

**Estimación del potencial agronómico de residuos de cosecha biotransformados por  
larvas de moscas soldado negra (*Hermetia illucens*)**

Johanna Tapias Giraldo

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio ambiente - ECAPMA

Programa de Agronomía

Cali.

2025

**Estimación del potencial agronómico de residuos de cosecha biotransformados por larvas  
de moscas soldado negra (*Hermetia illucens*)**

Johanna Tapias Giraldo

Trabajo para optar al título de Agrónomo

Director:

PhD. Sandra Patricia Montenegro Gómez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio ambiente - ECAPMA

Agronomía

Cali.

2025

**Página de Aceptación**

---

PhD. Sandra Patricia Montenegro Gómez

Director Trabajo de Grado

---

Jurado

---

Jurado

Cali - 2025

### **Dedicatoria**

A Dios, por poner en mi camino todo un equipo de personas idóneas el cual me aconsejó y orientó para culminar con este proceso de formación.

Quiero dedicar este trabajo a mi familia, quienes fue un apoyo fundamental para poder lograr los objetivos propuestos; a mi esposo que siempre me animó a continuar con mis estudios; a mis hermanos, padre y madre que siempre me apoyaron y creyeron en mí. Las metas que uno se propone se pueden alcanzar con perseverancia y disciplina.

## **Agradecimientos**

Este trabajo fue posible gracias al apoyo de muchas personas, y les quiero expresar mis más sinceros agradecimientos por los consejos y orientaciones en el conocimiento del saber y aprender.

A mi directora Sandra Patricia Montenegro Gómez PhD, quien me facilitó día a día todas las herramientas necesarias para poder desarrollar este proyecto, por el acompañamiento constante, el apoyo y orientación que me dio durante todo mi proceso de formación y por incentivar me en la formación investigativa.

Al Ingeniero Agrónomo Pablo Gallo Valdez por permitirme trabajar en su empresa y por los consejos diarios que desde su experiencia me transmitió.

A la empresa Orgánicos y Orgánicos SAS por permitirme trabajar con ellos en la realización de este proyecto, así como también el haber compartido algunos de sus conocimientos que facilitaron el entendimiento de la fisonomía de *Hermetia illucens*.

Andrea Martínez por ser una compañera de trabajo dedicada y comprometida con la obtención de los resultados, para lograr de la mejor manera culminar con las labores necesarias en el desarrollo de la investigación. y a Erika Vanessa Ramírez por compartir sus conocimiento e ideas para el desarrollo del trabajo investigativo.

## Resumen

El incremento de residuos agrícolas ha impulsado la búsqueda de estrategias de gestión sostenible. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el potencial agronómico de residuos de cosecha biotransformados por larvas de moscas soldado negro (MSN) donde se evaluó el efecto de diferentes densidades de larvas de MSN en la biotransformación de residuos orgánicos y el potencial agronómico de estos residuos biotransformados en composición líquida (frass líquido). Se consideró como factor la densidad de las larvas (84, 701, 2.400), correspondiente a 118, 850 g y 3.000 g, respectivamente. La cantidad del residuo se estimó en función de la densidad de larvas. Las unidades experimentales consistieron en contenedores con una mezcla 70-30 de banano y cáscara verde de frijol, la mezcla fue sometida al proceso de biotransformación por las larvas durante 12 días bajo condiciones controladas, las variables de respuesta evaluadas fueron la Tasa de biotransformación de Residuos (WRR) y la respuesta de plantas de tomate Cherry hasta periodo de formación de botón floral (entre 21 y 34 días después de trasplante), donde se comparó el desarrollo en plantas fertilizadas con frass líquido vs síntesis química. Cada tratamiento contó con tres repeticiones. Los resultados de biotransformación mostraron que el tratamiento con 2.400 y 701 larvas presentó mayor eficiencia en la reducción de residuos comparado con el tratamiento de 84 larvas. El número de formación de botones florales en plantas de tomate Cherry fue estadísticamente igual en plantas fertilizadas con frass líquido y fertilizante de síntesis química. Lo anterior sugiere que aumentar la densidad larval mejora la eficiencia del proceso de biotransformación. Por otro lado, al no haber ventaja de la fertilización química, podría en un momento dado proyectarse una transición hacia el uso de frass líquido de MSN en la producción de tomate Cherry.

**Palabras clave:** Biotransformación, Residuos, Sustrato, Eficiencia, Frass.

### **Abstract**

The increase in agricultural waste has prompted the search for sustainable management strategies. The present study aimed to evaluate the agronomic potential of crop residues biotransformed by black soldier fly (BSF) larvae. The effect of different BSF larval densities on the biotransformation of organic waste and the agronomic potential of these biotransformed residues in liquid form (liquid frass) were assessed. Larval density (84, 701, and 2,400) was considered as a factor, corresponding to 118, 850, and 3,000 g, respectively. The residue quantity was estimated based on larval density. The experimental units consisted of containers with a 70:30 mixtures of banana and green bean hull, the mixture was subjected to the biotransformation process by the larvae for 12 days under controlled conditions. The response variables evaluated were the Biotransformation Rate of Residue (WRR) and the response of Cherry tomato plants until the period of flower bud formation (between 21 and 34 days after transplant), where the development in plants fertilized with liquid frass vs. chemical synthesis was compared. Each treatment had three replications. The biotransformation results showed that the treatment with 2,400 and 701 larvae presented greater efficiency in the reduction of residues compared to the treatment of 84 larvae. The number of flower bud formations in Cherry tomato plants was statistically equal in plants fertilized with liquid frass and chemical synthesis fertilizer. This suggests that increasing larval density improves the efficiency of the biotransformation process. On the other hand, since there is no advantage to chemical fertilization, a transition to the use of BSF liquid frass in cherry tomato production could be planned at some point.

**Keywords:** Biotransformed, Waste, Substrate, Efficiency, Frass.

## Tabla de contenido

Introducción .....	13
Problema .....	15
Justificación .....	16
Objetivos .....	17
Objetivo general .....	17
Objetivos específicos .....	17
Marco teórico .....	18
Impactos negativos de los residuos agrícolas .....	18
Alternativas sostenibles de manejo de residuos .....	18
La Mosca Soldado Negra (MSN) .....	19
Biología y ecología .....	19
Huevo .....	20
Larva .....	20
Pupa .....	20
Adulto .....	21
Características de las larvas y consumo de materia orgánica .....	22
Biotransformación y reducción de residuos .....	22
El frass y su potencial agronómico .....	23
Usos agronómicos del frass .....	24
Evidencia de aplicación del frass en la agricultura .....	24
Relación con el estudio .....	25
Metodología .....	26

Localización del estudio .....	26
Obtención de las larvas .....	26
Alimentación de las larvas .....	26
Montaje experimental .....	27
Recolección del frass .....	27
Fórmulas para los Cálculos de los indicadores de reducción .....	28
Análisis estadístico .....	28
Frass líquido en plantas de tomate Cherry. ( <i>Solanum lycopersicum var. ceraciforme</i> ) .....	29
Resultados y Discusión .....	30
Reducción de residuos .....	30
Análisis de varianza (ANOVA) para WRR y WRI .....	33
Análisis fisicoquímico del frass .....	34
Análisis de cumplimiento del frass sólido y líquido frente a la NTC 5167: 2022 y la Resolución 0631 de 2015 .....	38
Resultados de la aplicación del frass líquido (lixiviado) al 5% en plantas de tomate Cherry. ( <i>Solanum lycopersicum var. ceraciforme</i> ) .....	43
Altura de planta .....	44
Ramas por plantas .....	44
Diámetro del tallo .....	44
Botones florales .....	44
Conclusiones .....	46
Referencias .....	48

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1</b> <i>Clasificación taxonómica de Hermetia illucens</i> .....	19
<b>Tabla 2</b> <i>Tasa e índice de reducción de residuos con 84 larvas de mosca soldado negra</i> .....	30
<b>Tabla 3</b> <i>Tasa e índice de reducción de residuos con 701 larvas de mosca soldado negra</i> .....	31
<b>Tabla 4</b> <i>Tasa e índice de reducción de residuos con 2.400 larvas de mosca soldado negra</i> .....	31
<b>Tabla 5</b> <i>Resultados análisis de laboratorio frass sólido</i> .....	35
<b>Tabla 6</b> <i>Resultado análisis de laboratorio frass líquido</i> .....	37
<b>Tabla 7</b> <i>Resultado análisis de demanda química de oxígeno del frass líquido</i> .....	38
<b>Tabla 8</b> <i>Frass sólido según la NTC 5167:2022 para fertilizante orgánico</i> .....	40
<b>Tabla 9</b> <i>Frass sólido según la NTC 5167:2022 para enmienda o acondicionador de suelo</i> .....	41
<b>Tabla 10</b> <i>Frass líquido según NTC 5167:2022 como enmienda o acondicionador de suelo</i> .....	42

