiento también determinará el contenido final de grasa y proteína (DiGiacomo y Leury, 2019) en el presente estudio se identificó en su mayoría la presencia de restos de frutas y verduras en los residuos del municipio que como indica Hopkins et al. (2021) son bajas en proteínas lo cual puede tener influencia, de igual forma la etapa en la que las larvas sean recolectadas es otro factor que tiene influencia, ya que como indica Huyben et al. (2019) en el estado de pupa las larvas presentan menor contenido de grasa y proteína que en el estadio de pre pupa, adicionalmente el secado y procesamiento para el sacrificio de las LMS según Larouche et al. (2019) también tiene un efecto sobre el pH, las cenizas y el contenido de grasa, por último según Saucier et al. (2022) la temperatura y el método durante el almacenamiento también afectan la calidad nutricional.

El proceso de biotransformación de residuos orgánicos usando LMS, no solo tiene la capacidad de reducción de los residuos, sino que también convierten los desechos orgánicos en aminoácidos, péptidos, proteínas, aceites, quitina y vitaminas, siendo usadas las larvas como alimento para animales principalmente en mascotas, cerdos y aves (Lu et al., 2022). Para el sector avícola las necesidades nutricionales varían según la especie, la edad y la finalidad de la producción. En cuanto a los requerimientos mínimos de proteína para pollos destinados a la obtención de carne es de 20% y para gallinas ponedoras es 15% (Farell, 2013), para el sector piscícola según (Husa, 2015 citado por Heredia et al., 2020) algunos requerimientos nutricionales para las tilapias son del 29 % en proteína, en cuanto al sector porcícola, los

requerimientos de proteína oscilan entre 16 a 18 % (Vetifarma, 2005 citado por Danura, 2010). Adicionalmente, al revisar la composición nutricional de concentrado de algunas empresas como Itacol y Solla en sus productos los contenidos de proteína oscilan entre 19 y 24 % para los sectores mencionados anteriormente, teniendo en cuenta el contenido proteína obtenido en este estudio, se considera que las LMS pueden ser un alimento nutricional de alto valor que cumple con los requerimientos necesarios para lograr el nivel máximo de crecimiento y buena salud de los animales.

### **Análisis de ventajas y desventajas del proceso de biotransformación de las LMS frente al proceso de compostaje**

El manejo inadecuado y el aumento en la generación de los residuos orgánicos debido al crecimiento poblacional y los hábitos de consumo de los individuos desencadenan múltiples problemas sanitarios, económicos y ambientales. Desde las últimas décadas, hay un gran énfasis en la valorización de los residuos y en su gestión para lograr un enfoque sostenible que genere ingresos (Singh y Kumari, 2019). Existe una necesidad apremiante de desarrollar múltiples tecnologías potenciales de valorización de los residuos orgánicos para reducir y mitigar los efectos adversos. (Dzepe et al., 2021)

En este contexto, a continuación, se presenta una descripción del proceso de compostaje que se viene desarrollando en el municipio de Paipa, con el fin de conocer las posibles ventajas y desventajas de dicho proceso en comparación a la alternativa en estudio con respecto a las LMS, teniendo en cuenta factores como lo son la parte económica, ambiental, social y técnica del proceso.

#### **Figura 7**

*Proceso de compostaje planta de aprovechamiento del municipio de Paipa.*





Fuente: Red vital. (2022, 18 noviembre). Planta de aprovechamiento de residuos sólidos urbanos. <https://redvitalpaipasaesp.com/informacion-de-entidad/> Nota. (a) volteo de pilas de residuos; (b) zona de compostaje; (c) zona de trituración (d) zona de fermentación.

El compostaje es la descomposición de la materia orgánica y su transformación en humus por la acción de un gran número de microorganismos en un ambiente cálido, húmedo y ventilado. Este proceso puede llevar varios meses y producir compost como único producto valioso (Compaoré et al., 2010)

Según García y Parra (2018), describen el proceso de compostaje que se desarrolla para aprovechar una parte de los residuos orgánicos generados en el municipio, el cual se explica a continuación:

El material se recibe en las instalaciones del Instituto Técnico Agrícola de Paipa en un galpón adecuado para esta actividad, este llega a la planta de transformación en el carro compactador, es descargando en el área de deshidratación donde se realizan volteos diarios por diez días hasta llegar a una humedad del 50 %, para que la entrada de oxígeno permita aumento de temperatura, momento en el cual se pasa a la zona de compostaje donde se dan volteos cada tres días por un periodo de 40 días tiempo durante el cual se realizan monitoreo de temperatura, que va disminuyendo hasta temperatura ambiente; luego se muele, cierne y se le adicionan minerales como Ca, P, Mg, K, S, Zn, Cu, Mn, B y Fe para garantizar una composición mineralógica, que de las características de abono orgánico mineral que sirva para la nutrición vegetal.

Proceso de fermentación

En la zona de deshidratación del material sólido se genera un líquido (lixiviado), que es conducido por gravedad a un depósito, para luego pasarlo a un tanque de fermentación, donde se adiciona una fuente de energética al 3% (melaza), del mismo modo se disuelven

sulfatos de Zn, Cu, Mg, Mn, Fe, K y  $H_3BO_3$  3,5% (que ayudan a una estabilización de este efluente), este material inicia un proceso de fermentación alcohólica por 20 días, para garantizar la inocuidad del mismo.

Dentro de las alternativas que se promueven para el manejo y la gestión de residuos orgánicos, que permitan la disminución del impacto al medio ambiente, se encuentra el uso de métodos tradicionales como lo es el compostaje, sin embargo, actualmente han surgido nuevas tecnologías para el tratamiento de los residuos mediante el uso de insecto, como lo es el caso de la LMS, los cuales se identifican como una alternativa prometedora y efectiva para reciclar varios materiales de desecho biológico. A continuación, se presentan alguna de las ventajas y desventajas de dichos procesos.

**Tabla 9**

*Ventajas y desventajas*

Proceso	Ventajas	Desventajas
<b>Compostaje</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El compost es útil en la biorremediación (Ventorino et al., 2019).</li> <li>• El compost es útil para el control de enfermedades de las plantas (Pane et al., 2019)</li> <li>• El compost es útil para el control de malezas (Coelho et al., 2019)</li> <li>• El proceso tiene un porcentaje de reducción de masa del 35 - 40% (Acosta y Guzmán, 2022)</li> <li>• Tecnología robusta y relativamente sencilla, requiere poco</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Larga duración del compostaje, presencia de patógenos termofílicos, larga duración de la mineralización y producción de olores (Ayilara et al., 2020).</li> <li>• El proceso genera la liberación de gases de efecto invernadero (<math>CO_2</math>, <math>SO_2</math> y <math>NO_2</math>) (Ayilara et al., 2020).</li> <li>• El proceso requiere una alta frecuencia de volteo del material (Ndegwa y Thompson, 2001).</li> </ul>

---

	<p>mantenimiento (Mertenat y Tristancho, 2015).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alternativa más conocida en la región experiencia a nivel local y nacional (Mertenat y Tristancho, 2015).</li> <li>• Bajo riesgo laboral, importante generación de empleo (Mertenat y Tristancho, 2015).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de nutrientes durante el prolongado proceso de compostaje (Ndegwa y Thompson, 2001).</li> <li>• El proceso de manejo manual es dispendioso provocando la presencia de roedores, insectos que resultan difíciles de controlar (García y Parra, 2018).</li> <li>• Alta área requerida para la instalación (Mertenat y Tristancho, 2015).</li> </ul>
<p><b>Biotransformación con LMS</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo de múltiples desechos orgánicos industriales, domésticos, agrícolas o restos de plantas y animales (Bondari y Sheppard, 1987).</li> <li>• Reducción masiva de desechos orgánicos que puede variar entre el 65-78% (Diener et al., 2011).</li> <li>• Reducción del volumen original de los desechos en un 50% (Pathak et al., 2015).</li> <li>• Proceso considerando de bajo costo, bajo mantenimiento, operación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se desconoce el mercado actual del producto.</li> <li>• La segregación en la fuente debe estar completamente establecida.</li> <li>• Posibles regulaciones sobre los productos.</li> <li>• Necesidad de monitorear las condiciones ambientales y parámetros de reproducción.</li> <li>• Necesita más investigación sobre el valor de mercado inicial</li> </ul>

---

- 
- menos sofisticada y fácil (Singh y Kumari, 2019).
- (Da Silva y Hesselberg, 2020).
- Reducción de bacterias dañinas, como *Salmonella* spp. y *Escherichia coli* (Erickson et al., 2004)
  - En la etapa de mosca no se alimentan, por lo tanto, no son patógenos (Sheppard et al., 2002).
  - Las LMS pueden reducir la vida media de las sustancias farmacéuticas y pesticidas (Lalander et al., 2019)
  - El proceso produce un abono que puede usarse como fertilizante (Da Silva y Hesselberg, 2020).
  - Menor cantidad de emisión de gases de efecto invernadero dióxido de carbono y metano (Perednia et al., 2017)
  - Las larvas se consideran un alimento animal de alto contenido de lípidos y proteínas (Da Silva y Hesselberg, 2020).
- Puede requerir una alta inversión inicial (Mutafela, 2015).
  - La viabilidad técnica y la ampliación del sistema de las LMS no se estudia exhaustivamente en los países en desarrollo, por lo que no está claro en qué medida el resultado de los estudios de laboratorio se puedan emplear en estudios de campo (Singh y Kumari, 2019).
-

- 
- Las larvas pueden producir aceite para biodiesel (Wong et al., 2019)
  - La reducción de residuos es más rápida que el compostaje y minimiza los problemas de olores (Da Silva y Hesselberg, 2020).
  - Alternativa potencial para promover el desarrollo regional, crear puestos de trabajo y eliminar los residuos orgánicos localmente (Da Silva y Hesselberg, 2020).
  - El proceso requiere poco mantenimiento, bajo riesgo laboral, generación de empleo, baja producción de lixiviados (Mertenat y Trisancho, 2015).

---

Fuente: Autores de la investigación

Con el objeto de analizar las alternativas de compostaje y el uso de LMS, se utilizó y adapto la metodología propuesta por Vélez (2021), donde se empleó el método de análisis multicriterio, estableciendo los criterios y subcriterios para evaluar las dos alternativas, este método de análisis multicriterio se ha utilizado como una técnica para la toma de decisiones más efectivos y exhaustivos en la gestión de residuos sólidos en el mundo, para plantear y evaluar alternativas de aprovechamiento de acuerdo con las condiciones de los residuos. (Atousa et al., 2015 citado por Vélez, 2021)

Los criterios que se consideraron son técnicos, económicos, sociales y ambientales además para cada uno se establecieron subcriterios, los cuales se clasificaron de 1 a 3 siendo 1 el elemento más negativo y 3 el más positivo, teniendo en cuenta las características planteadas en la tabla 8, posteriormente la calificación de cada uno de los subcriterios se opera bajo la operación de promedio (en el mismo subcriterio) para obtener un valor, el cual corresponde al criterio y se continúa con una operación de promedio de los criterios de la misma alternativa.

**Tabla 10***Justificación de subcriterios*

<b>Criterio</b>	<b>Subcriterio</b>	<b>Justificación</b>
<b>Técnico</b>	Desarrollo de la tecnología	Estado de desarrollo de la tecnología, si existen proyectos desarrollados en el mundo a escala industrial o solo a escala piloto industrial o de investigación Ponderación: Investigación (1) Escala piloto (2) Escala industrial (3)
	Reducción de masa de los residuos	Plantea que, a mayor reducción de masa del residuo al desarrollar el proceso, mejor la alternativa. Ponderación: 0-30% (1) 31-65% (2) 66-100% (3)
	Capacidad técnica instalada	Si para el desarrollo de este tipo de proyectos se requiere personal calificado, y que este a su vez sea de difícil consecución Ponderación: Profesional en el área (1) Técnico/ tecnólogo (2)