**Lista de figuras**

<b>Figura 1</b> <i>Ciclo biológico moscas soldado negra</i> .....	21
<b>Figura 2</b> <i>Cambios visuales en los residuos orgánicos durante la biotransformación</i> .....	32

## Lista de Apéndices

<b>Apéndice A</b> <i>Conteo y puesta de pre-pupas en viruta de coco</i> .....	56
<b>Apéndice B</b> <i>Compota de banano y frass líquido utilizados como atrayente</i> .....	57
<b>Apéndice C</b> <i>Huevos y recipiente para la eclosión de los huevos de mosca soldado negra</i> .....	58
<b>Apéndice D</b> <i>Picado y triturado de las cascaras verdes de frijol, el banano y triturador TR200</i> .....	59
<b>Apéndice E</b> <i>Montaje de los tratamientos para la tasa he índice de reducción de residuos</i> .....	60
<b>Apéndice F</b> <i>Frass sólido y líquido</i> .....	61
<b>Apéndice G</b> <i>Resultados ANOVA, tasa WRR he índice WRI</i> .....	62
<b>Apéndice H</b> <i>Resultados ANOVA altura planta</i> .....	63
<b>Apéndice I</b> <i>Resultados ANOVA, ramas por planta</i> .....	64
<b>Apéndice J</b> <i>Resultados ANOVA, diámetro del tallo</i> .....	65
<b>Apéndice K</b> <i>Resultados ANOVA, botón floral</i> .....	66

## Introducción

En los últimos años la gestión de residuos de cultivo (como hojas, tallos y cáscaras de semillas), se ha convertido en un desafío creciente, especialmente en sectores agrícolas donde estos materiales fibrosos que quedan tras la cosecha suelen considerarse “desechos sin valor” y son poco aprovechados (Sarkar et al., 2020).

A nivel global, no existen datos precisos sobre la cantidad real de estos residuos; las estimaciones se basan en factores de conversión generales (por ejemplo, ¿cuántos kilogramos de residuo se generan por cada kilogramo de grano?), lo que introduce un alto grado de incertidumbre en los análisis ambientales. (Sileshi et al., 2023).

En Colombia esta problemática se evidencia en distintos cultivos. Por ejemplo, en el caso del frijol, se reportan 101.733 hectáreas sembradas (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria, 2023), y se estima que por cada kilogramo cosechado se generan aproximadamente 0.46 kg de residuos (Rémy et al., 2021).

De forma similar, los residuos pos-cosecha también representan un reto importante en cultivos como el banano. En el país se han reportado 93.565 hectáreas cultivadas con banano (López Bejarano, 2019) de las cuales el 86% de la producción se destina a la exportación (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020, p. 6). Sin embargo, se estima que entre el 25 y el 50% del banano se pierde en las etapas de transporte y comercialización, (Al-Dairi et al., 2023), generando una cantidad considerable de residuos orgánicos.

A pesar del volumen significativo de estos residuos, su manejo suele ser inadecuado. En muchos casos, los restos de banano y frijol son descartados sin ningún tratamiento, especialmente en plazas de mercado y galerías, donde terminan en rellenos sanitarios. Esto

representa no solo una pérdida de recursos potencialmente aprovechables, sino también un impacto ambiental negativo que se agrava por la falta de sistemas eficientes de gestión orgánica.

Frente a esta problemática, una alternativa prometedora es el uso de larvas mosca soldado negra (*Hermetia illucens*), insecto capaz de transformar diversos residuos orgánicos, incluidos restos de cosecha, frutas y verduras, en productos de valor agregado como proteína y frass, un sub producto que puede utilizarse como fertilizantes naturales o enmiendas orgánica del suelo.

En este contexto, la biotransformación de residuos orgánicos mediante larvas de mosca soldado negra (MSN) surge como una estrategia sostenible para el aprovechamiento de residuos agrícolas, dado que genera subproductos con valor agronómico. Uno de los más relevantes es el frass, que ha demostrado contener nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo, y potasio (Green, 2023).

A partir de este enfoque, la presente investigación se plantea evaluar la capacidad de las larvas de mosca soldado negra para reducir residuos agrícolas, específicamente cáscaras de frijol verde combinadas con bananos muy maduros. Se medirá la tasa e índice de reducción de residuos, y se caracterizan los productos resultantes de la biotransformación. Además, se analizará el potencial del frass especialmente en su forma líquida en plantas de tomate Cherry (*Solanum lycopersicum var. ceraciforme*), observando su desarrollo hasta la formación de botón floral, como indicador clave del efecto fertilizante.

En conjunto, el uso de MSN en la gestión de residuos orgánicos no solo representa una solución ambiental responsable para la reducción de desechos orgánicos, sino también contribuye al desarrollo de insumos agrícolas más ecológicos y sostenibles.

## Problema

En las últimas décadas, el aumento de residuos agrícolas ha generado preocupaciones ambientales y la necesidad urgente de implementar estrategias sostenibles para su gestión. Este problema ha impulsado la búsqueda de alternativas biológicas que permitan valorizar dichos residuos y reducir su impacto ambiental (Čičková et al., 2015). Entre estas alternativas, destaca el uso de larvas de MSN, organismo capaz de biotransformar diversos tipos de residuos orgánicos, así como los derivados de la agricultura como los restos de verduras y frutas. (Cabrera & López, 2021; Hernández-Trejo et al., 2024). La biotransformación mediante larvas de MSN no solo reduce el volumen de residuos, sino que también genera subproductos útiles como el frass con potencial agronómico (Green, 2023). A pesar del creciente interés por este enfoque, se conoce poco sobre el valor agronómico del frass en su forma líquida especialmente cuando proviene de mezclas específicas como bananos muy maduros y cascaras verdes de frijol, dos residuos comunes en la agricultura colombiana. Además, es importante conocer como la densidad larval afecta la eficiencia en la reducción de residuos. Por ello, esta investigación tiene como objetivo evaluar el potencial agronómico de los residuos de cosecha y pos-cosecha, biotransformados por larvas de MSN. Se busca determinar la tasa e índice de reducción de residuos bajo diferentes densidades de larvas, caracterizar el frass líquido resultante y evaluar su efecto en el desarrollo temprano de plantas de tomate Cherry (*Solanum lycopersicum var. ceraciforme*). Se plantea que mayores densidades de larvas de MSN aumentan la eficiencia en la reducción de residuos orgánicos y que el frass líquido resultante puede mejorar el desarrollo inicial de las plantas debido a su contenido de nutrientes. ¿Cómo influye la densidad larval en la tasa de reducción de residuos orgánicos (bananos muy maduros y cáscaras verdes de frijol), y cuál es el efecto del frass líquido resultante en el desarrollo inicial de plantas de tomate Cherry?

## Justificación

El uso de la MSN para la bioconversión de residuos orgánicos ha ganado protagonismo a nivel mundial, especialmente en regiones tropicales donde las condiciones climáticas son favorables para su cría y aplicación (Da Silva & Hesselberg, 2020). Esta alternativa ha demostrado ser sostenible y eficiente para transformar diferentes tipos de residuos orgánicos en productos de valor en el marco de modelos de economía circular (Bermúdez & Sánchez-Velázquez, 2023).

Uno de los beneficios más destacados de este proceso es su capacidad para acelerar la descomposición de los residuos orgánicos, reducir emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y generar subproductos útiles, como el frass (Mertenat et al, 2019), este material, que corresponde al excremento de las larvas, ha despertado el interés de la agricultura por su contenido de nutrientes esenciales para las plantas como nitrógenos, fósforo y potasio (Hernández-Trejo et al., 2024; Green, 2023). Sin embargo, persisten vacíos importantes en cuanto a la eficiencia de la biotransformación cuando se utiliza combinaciones de residuos particulares, como las cáscaras verdes de frijol, junto con bananos muy maduros. Para establecer la viabilidad de esta mezcla como sustrato para las larvas MSN, es necesario evaluar indicadores como la tasa y el índice de reducción de residuos.

Además, resulta indispensable caracterizar el frass líquido obtenido de este proceso y analizar su efecto en el desarrollo de cultivos, en este caso el de tomate Cherry (*Solanum lycopersicum var. ceraciforme*), durante su etapa inicial. Esta investigación contribuirá no solo al aprovechamiento de residuos agrícolas, sino también al desarrollo de bioinsumos locales que promuevan una agricultura más eficiente.

## Objetivos

### Objetivo General

Estimar el potencial agronómico de residuos de cosecha biotransformados por larvas de moscas soldado negra.

### Objetivos Específicos

Comparar la tasa de reducción de residuos de cosecha entre diferentes cantidades de larvas de mosca soldado negra.

Establecer el índice de reducción de residuos de cosecha biotransformados por mosca soldado negra.

Caracterizar los residuos de cosecha biotransformados por mosca soldado negra.

Analizar el efecto del frass líquido obtenido de la biotransformación de residuos orgánicos por larvas de mosca soldado negra en el desarrollo inicial del cultivo de tomate Cherry (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*).