<b>Criterio</b>	<b>Subcriterio</b>	<b>Justificación</b>
		No requiere (3)
	Área requerida para instalación	<p>Su operación será positiva si el área requerida es menor</p> <p>Ponderación:</p> <p>&gt;100 m<sup>2</sup>/ton*día (1)</p> <p>50 m<sup>2</sup>/ton*día- 100 m<sup>2</sup>/ton*día (2)</p> <p>&lt;50 m<sup>2</sup>/ton*día (3)</p>
	Tiempo del proceso	<p>Su operación será positiva si el tiempo del proceso es menor</p> <p>Ponderación:</p> <p>&gt;3meses (1)</p> <p>2 meses (2)</p> <p>1 mes (3)</p>
<b>Económica</b>	Costos de inversión	<p>Corresponde a la inversión en equipos e infraestructura necesaria para el desarrollo del proyecto, por lo tanto, a mayor monto de inversión requerido, menos atractiva será la alternativa</p> <p>Ponderación:</p> <p>&gt;500 millones/mes (1)</p> <p>300-500 millones/mes (2)</p> <p>&lt; 300 millones/mes (3)</p>
	Costos de operación	<p>Corresponde a los costos de la operación de la alternativa, por lo tanto, a mayores costos de la operación, menos atractiva es la alternativa.</p> <p>Ponderación:</p> <p>&gt;50 millones/mes (1)</p>

<b>Criterio</b>	<b>Subcriterio</b>	<b>Justificación</b>
		30-50 millones/mes (2) < 30 millones/mes (3)
	Ingresos obtenidos por la venta de productos resultantes	Si al aplicar la nueva tecnología se logran generar ingresos adicionales por venta de subproductos (eso es positivo). Ponderación: < 50 millones mensuales (1) 50-100 millones mensuales (2) >100 millones mensuales (3)
	Subproductos	Si el proceso genera múltiples subproductos, será una alternativa positiva. Ponderación: 1 subproducto (1) 2 subproductos (2) >3 subproductos (3)
	Riesgos a la salud	Si su operación puede generar enfermedades en la población cercana, será una alternativa negativa. Ponderación: Riesgos moderados (1) Riesgos leves (2) Ningún riesgo (3)
<b>Ambiental</b>	Lixiviados	Si el proyecto continúa con la generación de lixiviados es negativo, será positivo si se deben tratar menos de estos líquidos. Ponderación: Considerables lixiviados (1) Pocos lixiviados (2) No genera lixiviado (3)

<b>Criterio</b>	<b>Subcriterio</b>	<b>Justificación</b>
		Su operación será positiva si contribuye en la disminución de las emisiones de GEI. Ponderación:
	Generación de gases de efecto invernadero	>100 KgCO <sub>2</sub> /Tonelada de residuos tratada (1) <100KgCO <sub>2</sub> /Tonelada de residuos tratada (2) No genera GEI (3)
		Su operación será positiva si contribuye en la disminución olores. Ponderación:
	Olores ofensivos	Alta generación (1) Media generación (2) Baja generación (3)
		Grado de aprobación de la comunidad para desarrollar este proyecto, qué referencias se tienen de la comunidad o qué se espera al respecto. Ponderación:
<b>Social</b>	Apropiación social	Baja (1) Media (2) Alta (3)
		Número de personas que se requieren para la operación de la alternativa. A mayor número de trabajadores mayor valoración. Ponderación:
	Generación de empleo	1-3 personas/ton (1) 4-5 personas/ton (2) >5 personas/ton (3)

Criterio	Subcriterio	Justificación
	Beneficios	<p>Si la comunidad percibe beneficios al permitir realizar el proyecto, por ejemplo, nuevos empleos para la comunidad, disminución de costos en servicios, desarrollo de infraestructura, etc.</p> <p>Ponderación:</p> <p>Bajos (1)</p> <p>Medios (2)</p> <p>Alto (3)</p>

Fuente: Tabla tomada y adaptada de Vélez, G. F. (2021). *Evaluación de 4 alternativas de valorización energética respecto a la disposición en relleno sanitario de los residuos sólidos del Área Metropolitana del Valle de Aburrá mediante un análisis de decisión multi-Criterio (MCDA) basado en procesos de análisis jerárquicos (AHP)*. (Tesis de maestría, Universidad de Antioquia). Repositorio Institucional Universidad de Antioquia. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/20714>

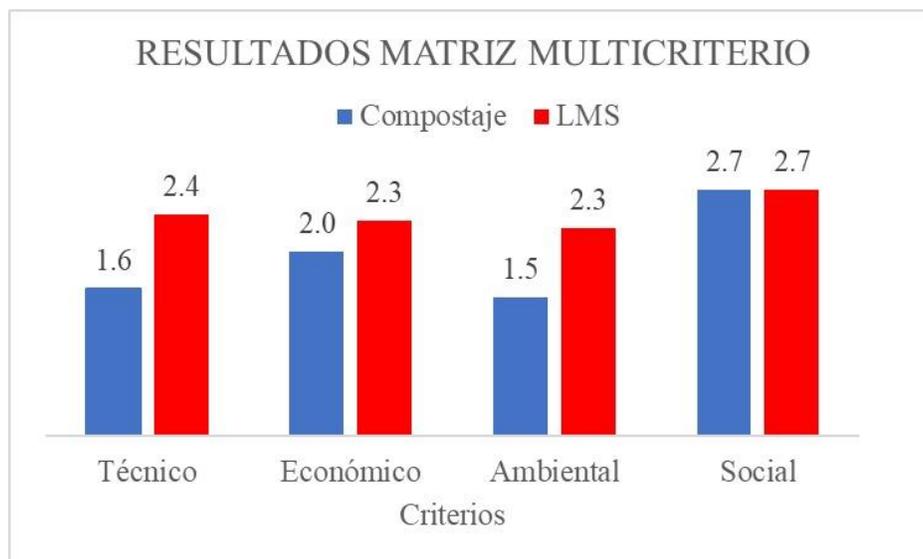
La evaluación de la matriz multicriterio se realizó con base a revisión de literatura y un análisis de los dos procesos, teniendo en cuenta las verificaciones realizadas al proceso de compostaje del municipio y los experimentos desarrollados con las LMS. A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la evaluación de las dos alternativas para el tratamiento de residuos orgánicos.