## **Marco Teórico**

### **Impactos Negativos de los Residuos Agrícolas**

Los residuos agrícolas como los de cosecha, (tallos, hojas, cáscaras, y otras partes vegetales), representan una problemática ambiental, social y económica significativa cuando no se gestionan adecuadamente. Su acumulación puede provocar la emisión de gases de efecto invernadero como el CO<sub>2</sub>, metano y óxido nitroso, especialmente cuando son quemados a cielo abierto. (Sarkar et al., 2020). También se asocia con contaminación de fuentes hídricas por lixiviados, malos olores y proliferación de vectores como roedores e insectos debido a su descomposición sin control (Romero-Sáez, 2022). El manejo inadecuado de estos residuos genera focos de insalubridad que afectan la calidad de vida de las comunidades rurales y para los productores representa una carga económica debido a los costos de eliminación (Krishna & Mkondiwa, 2023). Sin embargo estudios han demostrado que su aprovechamiento mediante la producción de fertilizantes orgánicos puede generar ingresos adicionales, reducir costos de insumos agrícolas y fomentar modelos de economía circular (Hernández Piedrahita, 2015)

### **Alternativas Sostenibles de Manejo de Residuos**

Una de las alternativas más prometedoras es el uso de larvas de MSN, capaz de reducir y transformar residuos orgánicos en frass con un contenido de elementos esenciales para las plantas siendo un potencial fertilizante orgánico (Green, 2023). Estas larvas se alimentan de una amplia variedad de desechos orgánicos y sus emisiones directas de gases de efecto invernadero durante el proceso de alimentación y biotransformación son 47 veces menores en comparación con el compostaje tradicional (Mertenat et al., 2019).

## La Mosca Soldado Negra (MSN)

La mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) mide entre 12 y 20 mm de longitud y presenta un cuerpo de color negro brillante o azul metálico, con reflejos de aspecto tornasolado que le dan un aspecto distintivo. Su cabeza posee antenas largas y compuestas; los adultos carecen de piezas bucales desarrolladas, por lo que no se alimentan durante esta etapa. Las alas son oscuras y translúcidas, y en reposo permanecen cruzadas, sus patas son de color blanco que se alterna con el negro, En la parte final del abdomen presenta una sección translúcida o blanquecina, similar a una pequeña “ventana”. A continuación, se presenta en la Tabla 1 la clasificación taxonómica la especie.

**Tabla 1.**

*Clasificación taxonómica de Hermetia illucens*

Categoría taxonómica	Clasificación
Filo	Arthropoda
Subfilo	Hexapoda
Clase	Insecta
Orden	Díptera
Familia	Stratiomyidae
Género	Hermetia
Especie	<i>Hermetia Illucens</i>

Fuente. Adaptado de (Devic et al. 2013)

### **Biología y Ecología**

La MSN es originaria de América y actualmente está distribuida en regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo debido a sus capacidades de adaptación y expansión por actividades humanas. Su ciclo de vida es rápido y su capacidad de adaptación hacen que sea ideal para proyectos de economía circular en entornos rurales y urbanos. Las larvas de la MSN

pueden ser utilizadas como fuente de proteína para alimentación animal, especialmente en aves y peces, ya que contienen entre un 35% y un 42% de proteína (Edea et al., 2022). La MSN puede sobrevivir sin alimento durante más de una semana, mientras que sus larvas se alimentan de residuos orgánicos como estiércol, frutas, vegetales y carne en descomposición (Gobbi, 2012). El ciclo de vida de la MSN incluye cuatro etapas: huevo (4-5 días), larva (18-24 días), Pupa (10-17 días) y adulto (10-12 días), aunque la duración puede variar según las condiciones ambientales (Sivanantharaja & Gnaneswaran, 2018).

**Huevo.** La oviposición se produce bajo condiciones óptimas de temperatura (30°C) y humedad relativa del (70%). En promedio cada hembra deposita 477 huevos, los cuales miden aproximadamente 0.9 mm de largo por 0.12 mm de ancho (Sivanantharaja & Gnaneswaran, 2018). Los huevos son ovalados y presentan una coloración que varía de color blanco a blanco amarillento. Entre 3 a 4 días después de la cópula, las hembras depositan sus huevos en espacios estrechos de 1 a 2 mm que se encuentren secos y cerca de materia orgánica en descomposición (Ucu et al, 2021).

**Larva.** Las larvas de MSN requieren condiciones óptimas: humedad entre 45%-75% (Bekker et al., 2021), temperatura entre 27-30 °C (Tomberlin et al., 2009) y una tasa de alimentación diaria de 100 mg/larva (Diener et al., 2009). Cambian de estadio larval mediante ecdisis o mudas, por lo que cada larva realiza 6 mudas antes de ser pupa y el tamaño de la cápsula cefálica permite identificar la etapa larval (Kim et al., 2010).

**Pupa.** A medida que completan su desarrollo, las larvas experimentan una transformación visible al pasar a la etapa de pre-pupa, la cual se evidencia por el cambio de color, que va de beige a café oscuro. En esta fase, dejan de alimentarse, buscan salir del sustrato

y se preparan para convertirse en pupas. La etapa de pupa es inmóvil y se caracteriza por la formación de una cutícula rígida que protege al insecto durante su transformación final hacia la fase adulta (Barros-Cordeiro et al., 2014).

**Adulto.** La mosca adulta tiene un aspecto muy similar al de una avispa, principalmente por lo estrecho de su abdomen en la parte delantera. Miden cerca de 17mm de largo, las patas tienen bandas negras y blancas que se alternan, los ojos son de colores azulados a verde amarillento, el primer segmento del abdomen es transparente, la boca es de tipo lamedor lo que solo les permite beber agua (Sivanantharaja & Gnaneswaran, 2018). La Figura 1 ilustra el ciclo biológico completo de la MSN destacando las transiciones morfológicas en cada fase.

### Figura 1.

#### *Ciclo biológico Moscas soldado negra*



*Fuente.* Autoría propia (2024)

Como se observa en la Figura 1, el ciclo biológico de la (MSN) comienza con los adultos. Las hembras, después de la cópula, depositan sus huevos en tablillas aproximadamente cuatro

días después. Estos huevos eclosionan entre tres y cuatro días más tarde, dando lugar a larvas de primer estadio, las cuales son las responsables de consumir y biotransformar la materia orgánica.

### ***Características de las Larvas y Consumo de Materia Orgánica***

Las larvas de MSN presentan un cuerpo segmentado y se caracterizan por ser organismos saprófagos, es decir, se alimentan de materia orgánica en descomposición. Estas larvas prefieren sustratos semilíquidos provenientes de residuos orgánicos en putrefacción (Bruno et al., 2020). Durante su desarrollo, las larvas consumen intensamente dichos residuos, los cuales son reducidos progresivamente y biotransformados a través de excretas en un subproducto conocido como frass. El tratamiento biológico de residuos mediante larvas de MSN inicia con la alimentación de las larvas en primer estadio (Instar), continuando hasta alcanzar el estado de prepupa. A lo largo de este proceso las larvas no solo disminuyen el volumen del residuo, si no que transforman su composición, generando un material con potencial agronómico. Diversos estudios han evidenciado que la tasa de reducción de los residuos orgánicos por acción de estas larvas varía significativamente según el tipo de sustrato utilizado. En este caso el de frutas y vegetales, Chavarri Barahona y Salvador Leon (2023) reportan tasas de reducción del 42.25% del peso original del residuo, por otro lado, Chávez Jaime (2019) reporta una reducción en cascara de naranja de 42.62% y en tomate 73.38% lo que refleja la eficiencia del proceso de biotransformación en este tipo de materiales orgánicos.

### **Biotransformación y Reducción de Residuos**

La biotransformación es un proceso biológico mediante el cual organismos vivos, como larvas de MSN consumen y degradan residuos orgánicos, Transformándolos en otras sustancias útiles o de valor agregado, como fertilizantes o biomasa con aplicaciones comerciales. Durante este proceso, las larvas digieren los residuos, lo que resulta en una notable disminución del

volumen y peso del material original, favoreciendo así la gestión sostenible de los desechos orgánicos. Para cuantificarse este proceso se emplean dos indicadores; Tasa de reducción de residuos e índice de reducción de residuos, para realizar los cálculos se utilizan las fórmulas de Chávez Jaime (2019).

Tasa de reducción de residuos (WRR):  $WRR = (W - R) / W$

W= Peso total del sustrato inicial

R = Peso del residuo restante después del proceso.