**Tabla 11***Evacuación de matriz multicriterio*

Criterio	Subcriterio	Compostaje			LMS		
		Evaluación subcriterio	Criterio	% Alternativa	Evaluación subcriterio	Criterio	% Alternativa
Técnico	Desarrollo de la tecnología	3	1.600	1.942	3	2.400	2.413
	Disminución del volumen de los residuos	2			3		
	Capacidad técnica instalada	1			1		
	Área requerida para instalación	1			2		
	Tiempo del proceso	1			3		
Económica	Costos de inversión	3	2.000	1.942	1	2.333	2.413
	Costos de operación	2			3		
	Ingresos obtenidos por la venta de productos resultantes	1			3		
	Subproductos	2			3		
Ambiental	Riesgos a la salud	2	1.500	1.942	2	2.250	2.413
	Lixiviados	1			2		
	Generación de gases de efecto invernadero	1			2		

	olores ofensivos	2		3	
Social	Apropiación social	3		3	
	Mano de obra requerida	2	2.667	2	2.667
	Beneficios	3		3	

Fuente: Autores de la investigación.

**Figura 8***Resultado matriz multicriterio*

Fuente: Autores de la investigación. Consolidados resultados de la comparación de alternativas según criterios.

Además de la matriz multicriterio, a continuación, se presenta una estimación económica de los procesos en comparación (Tabla 12) teniendo en cuenta las toneladas aprovechadas actualmente en el municipio. En cuanto a la alternativa de compostaje la información fue suministrada por la empresa de servicios públicos Red Vital, encargada del proceso de aprovechamiento de los residuos orgánicos y en cuanto al proceso con las LMS, algunos datos como la cantidad de larvas fue estimada con respecto a los resultados obtenidos en el estudio bajo la condición con calentamiento y los demás criterios fueron estimados teniendo en cuenta información secundaria.

**Tabla 12***Comparación viabilidad económica*

Criterio		Compostaje	LMS
Toneladas aprovechadas mensualmente	60	60	
Área requerida instalación	para 239.239 m <sup>2</sup> (García y Parra, 2018)	58.3m <sup>2</sup> (Dortmans <i>et al.</i> , 2021).	

Tiempo del proceso	3 meses	21 días
Operarios	2	2
		(Dortmans <i>et al.</i> , 2021).
Subproductos	Abono liquido: 1200 litros Abono solido: 120-130 bultos de 40 kg	Larvas: 578 Kg 14.45 bultos de 40 kg Estimado en base a información suministrada por EntoPro SAS Abono solido: 600 bultos de 40 kg
Precio subproductos	Abono liquido: \$10.000 por litro Abono liquido estabilizado: \$25.000 por litro Abono solido: \$20.000 por bulto	El valor fue estimado por medio de Mercado libre Larvas: \$349.500 por bulto Abono solido: \$20.000 por bulto
Ingresos obtenidos por la venta de productos resultantes	Abono líquido y solido 14.600.000 Abono liquido estabilizado y solido 32.600.000	214.011.000

Fuente: Autores de la investigación

La evaluación de la matriz multicriterio arrojó como resultado que la tecnología más factible en cuanto a los criterios técnicos, económicos, ambientales y sociales es la biotransformación de residuos orgánicos usando LMS, la cual presentó el porcentaje de calificación más alto, de igual forma, al hacer una comparación de la viabilidad económica en cuanto a los ingresos generados actualmente en la planta y las estimaciones realizadas sobre los posibles ingresos que se podrían obtener de la alternativa con el uso de LMS, se evidencio que se pueden llegar a obtener mayores ingresos con los subproductos generados, puesto que es una

alternativa rentable y auto sostenible e incluso con proyección de crecimiento en el mercado, que aporta a la economía circular, ya que facilita la transformación de los residuos en productos comercializables, cerrando ciclos y fomentando la circularidad (Lopes et al., 2022).

Por lo anterior, la iniciativa productiva de las LMS es una oportunidad de negocio, que puede tener una visión escalable no solo si se pretende reducir los residuos orgánicos, si no generar productos valiosos, como biomasa larval rica en proteínas y lípidos (Ewald et al., 2020) además de un residuo como resultado del proceso, que puede considerarse un fertilizante y se puede utilizar para mejorar las características del suelo (Beesigamukama et al., 2020), estos pueden ser ofrecidos en el primer sector de la economía, con una proyección de fortalecimiento de la cadena productiva (Freund, 2019 citado por Márquez, 2021).

Sin embargo, esta es una alternativa emergente, en la que se debe seguir investigando, puesto que esta requiere de condiciones técnicas y operativas para obtener un adecuado proceso, además se debe considerar para futuras investigaciones estudiar la reproducción de la mosca soldado negra bajo las condiciones del municipio, ya que la adquisición de huevos de larva puede llegar a generar sobre costos en la producción, así como depender del tiempo de envío, calidad y disponibilidad del producto lo cual va a tener influencia en el desarrollo del proceso.

Cabe destacar que las dos alternativas son amigables con el medio ambiente y contribuyen con el aprovechamiento de los residuos orgánicos, pero la biotransformación mediante LMS puede llegar a ser una alternativa innovadora que puede permitir tener un aprovechamiento de todos los residuos generados en el municipio, de manera rentable y sostenible, tal es el caso actualmente de algunas empresas extranjeras como Protix (Países Bajos), Agriprotein (Inglaterra), Entosystem (Canadá) entre otras.

### Conclusiones

Se evaluó la biotransformación de los residuos orgánicos del municipio de Paipa mediante el uso de las LMS, identificando que el rendimiento y la viabilidad de los resultados informados dependerán de diferentes factores, entre ellos el sustrato de alimentación y las condiciones de crecimiento a las que están sujetas, como la temperatura y la humedad. En cuanto a los residuos orgánicos del municipio a pesar de ser un sustrato heterogéneo en composición, y que presenta variabilidad en sus niveles de descomposición, esto no representó una limitación para el desarrollo y crecimiento de las larvas.

Se identificó que las larvas en la condición controlada las cuales fueron sometidas a un calentamiento eléctrico leve obtuvieron el mayor porcentaje de reducción de residuos y de eficiencia de bioconversión, además por medio del análisis de composición proximal, se identificó su alto contenido nutricional y su uso potencial como fuente de alimento para animales por su contenido proteico. En cuanto a la condición no controlada a pesar del ambiente hostil para las larvas bajo las condiciones de temperatura ambiental del municipio y la baja supervivencia en el crecimiento y desarrollo de las LMS, esta tecnología reveló su gran potencial de adaptabilidad dado que también se obtuvieron porcentajes de reducción de residuos representativos.