Índice de reducción de residuos (WRI):  $WRI = WRR / T * 100$

T = Duración del experimento en días

### **El frass y su Potencial Agronómico**

El frass es el excremento de las larvas, compuesto por restos no digeridos de residuos, quitina y exuvias (Lomonaco et al., 2024). Las larvas de MNS se alimentan consumiendo los residuos orgánicos (restos de vegetales, frutas entre otros) y al finalizar su periodo de alimentación dejan un residuo (restos de comida que no lograron digerir) el cual está mezclado con sus excrementos, este residuo contiene (N), fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), y potasio (K<sub>2</sub>O), resultando en un producto rico en nutrientes esenciales para las plantas (Green, 2023). Igualmente, durante este periodo de alimentación de las larvas se genera una fracción líquida (lixiviado) generada por la humedad de los residuos y la actividad metabólica de las larvas de MSN. Por tanto, para efectos de este trabajo lo consideramos también como un tipo de frass. Este frass, tanto sólido como líquido, contiene nutrientes esenciales como nitrógeno (N), fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), y potasio (K<sub>2</sub>O), y su concentración depende de la alimentación suministrada a las larvas (Green, 2023; Burgos Checa, 2022).

### ***Usos Agronómicos del Frass***

El frass puede tener los siguientes usos agronómicos. Abono orgánico: Aporta nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio que favorecen el desarrollo vegetal, y es una alternativa a los fertilizantes químicos convencionales. (Sánchez et al., 2022). Acondicionador biológico del suelo (potencial uso en evaluación): Se estudia su capacidad para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Para determinar su aplicabilidad, se requiere análisis fisicoquímico del frass sólido y líquido, incluyendo pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos suspendidos totales, (SST), carbono orgánico total (COT), macro y micro elementos, así como análisis de demanda química de oxígeno (DOQ), este último en el caso del frass líquido, igualmente, ambos frass deben cumplir con la Norma Técnica Colombiana NTC 5167:2022 del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC, 2022); y con la Resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2015) que regula los vertimientos de líquidos en actividades agropecuarias.

### ***Evidencia de Aplicación del Frass en la Agricultura***

Diversos estudios han evidenciado el potencial del frass derivado de las larvas de MSN como fertilizante orgánico, en cultivos como la caña de azúcar, hortalizas y café. En Bunga Mayan (Indonesia), por ejemplo, se aplicaron 60 litros por hectárea de frass líquido junto con la mitad de la dosis convencional de fertilizantes químicos (N, P, K), obteniendo resultados comparables a los de la fertilización química completa (Pakpahan & Esni, 2020).

Sopha et al. (2025) exploraron el frass como fuente de potasio y materia prima para fertilizantes líquidos en hortalizas. Sus resultados indican que el frass de MSN es especialmente rico en potasio, convirtiéndolo en un insumo eficiente para fertilizantes líquidos orgánicos.

Asimismo, Sakiroh et al. (2023) evaluaron su aplicación en café arábica, observando que tras cuatro meses las plantas tratadas presentaban mayor grosor de tallos y más hojas, reflejando un efecto positivo en el desarrollo vegetal.

Estas investigaciones refuerzan el valor del frass líquido como una alternativa sostenible a los fertilizantes de síntesis química, con beneficios comprobados en el crecimiento y productividad de diferentes cultivos.

### **Relación con el Estudio**

A partir de la evidencia científica sobre los beneficios del frass en distintos cultivos, esta investigación se orienta a evaluar su producción y potencial agronómico a partir de residuos agrícolas y de pos-cosecha específicos. Considerando la capacidad demostrada de las larvas de MSN para transformar residuos orgánicos, por lo que este estudio se centra en determinar su eficiencia para reducir cáscaras verdes de frijol y bananos muy maduros.

En este contexto, se propone evaluar la tasa y el índice de reducción de dichos residuos y caracterizar el frass generado, enfocándonos en el frass líquido. Posteriormente, se examinará su efecto en el desarrollo inicial de plantas de tomate Cherry (*Solanum lycopersicum* var. *ceraciforme*), especialmente hasta la formación de botón floral.

## **Metodología**

### **Localización del Estudio**

El estudio se llevó a cabo en el municipio de Palmira, corregimiento de Rozo, callejón la Marina, ubicado en las coordenadas geográficas 3°36'9.97" N y 76°22'51.87" W, a una altitud de 987 m s. n. m (UTM Geo Map, 2025). Las temperaturas promedio registradas fueron 29.1°C, con valores mínimo de 22.8°C y máxima de 33.8 °C. estas mediciones se realizaron con un sensor de temperatura y humedad Elitech modelo RC – 51H.

### **Obtención de las Larvas**

Se inició con la adquisición de 610 pre-pupas de MSN, suministradas por un productor local el 16 de noviembre de 2024. Estas se colocaron en cinco recipientes con viruta de coco, dentro de un toldillo de 90 x 90 cm, véase Apéndice A. Dos días después emergieron las primeras moscas adultas, lo que permitió instalar trampas para la ovoposición. Las trampas consistían en láminas de madera apiladas, separadas por tachuelas, colocadas sobre recipientes con atrayentes. Se utilizó una mezcla de compota de banano con 13 ml de frass líquido y frass líquido puro, siendo este último el más efectivo, véase Apéndice B. En el toldillo también se colocaron recipientes con agua y espuma para evitar la deshidratación de las moscas adultas. Cinco días después de la emergencia, se observaron los primeros apareamientos y cuatro días después las primeras posturas. Los huevos fueron recolectados y colocados sobre portaobjetos encima de trozos de banano en recipientes plásticos con ventilación adecuada y drenaje. Tras cinco días, se observó la eclosión y la presencia de numerosas larvas, véase Apéndice C.

### **Alimentación de las Larvas**

Se utilizaron larvas de 9 días de nacidas, alimentadas con una mezcla de 70% bananos muy maduros y 30% cáscaras verdes de frijol. Las cáscaras fueron procesadas tres veces en

picadora TR200 para facilitar su consumo, véase Apéndice D. Se evaluaron proporciones 70:30, 80:20, y 90:10 siendo la mezcla 70:30 la más adecuada por su humedad (81%), porosidad y reducción observada durante un ensayo previo.

### **Montaje Experimental**

Se realizaron tres ensayos independientes en un diseño completamente aleatorizado; cada tratamiento contó con tres repeticiones. A continuación, se describen las características de los ensayos: Ensayo 1: 84 larvas por unidad experimental y 118g de residuos en recipientes plásticos (10 x 7 x 3 cm), con inclinación de 45°. Con ventilación y drenaje para recolección del frass líquido. Ensayo 2: 701 larvas por repetición y 850 g de residuos en canastillas de acero inoxidable (50 x 30 x 15 cm), con inclinación de 45° para la recolección del frass líquido. Ensayo 3: 2400 larvas y 3.000 g de residuos canastillas de acero inoxidable (50 x 30 x 15 cm), con inclinación de 45° para la recolección del frass líquido.

Como parte del montaje experimental, las canastillas fueron cubiertas con bolsa plásticas negras, medida que permitió condiciones de oscuridad, conservar la humedad y reducir la interferencia de factores externos, véase Apéndice E. En todos los tres ensayos se aplicó melaza al 1% mezclada con los residuos. La proporción de alimento fue de 1.2 g por larva aproximadamente, suministrado en una única dosis al inicio, los sistemas se ubicaron en una zona oscura y se realizaron observaciones diarias durante 12 días.

### **Recolección del Frass**

Tras 12 días de alimentación de las larvas, se recolectaron el frass líquido generado y el frass sólido, véase Apéndice F. Este último fue secados al sol por 10 días. Tanto el frass sólido como el líquido fueron enviados a laboratorio para análisis fisicoquímico y en el caso del frass líquido, también se evaluó la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

### **Fórmulas para los Cálculos de los Indicadores de Reducción**

Se calcularon la Tasa de Reducción de Residuos (WRR) y el índice de Reducción de Residuos (WRI) aplicando las fórmulas propuestas por Chávez Jaime (2019).

Tasa de Reducción de Residuos (WRR):  $WRR = (W - R) / W$

W = Peso total del sustrato inicial

R = Peso del residuo restante después del proceso.

Índice de Reducción de Residuos (WRI):  $WRI = WRR / T * 100$

T = Duración del experimento en días

### **Análisis Estadístico**

Para comparar la eficiencia de biotransformación entre los tratamientos, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor, considerando como variable dependiente la Tasa y el Índice de Reducción de Residuos. Posteriormente, se utilizó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para identificar diferencias significativas entre los tratamientos.

Es importante señalar que, aunque el Ensayo 1 se desarrolló en un recipiente de diferente material y tamaño respecto a los Ensayos 2 y 3, fue incluido en el análisis general con el propósito de observar tendencias globales en el comportamiento de las larvas frente a distintas densidades y cantidades de residuos. No obstante, se reconoce que esta diferencia metodológica puede haber influido en los resultados, por lo cual también se realizó un análisis comparativo complementarios entre los Ensayos 2 y 3, que compartieron condiciones experimentales homogéneas. Esta doble aproximación permitió una interpretación más precisa y robusta de los resultados.

**Frass líquido en plantas de tomate Cherry. (*Solanum lycopersicum* var. *ceraciforme*)**

Con el objetivo de comparar el efecto del frass líquido frente a la fertilización de síntesis química, hasta la etapa de formación floral (entre 21 y 34 días después del trasplante), se realizó un experimento que se llevó a cabo en un invernadero bajo un diseño completamente aleatorizado, utilizando tres repeticiones por tratamiento.