En este estudio se registró un potencial del uso de las LMS como una alternativa sostenible que se puede implementar en el municipio de Paipa para la reducción de los residuos, sin embargo, se pueden obtener más beneficios a partir de los subproductos generados del proceso, uno de ellos es el uso de las larvas como alimento para animales debido a su alto contenido proteico y el posible uso del compost larvario como biofertilizante para suelos. En general, esta alternativa se destaca por sus beneficios económicos, sociales y ambientales en comparación a la alternativa que se desarrolla en el municipio, sin embargo, para su aplicación a gran escala es necesario implementar un sistema que permita alcanzar una temperatura óptima del proceso debido a que este parámetro en la investigación mostro gran influencia durante el desarrollo de las LMS, así mismo considerar aspectos técnicos, parámetros ambientales y de reproducción.

### **Recomendaciones**

En cuanto al uso de LMS, en la reducción de residuos y la producción de larvas, esta alternativa puede llegar a ser exitosa en diferentes contextos, sin embargo, se deben considerar aspectos como el tipo de sustrato y condiciones óptimas de crecimiento. Por tal motivo se recomienda agregar las larvas eclosionadas al sustrato con el fin de que se desarrollen adecuadamente garantizando una alta tasa de supervivencia, además estudiar el sustrato resultante del proceso con el fin de identificar sus potencialidades para su uso como biofertilizante.

Para próximas investigaciones se recomienda usar una herramienta que permita tener un control exacto sobre la temperatura óptima para el desarrollo de las LMS, además para la recolección de las larvas en la etapa de pre pupas se considera necesario adoptar un sistema para el control de la emigración y recolección de estas.

Adicionalmente, se recomienda realizar futuras investigaciones bajo las condiciones del municipio sobre los efectos de reproducción de la mosca soldado negra (pupa-mosca-huevo), con el fin de generar un sistema de producción de los huevos y tener mayor control en la fase del ciclo de vida a la hora de utilizar larvas con periodos de vida similares desde la eclosión.

Por último, esta es una alternativa emergente en Colombia, por lo que actualmente no hay un mercado establecido sobre los subproductos y requiere un amplio estudio en cuanto a la comercialización y aceptación del producto, dado al desconocimiento de los usos y beneficios de las larvas como alimento y a la percepción negativa que se pueda tener por el aspecto de las LMS, lo cual puede llegar a tener incidencia en su comercialización.

### Referencias

- Acosta, M., y Guzmán, V. (2022). *Evaluación del contenido proteico de las larvas de mosca soldado negro (Hermetia Illucens) durante el proceso de degradación de biorresiduos* (Proyecto integral de grado, Fundación Universidad de América). <http://52.0.229.99/bitstream/20.500.11839/9086/1/6181181-2022-2-IQ.pdf>
- Adebayo, H. A., Kemabonta, K. A., Ogbogu, S. S., Elechi, M. C., y Obe, M. T. (2021). Comparative assessment of developmental parameters, proximate analysis and mineral compositions of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on organic waste substrates. *International Journal of Tropical Insect Science*, 41(3), 1953-1959. <https://doi.org/10.1007/s42690-020-00404-4>
- Alayón, E. (2021). Guía para la caracterización y cuantificación de residuos sólidos. *Inventum*, 15(29),76-94. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.15.29.2020.76-94>
- Alcaldía de Paipa. (2020). *Plan de gestión integral de residuos sólidos PGIRS*. <https://www.paipaboyaca.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionYControl/Plan%20de%20Gesti%C3%B3n%20Integral%20de%20Residuos%20S%C3%B3lidos%20PGIRS%202020.pdf>
- Arroyave, O. J., Chamorro, J., y Ochoa, A. F. (2019). Crecimiento de larvas de mosca soldado alimentadas con gallinaza, porcínaza y alimento para ponedoras. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 11(2), 730. <https://doi.org/10.24188/recia.v11.n2.2019.730>
- Arroyo, P., Leire, U., Bergera, M., Rodríguez, P., Teresa, A., Gaspar, V., Moreno, E., Manuel, J., Torres, Á., y Moreiras, G. (2018). *Frutas y hortalizas: Nutrición y salud en la España del siglo XXI*. <https://www.fesnad.org/resources/files/Noticias/frutasYHortalizas.pdf>
- Ayilara, M., Olanrewaju, O., Babalola, O., y Odeyemi, O. (2020). Waste Management through Composting: Challenges and Potentials. *Sustainability*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/su12114456>
- Barragan, K., Dicke, M., y Van, J. (2018). Influence of larval density and dietary nutrient concentration on performance, body protein, and fat contents of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 166(9), 761-770. <https://doi.org/10.1111/eea.12716>

- Beesigamukama, D., Mochoge, B., Korir, N., Ghemoh, C. J., Subramanian, S., y Tanga, C. M. (2021). In situ nitrogen mineralization and nutrient release by soil amended with black soldier fly frass fertilizer. *Scientific Reports*, 11(1), 14799. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94269-3>
- Bondari, K. y Sheppard, D.C. (1987). Soldier fly, *Hermetia illucens* L., larvae as feed for channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque), and blue tilapia, *Oreochromis aureus* (Steindachner). *Aquaculture Research*, 18, 209-220. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1987.tb00141.x>
- Brito, H., Viteri, R., Guevara, F., Villacrés, M., Jara, J., Jimenez, S., Moya, P., y Parra, C. (2016). Obtención de compost a partir de residuos sólidos orgánicos generados en el mercado mayorista del Cantón Riobamba. *European Scientific Journal*, 12(29). [https://www.researchgate.net/publication/309751008\\_Obtencion\\_De\\_Compost\\_A\\_Partir\\_De\\_Residuos\\_Solidos\\_Organicos\\_Generados\\_En\\_El\\_Mercado\\_Mayorista\\_Del\\_Canton\\_Riobamba](https://www.researchgate.net/publication/309751008_Obtencion_De_Compost_A_Partir_De_Residuos_Solidos_Organicos_Generados_En_El_Mercado_Mayorista_Del_Canton_Riobamba)
- Cabrera Gutiérrez, D. y López Gutiérrez, A. L. (2021). *Evaluación de la larva de mosca soldado negra (Hermetia Illucens) como alternativa para la degradación de residuos sólidos urbanos*. (Trabajo de grado, Fundación Universidad de América). Repositorio Institucional Lumieres. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8329>
- Cano, L. (2016). *Cuantificación del porcentaje de humedad y cenizas contenidos en los residuos sólidos urbanos de la parroquia de Limoncocha*. (Trabajo de grado, Fundación Universidad Internacional SEK) <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2499/1/Cano%20Leslie%20Tesis%20UISEK.pdf>
- Castro, E. A. (2020). Guía para la caracterización y cuantificación de residuos sólidos. *Inventum*, 15(29), 76-94. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.15.29.2020.76-94>
- Chang, C.T., Negi, S., Rani, A., Hu, A. H., Pan, S.-Y., y Kumar, S. (2022). Food waste and soybean curd residue composting by black soldier fly. *Environmental Research*, 214. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113792>