Las plantas se establecieron con un distanciamiento de 1 metro entre plantas y con riego por goteo, los tratamientos fueron:

Tratamiento 1: frass líquido al 5% (10ml en 190 ml de agua), aplicando 200ml por planta. Tratamiento 2: Fertilización de síntesis química. Las fertilizaciones se realizaron a los 10 y 25 días después de la siembra para efectos del presente estudio y con la finalidad de estimar la prospección de fructificación, se evaluó la presencia de botones florales, altura de las plantas, diámetro del tallo y número de ramas por planta. Las medidas tomadas fueron sometidas a pruebas de análisis de varianza (ANOVA).

## Resultados y Discusión

### Reducción de residuos

En todos los tratamientos se iniciaron con larvas de nueve días de edad, los residuos utilizados estaban compuestos por una mezcla de 70% de bananos muy maduros y 30% de cáscaras verdes de frijol. En el primer tratamiento con 118 gramos de residuo inicial y 84 larvas de MSN. La tasa promedio de reducción WRR fue de 62.3%. El índice de reducción WRI alcanzó un valor promedio de 5.19%. La repetición 1 presento mayor eficiencia 68,5% de reducción, mientras que la repetición 3 evidencio una menor capacidad de reducción 54,2%. Los resultados se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Tasa e índice de reducción de residuos con 84 larvas de mosca soldado negra.*

Repetición #	Residuo Inicial (g)	Duración (días)	Residuo Final (g)	Tasa WRR (%)	Índice WRI (%)
1	118	12	37.16	68.5	5.71
2	118	12	42.30	64.2	5.35
3	118	12	53.99	54.2	4.52
Tasa e índice promedio		-	-	62.3	5.19

*Nota.* Durante los 12 días de biotransformación se recolectaron 54 ml de frass líquido, y 133.45 gramos de frass sólido. *Fuente.* Autor (2025).

En contraste, el segundo tratamiento utilizó 701 larvas y 850 gramos de residuos, (Tabla 3). En este caso, el promedio de reducción fue de 92.6%, con un índice de reducción WRI de 7.72% Las tres repeticiones representaron un promedio similar en la eficiencia de reducción.

**Tabla 3**

*Tasa e índice de reducción de residuos con 701 larvas de Mosca Soldado Negra.*

Repetición #	Residuo Inicial (g)	Duración (días)	Residuo Final (g)	Tasa WRR (%)	Índice (WRI)
1	850	12	64.85	92.4	7.70
2	850	12	64.81	92.4	7.70
3	850	12	59.95	92.9	7.75
Tasa e índice promedio		-	-	92.6	7.72

*Nota.* Durante los 12 días de biotransformación se recolectaron 327 ml de frass líquido y 189.61 gramos de frass sólido. *Fuente.* Autor (2025).

El tercer tratamiento con 2.400 larvas y 3.000 gramos de residuos (Tabla 4), mostró una tasa WRR promedio de reducción de residuos de 93.5%, y un índice WRI constante de 7.79 en todas las repeticiones.

**Tabla 4**

*Tasa e índice de reducción de residuos con 2.400 larvas de Mosca Soldado Negra.*

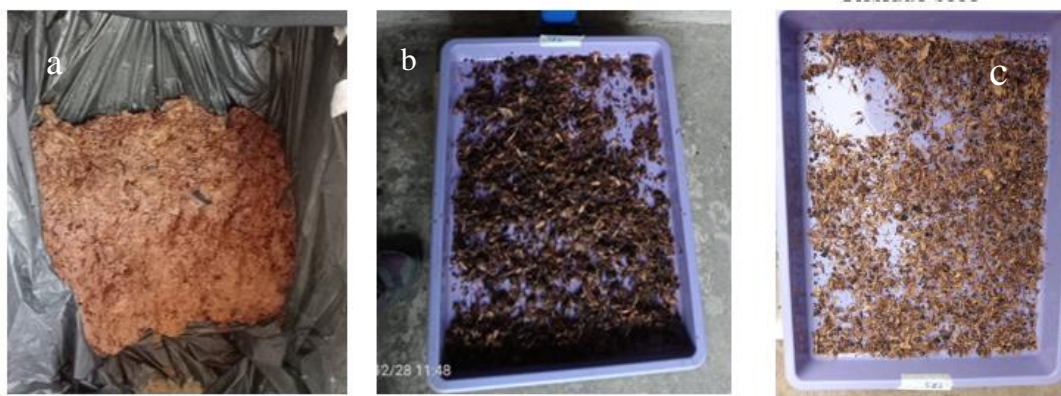
Repetición #	Residuo Inicial (g)	Duración (días)	Residuo Final (g)	Tasa WRR (%)	Índice WRI (%)
1	3.000	12	197.2	93.4	7.79
2	3.000	12	196.0	93.5	7.79
3	3.000	12	195.6	93.5	7.79
Tasa e índice promedio		-	-	93.5	7.79

*Nota.* Durante los 12 días de biotransformación obtuvieron 1.000 ml de líquido y 588.8 gramos de frass sólido. *Fuente.* Autor (2025)

En total, a lo largo de los tres ensayos, se recolectaron 1.381 ml de frass líquido y 911.86 gramos de frass sólido. Con el fin de ilustrar visualmente el efecto del proceso de bioconversión sobre los residuos orgánicos, la Figura 2 presenta una secuencia del aspecto físico de los residuos tratados igualmente en el Anexo 10 se presenta una gráfica de barras donde se compara en porcentajes la tasa de reducción de residuos de los tres ensayos con 84, 701 y 2.400 larvas.

### Figura 2

*Cambios visuales en los residuos orgánicos durante la biotransformación.*



*Nota:* La imagen (a) estado inicial del residuo antes de ser inoculado con larvas. (b) residuo al final del proceso de 12 días. (c) frass seco tras 10 días de exposición solar. *Fuente.* Autor (2025).

En la Figura 2 se observa que, inicialmente, los residuos presentaban una coloración clara y una consistencia pastosa. Trascurridos 12 días de biotransformación por las larvas de MSN, el color cambió a café oscuro y el volumen se redujo de forma evidente. Posteriormente, al retirar las larvas y someter el material a secado solar durante 10 días, los residuos adquirieron un tono café claro y una textura totalmente desagregada. Estos resultados muestran que, a lo largo del proceso, se producen modificaciones notorias en el color, volumen y el peso del sustrato.

### **Análisis de Varianza (ANOVA) para WRR y WRI**

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) empleando el software R (versión 4.5.0; R Core Team, 2024), para evaluar el efecto de los diferentes tratamientos (T1: 84 larvas, T2: 701 larvas y T3: 2.400 larvas) sobre la tasa de reducción de residuos (WRR) y el índice de reducción (WRI). El análisis ANOVA para WRR mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos ( $F(2,6) = 52.88, p = 0.000155$ ), lo que indica que la cantidad de larvas empleadas influye significativamente en la tasa de reducción de residuos.

El valor del estadístico  $F$  elevado y el valor  $p$  inferior a 0.001 (\*\*\*) respalda una fuerte evidencia en contra de la hipótesis nula de igual de medias entre los tratamientos.

Posteriormente, se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey (HSD) para identificar las diferencias específicas entre tratamientos, los resultados indicaron que: T2 (701 larvas) tuvo un WRR significativamente mayor que T1 (84 larvas) con una diferencia media de 0.30 ( $p < 0.001$ ). T3 (2.400 larvas) también presentó un WRR significativamente mayor que T1, con una diferencia de 0.31 ( $p < 0.001$ ).

No se encontraron diferencias significativas entre T2 y T3 ( $p = 0.96$ ), lo que sugiere que, a partir de 701 larvas, la tasa de reducción no mejora significativamente, véase Apéndice G. De forma similar el análisis ANOVA para el índice WRI también reveló diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ( $F(2,6) = 52.88, p = 0.000155$ ). Esto indica que la eficiencia de reducción también se ve afectada por la cantidad de larvas utilizadas: T2 (701 larvas) presentó un WRI significativamente mayor que T1 (84 larvas) con una diferencia de 2.52 ( $p < 0.001$ ). T3 (2.400 larvas) mostró una diferencia similar respecto a T1, con una media superior en 2.60 puntos ( $p < 0.001$ ). Al igual que en el WRR, no hubo diferencias significativas entre T2 y T3 en el WRI ( $p = 0.96$ ).

Los resultados mostraron que los tratamientos T2 y T3 alcanzaron una reducción significativamente mayor (92.6% y 93.5% respectivamente) en comparación con el tratamiento T1, (62.3%). Este hallazgo supera los valores reportados Chavarri Barahona y Salvador Leon (2023), quienes informaron una reducción del 42.25%, en residuos provenientes de frutas.