- Cheng, J. Y., Chiu, S. L., y Lo, I. M. (2017). Effects of moisture content of food waste on residue separation, larval growth and larval survival in black soldier fly bioconversion. *Waste Management*, 67, 315-323. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.046>
- Coelho, L., Osório, J., Beltrão, J., y Reis, M. (2019). Organic compost effects on Stevia rebaudiana weed control and on soil properties in the Mediterranean region. *Ciencias Agrarias*, 42(1), 109–121. <https://doi.org/10.19084/RCA18281>
- Compaoré, E., Nanéma, L. S., Bonkougou, S., y Sedogo, M. P. (2010). Composting and quality of solid urban waste compost from the city of Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. *Tropicultura*, 28(4), 232-237. <https://doaj.org/article/4c6414e3f0c448d886a56b778cad984b>
- Da Silva, G., y Hesselberg, T. (2020). A review of the use of black soldier fly larvae, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), to compost organic waste in tropical regions. *Neotropical Entomology*, 49(2), 151-162. <https://doi.org/10.1007/s13744-019-00719-z>
- Danura, S. (2010). *Requerimientos nutricionales y plan de alimentación para la etapa de crecimiento y terminación.* [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_porcina/00-produccion\\_porcina\\_general/146-Crecimiento.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_porcina/00-produccion_porcina_general/146-Crecimiento.pdf)
- Diener, S., Studt Solano, N. M., Roa Gutiérrez, F., Zurbrügg, C., y Tockner, K. (2011). Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. *Waste and Biomass Valorization*, 2(4), 357–363. <https://doi.org/10.1007/s12649-011-9079-1>
- DiGiacomo, K., y Leury, B. J. (2019). Review: Insect meal: a future source of protein feed for pigs? *Animal*, 13(12), 3022-3030. <https://doi.org/10.1017/S1751731119001873>
- Dortmans, B., Diener, S., Egger, J., y Zurbrügg, C. (2021). *Black soldier fly biowaste processing.* [https://www.researchgate.net/publication/353923113\\_Black\\_Soldier\\_Fly\\_Biowaste\\_Processing\\_-\\_A\\_Step-by-Step\\_Guide\\_2nd\\_Edition](https://www.researchgate.net/publication/353923113_Black_Soldier_Fly_Biowaste_Processing_-_A_Step-by-Step_Guide_2nd_Edition)
- Dzepe, D., Nana, P., Kuintche, H. M., Kimpara, J. M., Magatsing, O., Tchuinkam, T., y Djouaka, R. (2021). Feeding strategies for small-scale rearing black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) as organic waste recycler. *SN Applied Sciences*, 3(2). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-04039->
- Erickson, M. C., Islam, M., Sheppard, C., Liao, J., y Doyle, M. P. (2004). Reduction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* serovar Enteritidis in chicken

- manure by larvae of the black soldier fly. *Journal of Food Protection*, 67(4), 685–690.  
<https://doi.org/10.4315/0362-028x-67.4.685>
- Ermolaev, E., Lalander, C., y Vinnerås, B. (2019). Greenhouse gas emissions from small-scale fly larvae composting with *Hermetia illucens*. *Waste Management*, 96, 65-74.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.07.011>
- Ewald, N., Vidakovic, A., Langeland, M., Kiessling, A., Sampels, S., y Lalander, C. (2020). Fatty acid composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*)—Possibilities and limitations for modification through diet. *Waste Management*, 102, 40-47.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.014>
- Farell, D. (2013). *Revisión del desarrollo Avícola*. <https://www.fao.org/3/i3531s/i3531s.pdf>
- Flores, J. (2009). *Estudio de caracterización de los Residuos Sólidos*.  
[http://biblioteca.utec.edu.sv/siab/virtual/elibros\\_internet/55777.pdf](http://biblioteca.utec.edu.sv/siab/virtual/elibros_internet/55777.pdf)
- García, J., y Parra, J. (2018). Manejo de residuos sólidos urbanos orgánicos para producción de energías alternativas y solución en el municipio de Paipa Boyacá-Colombia. [Conferencia] *Memorias II Congreso Internacional Catatumbari 2018*.  
[https://bda45641-6621-4165-a223-cd8fc2d826af.filesusr.com/ugd/de6def\\_b2f75cbdc3c748b1ad16f7b5db1680a3.pdf](https://bda45641-6621-4165-a223-cd8fc2d826af.filesusr.com/ugd/de6def_b2f75cbdc3c748b1ad16f7b5db1680a3.pdf)
- Giannetto, A., Oliva, S., Lanes, C. F. C., de Araújo Pedron, F., Savastano, D., Baviera, C., ... y Fasulo, S. (2020). *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae and prepupae: biomass production, fatty acid profile and expression of key genes involved in lipid metabolism. *Journal of Biotechnology*, 307, 44-54.  
<https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2019.10.015>
- Gold, M., Cassar, C. M., Zurbrügg, C., Kreuzer, M., Boulos, S., Diener, S., y Mathys, A. (2020). Biowaste treatment with black soldier fly larvae: Increasing performance through the formulation of biowastes based on protein and carbohydrates. *Waste Management*, 102, 319-329. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.036>
- Gold, M., Tomberlin, J. K., Diener, S., Zurbrügg, C., y Mathys, A. (2018). Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment: A review. *Waste Management*, 82, 302-318.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.022>

- Gómez, W. (2018). *Evaluación de un sistema de vermicultura utilizando larvas de Hermetia illucens y Tenebrio Molitor para el aprovechamiento de los residuos sólidos generados en la plaza de mercado La Rosita*. (Trabajo de grado, Universidad Pontificia Bolivariana). <http://hdl.handle.net/20.500.11912/5180>
- Gutiérrez, J. B. (2000). *Ciencia bromatológica: principios generales de los alimentos*. Ediciones Díaz de Santos.
- Heredia, N., Shirley, P., Villalba, I., Escuela, R., Panamericana, A., y Honduras, Z. (2020). *Exploración del uso alternativo de Hermetia illucens (L.) (Diptera: Stratiomyidae) en la dieta de pollos de engorde y peces en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano*. (Trabajo de grado, Universidad Zamorano). <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/f9de19ce-cb5e-4e38-8da6-cb25af55c635/content>
- Hopkins, I., Newman, L. P., Gill, H., y Danaher, J. (2021). The influence of food waste rearing substrates on black soldier fly larvae protein composition: A systematic review. *Insects*, 12(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/insects12070608>
- Huaripata, J., y Carrasco, A. (2022). *Eficiencia de la larva de Mosca Soldado Negro (Hermetia illucens) para aprovechar los residuos orgánicos municipales-Cajamarca*. (Trabajo de grado, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo). <http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/2189/TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Huyben, D., Vidaković, A., Hallgren, S., y Langeland, M. (2019). High-throughput sequencing of gut microbiota in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed larval and pre-pupae stages of black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Aquicultura*. 500, 485–491. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.10.034>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2023, 12 de marzo). *Consulta y descarga de datos meteorológicos*. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- Imwene, Mbui, Kinyua y Mbugua. (2021) Biotransformation of biodegraded organic waste form a batch mode microbial fuel cell to organic fertilizer. *Jornal of Bioremediation y Biodegradation*, 12, 2-5. <https://www.omicsonline.org/open-access/biotransformation-of-biodegraded-organic-waste-from-a-batch-mode-microbialfuel-cell-to-organic-fertilizer-117798.html>

- Jiménez, B. (2021). *Evaluación de un plan de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, provenientes del municipio de Choachí por medio de un proceso tecnológico*. (Proyecto integral, Fundación Universidad de América). <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8325/1/6161872-2021-1-IQ.pdf>
- Joly, G. (2018). *Valorising organic waste using the black soldier fly (*Hermetia illucens*)*, in *Ghana*. (Tesis de Maestría, Kth Royal Institute of Technology School of Architecture and the Built Environment). DIVA. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1196375&dswid=-3430>
- Jucker, C., Lupi, D., Moore, C. D., Leonardi, M. G., y Savoldelli, S. (2020). Nutrient recapture from insect farm waste: bioconversion with *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae). *Sustainability*, 12(1), 362. <https://doi.org/10.3390/su12010362>
- Lalander, C., Diener, S., Zurbrügg, C., y Vinnerås, B. (2019). Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Journal of Cleaner Production*, 208, 211-219. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.017>
- Larouche, J., Deschamps, M. H., Saucier, L., Lebeuf, Y., Doyen, A., y Vandenberg, G. W. (2019). Effects of killing methods on lipid oxidation, colour and microbial load of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Animals*, 9(4), 182. <https://doi.org/10.3390/ani9040182>
- Lopes, I. G., Yong, J. W., y Lalander, C. (2022). Frass derived from black soldier fly larvae treatment of biodegradable wastes. A critical review and future perspectives. *Waste Management*, 142, 65-76. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.02.007>
- López, Y. y Franco, B. (2020). Gestión de residuos sólidos urbanos: un enfoque en Colombia y el departamento de Antioquia. *Cuaderno Activa*, 12(1), 119-134. <https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/808>
- Lu, S., Taethaisong, N., Meethip, W., Surakhunthod, J., Sinpru, B., Sroichak, T., Archa, P., Thongpea, S., Paengkoum, S., Purba, R. A. P., y Paengkoum, P. (2022). Nutritional composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) and its potential uses as alternative protein sources in animal diets: a review. *Insects*, 13(9), 831. <https://doi.org/10.3390/insects13090831>

- Lu, Y., Zhang, S., Sun, S., Wu, M., Bao, Y., Tong, H., Ren, M., Jin, N., Xu, J., Zhou, H., y Xu, W. (2021). Effects of different nitrogen sources and ratios to carbon on larval development and bioconversion efficiency in food waste treatment by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). *Insects*, 12(6), 507. <https://doi.org/10.3390/insects12060507>
- Márquez, G. A. (2021). Propuesta de negocio para producción de larvas de moscas soldado negro utilizando residuos orgánicos provenientes de bancos de alimentos. *Clío América*, 15(30), 697–707. <https://doi.org/10.21676/23897848.4506>
- Mertenat, A., y Tristancho, I. (2015). *Selecting Organic Waste Treatment Technologies*. [http://www.fundacionmontecito.org/uploads/1/2/6/1/12616542/sowatt\\_informe.pdf](http://www.fundacionmontecito.org/uploads/1/2/6/1/12616542/sowatt_informe.pdf)
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2012) *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico: Título F. Sistemas de aseo urbano*. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio
- Mutafela, R. N. (2015). *High value organic waste treatment via black soldier fly bioconversion: onsite pilot study*. (Tesis de maestría, Kth Royal Institute of Technology School of Architecture and the Built Environment). DIVA. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?dsid=-6222&pid=diva2%3A868277>
- Ndegwa, P. M., y Thompson, S. A. (2001). Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. *Bioresource Technology*, 76(2), 107–112. [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(00\)00104-8](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(00)00104-8)
- Nguyen, T. T., Tomberlin, J. K. y Vanlaerhoven, S. (2015). Ability of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae to recycle food waste. *Environmental entomology*, 44(2), 406-410. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26313195/>
- Nyakeri, E. M., Ogola, H. J. O., Ayieko, M. A., y Amimo, F. A. (2017). Valorisation of organic waste material: growth performance of wild black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) reared on different organic wastes. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(3), 193-202. <https://doi.org/10.3920/JIFF2017.0004>
- Oviedo, E. R., Torres, P., y Marmolejo, L. F. (2017). Avances en investigación sobre el compostaje de biorresiduos en municipios menores de países en desarrollo. Lecciones desde Colombia. *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, 18(1), 31-42. <https://www.redalyc.org/pdf/404/40449649003.pdf>