De manera similar Ruslan et al., (2024) reportaron una reducción del 36.74% en residuos de plátano. En contraste, Chávez Jaime (2019) obtuvo una tasa de reducción de residuos (WRR) del 73.38% y un índice de reducción (WRI) de 3.86% al utilizar residuos de tomate. igualmente, con residuo de cáscara de naranja, alcanzó un WRR de 49.62%, y un WRI de 3.31%.

Al Comparar estos estudios con los resultados obtenidos en el presente trabajo, donde se utilizó una mezcla 70% bananos muy maduros con 30% de cáscaras verdes de frijol, se evidenció que los tratamientos con 701 y 2.400 larvas (T2 y T3) presentaron promedios de reducción superiores, tanto en la tasa (92.6 -93.5%) como en el índice (7.72- 7.79%), superando los valores reportados por Chávez Jaime (2019) para reducción de tomate y cáscaras de naranja.

Cabe resaltar que los resultados obtenidos con 84 larvas coinciden en días y porcentaje de biotransformación con los datos de Meneguz et al., (2018) quienes demostraron que la biotransformación de mezcla de residuos vegetales contempla entre 12 y 20 días con un porcentaje del 65.2%. Los resultados sugieren que aumentar la densidad larval mejora la eficiencia del proceso de biotransformación, lo cual contribuye a mitigar la contaminación de los residuos biotransformados al pasar menor tiempo expuestos en el ambiente (Lopes et al., 2020) mitigando su potencial de la generación de gases efecto invernadero como lo plantean Pang et al., 2020.

### **Análisis Físicoquímico del Frass**

La muestra del frass sólido y líquido se mandó analizar al Laboratorio Doctor Calderón

Asistencia Técnica Agrícola Ltda. (2025), y los resultados se presentan en las Tablas 5 y 6. En cuanto al análisis para saber la Demanda Química de Oxígeno (DQO) para el frass sólido este fue realizado por DBO Ingeniería Ltda. (2025) empresa especializada en protección ambiental. Los resultados del DQO se presentan en la Tabla 7.

**Tabla 5**

*Resultados análisis de laboratorio frass sólido.*

Parámetro	Valor Reportado	Unidad	Método Analítico
pH en pasta saturada	9.11		NTC 5527 Potenciometría
C.E. en 1:100 a 20.1°C	0.63	dS/m	NTC 5527 Potenciometría
Nitrógeno total	0.85	% P/P	Suma de Nitrógenos
Fósforo total	0.05	% P/P	NTC 234 Colorimetría
Potasio total	3.53	% P/P	NTC 202 Emisión
Calcio total	0.28	% P/P	NTC 1369 Absorción Atómica
Magnesio total	0.27	% P/P	NTC 1369 Absorción Atómica
Cenizas	8.98	% P/P	NTC 5167 Gravimetría
Humedad	8.79	% P/P	NTC 5167 Gravimetría
C.I.C.	115.21	meq/100g	NTC 5167 Volumetría
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total	0.10	% P/P	NTC 234 Colorimetría
K <sub>2</sub> O total	4.23	% P/P	NTC 202 Emisión
CaO total	0.39	% P/P	NTC 1369 Absorción Atómica
MgO total	0.46	% P/P	NTC 1369 Absorción Atómica
SiO <sub>2</sub> total	0.04	% P/P	LBC 89 Colorimetría
Silicio total	0.07	% P/P	LBC 89 Colorimetría
Residuo insoluble en ácido	0.14	% P/P	LBC 21 Gravimetría
Densidad real (base seca)	0.09	g/cm <sup>3</sup>	NTC 5167 Gravimetría
Nitrógeno nítrico	<0.01	% P/P	NTC 209 Devarda
Nitrógeno amoniacal	<0.01	% P/P	NTC 211 Destilación
Nitrógeno orgánico	0.85	% P/P	NTC 370 Volumetría

Parámetro	Valor Reportado	Unidad	Método Analítico
Boro total	0.0001	% P/P	NTC 1860 Colorimetría
Azufre total	0.082	% P/P	NTC 1154 Turbidimetría
Hierro total	0.036	% P/P	NTC 1369 Absorción Atómica
Manganeso total	0.009	% P/P	NTC 1369 Absorción Atómica
Cobre total	0.002	% P/P	NTC 1369 Absorción Atómica
Zinc total	0.001	% P/P	NTC 1369 Absorción Atómica
Sodio total	0.01	% P/P	NTC 1146 Emisión
Retención de humedad	325.67	% P/P	NTC 5167 Gravimetría
Pérdidas por volatilización	82.23	% P/P	NTC 5167 Gravimetría
Carbono orgánico oxidable total	20.44	% P/P	NTC 5167 Walkey Black
Relación C/N	24.1		Cálculo

*Fuente.* Adaptado de. Laboratorio Doctor Calderón Asistencia Técnica Agrícola Ltda. (2025).

**Tabla 6***Resultado análisis de laboratorio frass líquido*

Parámetro	Valor Reportado	Unidad	Método Analítico
Densidad a 20°C	10.240	g/mL	NTC 5527 Gravimetría
pH en 10%	3.83		NTC 5527 Potenciometría
C.E. en 1:100 a 20.5°C	0.32	dS/m	NTC 5527 Potenciometría
Nitrógeno Total	0.16	g/L	SUMA DE NITROGENOS
Nitrógeno Amoniacal	<0.10	g/L	NTC 211 Destilación
Nitrógeno Nítrico	<0.10	g/L	NTC 209 Devarda
Nitrógeno Orgánico	0.16	g/L	NTC 370 Volumetría
Potasio Soluble H2O	5.14	g/L	NTC 202 Emisión Atómica
Calcio Soluble H2O	0.12	g/L	NTC 1369 Absorción Atómica
Magnesio Soluble H2O	0.33	g/L	NTC 1369 Absorción Atómica
Fósforo Soluble H2O	0.21	g/L	NTC 234 Colorimetría
K2O Solu.H2O	6.17	g/L	NTC 202 Emisión Atómica
CaO Solu.H2O	0.17	g/L	NTC 1369 Absorción Atómica
MgO Solu.H2O	0.55	g/L	NTC 1369 Absorción Atómica
P2O5 Solu.H2O	0.48	g/L	NTC 234 Colorimetría
Azufre Soluble H2O	0.62	g/L	NTC 1154 Turbidimetría.
Boro Soluble H2O	0.020	g/L	NTC 1860 Colorimetría
Cobre Soluble H2O	0.008	g/L	NTC 1369 Absorción Atómica
Manganeso Soluble H2O	0.005	g/L	NTC 1369 Absorción Atómica
Hierro Soluble H2O	0.001	g/L	NTC 1369 Absorción Atómica
Zinc Soluble H2O	0.003	g/L	NTC 1369 Absorción Atómica
Sodio Soluble H2O	0.03	g/L	NTC 1146 Emisión Atómica
C. Orgánico Oxidable Total	34.37	g/L	NTC 5167 Walkey Black
Rel (C/N)	214.80		Cálculo
Sólidos Insolubles en H2O	3.30	g/L	NTC 5167 Gravimetría

*Fuente.* Adaptado de. Laboratorio Doctor Calderón Asistencia Técnica Agrícola Ltda. (2025).

En cuanto al frass líquido generado durante el proceso de biotransformación, se analizó con énfasis en la Demanda Química de oxígeno (DQO) para determinar su carga contaminante y posible categorización como lixiviado. Los resultados del análisis de la Demanda química de oxígeno (DQO) se presentan en la Tabla 7.

**Tabla 7**

*Resultado análisis de demanda química de oxígeno del frass líquido*

Parámetro	Resultado	Unidades	Fecha de análisis	Método – Referencia
Demanda química de oxígeno (DQO)	A 117.469	Mg O2/L	2025-02-07	Estándard Methods Ed 24 / 5220 C Modificado Reflujo cerrado - volumétrico

*Fuente.* Adaptado de. DBO Ingeniería Ltda. (2025)

### **Análisis de Cumplimiento del Frass Sólido y Líquido Frente a la NTC 5167: 2022 y la Resolución 0631 de 2015**

Según el instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC, 2022) en la Norma Técnica Colombiana NTC 5167:2022 (en adelante, NTC 5167:2022) y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2015) en la Resolución 0631 de 2015 (en adelante, Resolución 0631 de 2015), el frass sólido y líquido debe cumplir con los parámetros establecidos para ser considerado como fertilizante orgánico, enmienda o acondicionador de suelo.

En este contexto los resultados del análisis de laboratorio del frass sólido obtenido en el proceso de biotransformación indicaron un pH en pasta saturada de 9.11, valor que sobrepasa ligeramente el límite superior establecido por la NTC 5167:2022.

La conductividad eléctrica de 0.63 dS/m se encuentra dentro del rango exigido, en cuanto a los nutrientes, el frass sólido contiene un nitrógeno total de 0.85%, fósforo total 0.10% y un nivel de potasio de 4.23% este último sin umbral mínimo exigido por la norma. La relación carbono nitrógeno (C/N) fue de 24.1 valor que se encuentra dentro del rango.

Adicionalmente, el carbono orgánico oxidable total fue de 20.44% superando el valor mínimo exigido. La humedad 8.79% y el contenido de cenizas de 8.98% estando dentro de los límites establecidos.

La Capacidad de Intercambio Catiónico CIC, mostró un valor de 115.21 meq/100g lo que indica una excelente capacidad del frass para retener y liberar nutrientes del suelo. Igualmente, la retención de humedad fue del 325.67% mostrando potencial para mejorar la estructura del suelo. Los niveles de otros elementos como calcio 0.39%, magnesio 0.46%, sodio 0.01% y micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn, B, S), se consideraron adecuados como se observa en la Tabla 8. No obstante, para considerar este frass como fertilizante orgánico sólido, es obligatorio evaluar la presencia de metales pesados (arsénico, cadmio, cromo, mercurio y plomo), según lo estipulado por la NTC 5167:2022, análisis que no fue incluido en este estudio.

**Tabla 8**

*Frass sólido según la NTC 5167:2022 para fertilizante orgánico.*

Parámetro	Resultado Reportado por el análisis	Requisito NTC 5167:2022	¿Cumple?
pH (pasta saturada)	9.11	4.0 – 9.0	No
Conductividad eléctrica (CE)	0.63 dS/m	≤ 6 dS/m	Sí
Humedad	8.79%	≤ 30%	Sí
Cenizas	8.98%	≤ 60%	Sí
Carbono orgánico oxidable total	20.44%	≥ 15%	Sí
Relación C/N	24.1	10 – 25	Sí
Retención de humedad	325.67%	≥ 100%	Sí
Densidad real (base seca)	0.09 g/cm <sup>3</sup>	≤ 0.6 g/cm <sup>3</sup>	Sí
Nitrógeno total (N)	0.85%	≥ 0.5%	Sí
Fósforo total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.10%	≥ 0.1%	Si
Potasio total (K <sub>2</sub> O)	4.23%	no tiene mínimo	Sí
Calcio total (CaO)	0.39%	No exigido	-
Magnesio total (MgO)	0.46%	No exigido	-
Sodio total (Na)	0.01%	≤ 2%	Sí
C.I.C.	115.21 meq/100g	No obligatorio	Sí
Metales pesados (As, Cd, Cr, Hg, Pb)	No evaluado	Obligatorio	No evaluado

*Fuente.* Elaboración propia con base en Laboratorio Doctor Calderón Asistencia Técnica

Agrícola Ltda. (2025) e ICONTEC (2022).

Al comparar el frass sólido con los parámetros establecidos en la NTC 5167: 2022 para enmiendas o acondicionadores de suelo Tabla 9, se identificó como requisito obligatorio, la evaluación de metales pesados, sin embargo, no fue incluido en el presente estudio.

**Tabla 9**

*Frass sólido según la NTC 5167:2022 para enmienda o acondicionador de suelo.*

Parámetro	Resultado Reportado por el análisis	Requisito NTC 5167:2022	¿Cumpl e?
Carbono orgánico oxidable total	20.44 %	Mínimo 20 %	SÍ
Sodio total (Na)	0.01 %	Máximo 2 %	SÍ
Humedad	8.79 %	Máximo 20 %	SÍ
C.I.C. (meq/100g)	115.21	Mínimo 30	SÍ
Solubilidad en agua	No aplica (sólido seco)	Si se disuelve, debe reportarse	SÍ
Arsénico total (As)	No evaluado	Máximo 41 mg/kg	No
Cadmio total (Cd)	No evaluado	Máximo 39 mg/kg	No
Cromo total (Cr)	No evaluado	Máximo 1200 mg/kg	No
Mercurio total (Hg)	No evaluado	Máximo 17 mg/kg	No
Plomo total (Pb)	No evaluado	Máximo 20 mg/kg	No

*Fuente.* Elaboración propia con base en Laboratorio Doctor Calderón Asistencia Técnica Agrícola Ltda. (2025) e ICONTEC (2022).

Al comparar el frass líquido con los requisitos de la NTC 5167: 2022 para acondicionador o enmienda de suelo líquidos, se observa que el contenido de carbono orgánico

oxidable total (34.37 g/L) es significativamente inferior al mínimo requerido ( $\geq 150$  g/L). Además, el valor del pH reportado (3.83) se obtuvo mediante una dilución al 10%, lo cual no cumple con el criterio de medición directa exigido por la norma. (véase Tabla 10). De igual forma el análisis de metales pesados es obligatorio para cumplir con los requisitos legales, y este no fue incluido en el presente estudio.

**Tabla 10**

*Frass líquido según NTC 5167:2022 como enmienda o acondicionador de suelo.*

Parámetro	Requisito NTC 5167:2022	Resultado Informe	¿Cumple?
Carbono orgánico oxidable total	$\geq 150$ g/L	34.37 g/L	No
Sodio soluble (Na)	Reportar	0.03 g/L	Si
pH directo	2.0–12.0	3.83 (en 10 %)	No
Densidad a 20 °C	Reportar	1.0240 g/mL	Si
Conductividad eléctrica (CE 1:100)	Reportar	0.32 dS/m	Si
Descripción física	Reportar	Líquido color café	Si
Metales pesados (As, Cd, Cr, Hg, Pb)	No superar límites	No reportados	-
Nutrientes solubles (N, P, K)	Reportar	Reportados	Si

*Fuente.* Elaboración propia con base en Laboratorio Doctor Calderón Asistencia Técnica Agrícola Ltda. (2025) e ICONTEC (2022).

En cuanto al análisis realizado por DBO Ingeniería Ltda. (2025), arrojó un valor de DQO de 117.49mg/L. Según la resolución 0631 de 2015, los límites permisibles de DQO para vertimientos en cuerpo de agua son de 250 mg/L y para vertimientos en alcantarillado de 400

mg/L en el sector agroindustrial. Adicionalmente el artículo 9, capítulo VI, establece un límite máximo de 150 ml/L (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015). En este contexto, el valor obtenido se encuentra por debajo de todos los umbrales establecidos, cumpliendo con la normativa vigente para vertimientos.

Los resultados obtenidos, tanto en su forma sólida como líquida fueron comparados en cuanto a los nutrientes principales (N, P, K) con los datos reportados por Chavarri y Salvador (2023), en Moshoqueque (Perú), y por Burgos Checa (2020), en Ecuador, quienes emplearon residuos de frutas como sustrato para la alimentación de las larvas de MSN.

El contenido de nitrógeno total (N) en el frass sólido fue de 0.85% siendo un valor inferior que el reportado por Chavarri y Salvador (1.60%). En cuanto el frass líquido, se obtuvo una concentración de 0.16 g/L (160 ppm), siendo este superior al hallado por Burgos Checa en el lixiviado (0.6 ppm). Respecto al fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), en el frass sólido se obtuvo 0.10%, en contraste con el 0.96% reportado por Chavarri y Salvador, lo cual indica un mayor contenido de fósforo en el estudio peruano. En el frass líquido, se alcanzó una concentración de 0.48 g/L (480 ppm), valor que supera ampliamente al registrado por Burgos Checa en el lixiviado (18 ppm).

En Cuanto al potasio (K<sub>2</sub>O), el frass sólido presentó un contenido de 4.23%, superior al 2.12% reportado por Chavarri y Salvador. Sin embargo, en el frass líquido se obtuvo 6.17 g/L (6170 ppm), siendo un resultado inferior al informado por Burgos Checa, que reportó una concentración de 42165 ppm.

### **Resultados de la aplicación del frass líquido (lixiviado) al 5% en plantas de tomate Cherry.** *(Solanum lycopersicum var. ceraciforme)*

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para las variables: Altura de planta, diámetro del tallo, número de ramas y botones florales según los dos tratamientos evaluados

T1(con frass líquido al 5%) y T2 (Testigo, tratamiento de síntesis química).

### ***Altura de Planta***

El tratamiento T1 presentó una media de 38.1 cm (DE = 19.4; n = 27), mientras que el tratamiento T2 tuvo una media de 35.9 cm (DE =16.6; n = 27). El análisis de varianza (ANOVA) mostró que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre ambos tratamientos en cuanto a la altura ( $F(1,52) = 0.204$ ,  $p = 0.653$ ), Apéndice G.

### ***Ramas por Plantas***

El tratamiento T1 presentó una media de 15.6 ramas por planta (DE = 8.53; n = 27, mientras que el tratamiento T2 tuvo una media de 14.1 ramas por planta (DE = 6.04; n = 27). El análisis de varianza (ANOVA) mostró que no hubo diferencias estadísticas significativas entre ambos tratamientos en cuanto al número de ramas ( $F(1,52) = 0.516$ ,  $p = 0.476$ ), Apéndice I.