- Pane, C., Spaccini, R., Piccolo, A., Celano, G., y Zaccardelli, M. (2019). Disease suppressiveness of agricultural greenwaste composts as related to chemical and bio-based properties shaped by different on-farm composting methods. *Biological Control*, 137(10). <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104026>
- Parra, A.S., Carrejo, N.S. y Gómez, C.H. (2015). Effects of larval density and feeding rates on the bioconversion of vegetable waste using black soldier fly larvae *Hermetia illucens* (L.), (Diptera: Stratiomyidae). *Waste Biomass*, 6, 1059–1065. <https://doi.org/10.1007/s12649-015-9418-8>
- Pastor, B., Velásquez, Y., Gobbi, P., y Rojo, S. (2015). Conversion of organic wastes into fly larval biomass: bottlenecks and challenges. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(3), 179-193. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0024>
- Pathak, R., Sharma, S., y Prasad, R., (2015). Study on occurrence of black soldier fly larvae in composting of kitchen waste. *International Journal of Research in Biosciences* 4 (4), 38–45. [http://www.ijesm.co.in/uploads/23/1140\\_pdf.pdf](http://www.ijesm.co.in/uploads/23/1140_pdf.pdf)
- Perednia, D., Anderson, J., y Rice, A., (2017). A comparison of the greenhouse gas production of black soldier fly larvae versus aerobic microbial decomposition of an organic feed Material. *Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 5, 10–16. <https://avingstan.com/wordpress/wp-content/uploads/2019/08/a-comparison-of-the-greenhouse-gas-production-of-blacksoldier-fly-larvae-versus-aerobic-microbial-decomposition-of-anorganic-feed-.pdf>
- Rendón, A. F. (2012). *Caracterización de residuos sólidos*. <http://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/download/34/31>
- Reynaud, C. (2014). Requerimiento de micronutrientes y oligoelementos. *Revista Peruana de Ginecología y Obstetricia*, 60(2), 161–170. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S230451322014000200010](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S230451322014000200010)
- Rojas, A. F., Flórez, C., y López, D. F. (2019). Prospectivas de aprovechamiento de algunos residuos agroindustriales. *Revista Cubana de Química*, 31(1), 30-52. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443558027003>
- Salam, M., Shahzadi, A., Zheng, H., Alam, F., Nabi, G., Dezhi, S., Ullah, W., Ammara, S., Ali, N., y Bilal, M. (2022). Effect of different environmental conditions on the growth and

- development of black soldier fly larvae and its utilization in solid waste management and pollution mitigation. *Environmental Technology & Innovation*, 28(10), 2649. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102649>
- Santos, S., Vinderola, G., Santos, L., y Araujo, E. (2018). Biodisponibilidad de minerales que lados y no que lados: una revisión sistemática. *Revista Chilena de Nutrición*, 45(4), 381–392. <https://doi.org/10.4067/s0717-75182018000500381>
- Sarpong, D., Oduro-Kwarteng, S., Gyasi, S. F., Buamah, R., Donkor, E., Awuah, E., y Baah, M. K. (2019). Biodegradation by composting of municipal organic solid waste into organic fertilizer using the black soldier fly (*Hermetia illucens*) (Diptera: Stratiomyidae) larvae. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8(1), 45-54. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0268-4>
- Saucier, L., M'ballou, C., Ratti, C., Deschamps, M. H., Lebeuf, Y., y Vandenberg, G. W. (2022). Comparison of black soldier fly larvae pre-treatments and drying techniques on the microbial load and physico-chemical characteristics. *Journal of Insects as Food and Feed*, 8(1), 45-64. <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0002>
- Siddiqui, S. A., Ristow, B., Rahayu, T., Putra, N. S., Widya Yuwono, N., Nisa', K., Mategeko, B., Smetana, S., Saki, M., Nawaz, A., y Nagdalian, A. (2022). Black soldier fly larvae (BSFL) and their affinity for organic waste processing. *Waste Management*, 140, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.044>
- Singh, A., y Kumari, K. (2019). An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review. *Journal of Environmental Management*, 251. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109569>
- Vargas, M. de L., Figueroa, H., Tamayo, J. A., Toledo, V. M. y Moo Huchin, V. M. (2019). Aprovechamiento de cáscaras de frutas: análisis nutricional y compuestos bioactivos. *CIENCIA ergo-sum*, 26(2). <https://doi.org/10.30878/ces.v26n2a6>
- Vélez, G. F. (2021). *Evaluación de 4 alternativas de valorización energética respecto a la disposición en relleno sanitario de los residuos sólidos del Área Metropolitana del Valle de Aburrá mediante un análisis de decisión multi-Criterio (MCDA) basado en procesos de análisis jerárquicos (AHP)*. (Tesis de maestría, Universidad de Antioquia). Repositorio Institucional Universidad de Antioquia. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/20714>

- Ventorino, V., Pascale, A., Fagnano, M., Adamo, P., Faraco, V., Rocco, C., Fiorentino, N., y Pepe, O. (2019). Soil tillage and compost amendment promote bioremediation and biofertility of polluted area. *Journal of Cleaner Production*, 239(11), 80-87. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118087>
- Wong, C., Rosli, S., Uemura, Y., Ho, Y., Leejeerajumnean, A., Kiatkittipong, W., Cheng, C., Lam, M., y Lim, J. (2019). Potential protein and biodiesel sources from black soldier fly larvae: Insights of larval harvesting instar and fermented feeding medium. *Energies*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/en12081570>
- Zhen, Y., Kovitvadhi, A., Chundang, P., Zhang, Y., Wang, M., Vongsangnak, W., y Pruksakorn, C. (2020). Killing process on the nutrient content, product stability and in vitro digestibility of black soldier y (*Hermetia illucens*) larvae meals. *Research Square*, 1-15. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-54775/v1>
- Zumbado, H. (2004). *Análisis químico de los alimentos: Métodos Clásicos*. Universitaria. [https://www.academia.edu/9027274/Zumbado\\_An%C3%A1lisis\\_de\\_los\\_Alimentos](https://www.academia.edu/9027274/Zumbado_An%C3%A1lisis_de_los_Alimentos)