### ***Diámetro del Tallo***

El tratamiento T1 presentó una media de 4.25 mm (DE = 0.61; n = 6), mientras que el tratamiento T2 tuvo una media de 3.90 mm (DE = 0.77; n = 6). El análisis de varianza (ANOVA) mostró que no hubo diferencia estadística significativa entre ambos tratamientos en cuanto al diámetro del tallo ( $F(1,10) = 0.763$ ,  $p = 0.403$ ), Apéndice J.

### ***Botones Florales***

El análisis de varianza (ANOVA) indicó que no existe diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos, valor  $p = 0.987$ . El análisis descriptivo mostró que ambos tratamientos presentaron una media igual en el número de botones florales por planta, con 13.1 botones para T1 (DE = 9.64; n = 27) 13.1 botones para T2 (DE = 9.95; n = 27), Apéndice K.

Los tratamientos T1 y T2 (Testigo) en cinco variables morfológicas de plantas: Altura de planta, diámetro del tallo, numero de ramas y botones florales. En todos los casos los valores p

fueron mayores a 0.05, ( $p > 0.05$ ) lo que indica que no hubo diferencia estadística significativa entre los tratamientos. Por tanto, los tratamientos T1 (con frass líquido al 5%) y T2 (Testigo, tratamiento con síntesis química respectivamente), no produjeron cambios significativos en las características morfológicas evaluadas.

## Conclusiones

El incremento en la densidad larval influyó significativamente en la tasa de reducción de residuos. Los tratamientos con 701 y 2.400 larvas alcanzaron reducciones de 92.6% y 93.5%, respectivamente, superando ampliamente el tratamiento con 84 larvas (62.3%). Los análisis estadísticos (ANOVA y Tukey HSD) confirmaron diferencias significativas entre T1 y los tratamientos con mayor número de larvas ( $p < 0.001$ ), lo que evidencia que la eficiencia del proceso mejora hasta estabilizarse a partir de una densidad media de 701 larvas.

El índice de reducción de residuos (WRI) fue más eficiente cuando las larvas se alimentaron con una mezcla de residuos vegetales finamente triturados, suministrada en una única dosis de 1,2 g por larva/día durante un período mínimo de 12 días. Bajo estas condiciones, el WRI se mantuvo dentro de los rangos óptimos, con valores promedio de 7.72% y 7.79% en los tratamientos con mayor densidad larval. Este procedimiento demostró mejores resultados en comparación con estudios que emplearon una sola fuente de alimentación.

El frass sólido y líquido generado durante la biotransformación presentó un alto contenido mineral y características favorables para su aprovechamiento agrícola. No obstante, se recomienda realizar análisis complementarios de metales pesados y microbiológicos para garantizar el cumplimiento de la norma NTC 5167:2022, que regula el uso de enmiendas orgánicas. Dado el origen vegetal de los residuos empleados (bananos muy maduros y cáscaras de frijol verde), se prevé un bajo contenido de metales pesados y riesgos mínimos, lo que refuerza su potencial como acondicionador o fertilizante orgánico.

Se evidenció que la aplicación de frass líquido al 5% es potencialmente viable como biofertilizante en las etapas vegetativas tempranas del tomate Cherry (*Solanum lycopersicum var. ceraciforme*), ya que permitió obtener resultados comparables a la fertilización química en

variables como altura de planta, número de ramas, diámetro del tallo y número de botones florales. Esto demuestra que el frass líquido puede ser una alternativa sostenible y de bajo costo en la producción agrícola, favoreciendo el crecimiento inicial sin comprometer el rendimiento.

La biotransformación de residuos agrícolas mediante larvas de MSN demostró un alto potencial agronómico, al permitir la reducción eficiente de residuos de cosecha y pos-cosecha, generando frass sólido y líquido con características fisicoquímicas favorables para su uso como bioinsumo agrícola y alternativa sostenible frente a los fertilizantes de síntesis química.

Asimismo, es importante considerar el pH del frass, ya que el frass sólido tiende a ser muy alcalino, mientras que el frass líquido presenta una acidez elevada. Estos aspectos representan áreas clave para mejorar y deben ser objeto de futuras investigaciones.

## Referencias

- Al-Dairi, M., Pathare, P. B., Al-Yahyai, R., Jayasuriya, H., & Al-Attabi, Z. (2023). Postharvest quality, technologies, and strategies to reduce losses along the supply chain of banana: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *134*, 177–191.  
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.03.003>
- Barros-Cordeiro, K. B., Bao, S. N., & Pujol-Luz, J. R. (2014). Intra-puparial development of the black soldier-fly, *Hermetia illucens*. *Journal of Insect Science*, *14*(83), 1–10.  
<https://doi.org/10.1673/031.014.83>
- Bekker, N. S., Heidelbach, S., Vestergaard, S. Z., Nielsen, M. E., Riisgaard-Jensen, M., Zeuner, E. J., Bahrndorff, S., & Eriksen, N. T. (2021). Impact of substrate moisture content on growth and metabolic performance of black soldier fly larvae. *Waste Management*, *127*, 112–120 <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.04.028>
- Bermúdez, S. I. M., & Sánchez-Velázquez, O. A. (2023). Aprovechamiento integral de la Mosca Soldado Negra: Bioconversion, sostenibilidad y desafos emergentes. *Scientia Agropecuaria*, *14*(4), 571-590. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.047>
- Bruno, D., Bonacci, T., Reguzzoni, M., Casartelli, M., Grimaldi, A., Tettamanti, G., & Brandmayr, P. (2020). An in-depth description of head morphology and mouthparts in larvae of the black soldier fly *Hermetia illucens*. *Arthropod Structure & Development*, *58*, 100969. <https://doi.org/10.1016/j.asd.2020.100969>
- Burgos Checa, S. S. (2020). *Evaluación de lixivado de Hermetia illucens en el rendimiento de pimienta con fertirriego en vivero* [Trabajo de titulación de Ingeniera Agrónoma, Universidad Agraria del Ecuador]. Centro de Información Académica - Universidad Agraria del Ecuador.

[https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/BURGOS%20CHECA%20SHAKIRA%20STEPHANIA\\_compressed\(1\)-comprimido.pdf](https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/BURGOS%20CHECA%20SHAKIRA%20STEPHANIA_compressed(1)-comprimido.pdf)

Cabrera, G. D., & López, G. 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>

Chavarri Barahona, G. J., & Salvador Leon, C. M. (2023). *Bioconversión de residuos orgánicos provenientes del sector frutas del mercado mayorista Moshoqueque, utilizando la larva de Hermetia illucens* [Tesis de licenciatura, Universidad Señor de Sipán]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/141232>

Chávez Jaime, R. (2019). *Desarrollo de un sistema de biotransformación de residuos agroindustriales mediante el uso de larva de mosca soldado (Hermetia illucens)* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Querétaro]. <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/2301/1/RI005362.pdf>

Čičková, H., Newton, G. L., Lacy, R. C., & Kozánek, M. (2015). The use of fly larvae for organic waste treatment. *Waste Management*, 35, 68–80. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.09.026>

Da Silva, G. D. P., & 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>

DBO Ingeniería Ltda. (2025). *Informe del análisis de demanda química de oxígeno del frass líquido* [Informe no publicado] DBO Ingeniería Ltda.

- Devic, E., Caruso, D., Subamia, I. W., Talamond, P., & Baras, E. (2013). *Technical handbook of domestication and production of Diptera Black Soldier Fly (BSF) *Hermetia illucens*, *Stratiomyidae**. IPB Press. [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers17-11/010063336.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers17-11/010063336.pdf)
- Diener, S., Zurbrügg, C., & Tockner, K. (2009). Conversion of organic material by black soldier fly larvae: Establishing optimal feeding rates. *Waste Management & Research*, 27(6), 603–610. <https://doi.org/10.1177/0734242X09103838>
- Edea, C., Tesfaye, E., Yirgu, T., & Alewi, M. (2022). Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) larvae as a sustainable source of protein in poultry feeding: A review. *Ethiopian Journal of Agricultural Sciences*, 32(1), 89–104. <https://www.ajol.info/index.php/ejas/article/view/222233>
- Gobbi, F. P. (2012). *Biología reproductiva y caracterización morfológica de los estadios larvarios de *Hermetia illucens* (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae). Bases para su producción masiva en Europa* [Tesis doctoral, Universidad de Alicante]. Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante. <http://hdl.handle.net/10045/28345>
- Green, T. (2023). A biochemical analysis of Black Soldier fly (*Hermetia illucens*) larval frass plant growth promoting activity. bioRxiv. <https://doi.org/10.1101/2023.01.06.523026>
- Hernández Piedrahita, V. (2015). *Evaluación técnica, económica y ambiental del aprovechamiento de residuos lignocelulósicos para biofertilizantes*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/55660>
- Hernández-Trejo, D. A., Aquino, E., Islas-Pelcastre, M., Saucedo-García, M., Madariaga-Navarrete, A., & Pacheco-Trejo, J. (2024). Aprovechamiento potencial de la mosca

soldado negra *Hermetia illucens* L. para la bioconversión de residuos orgánicos y su uso en la agricultura. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*, 10(19), 7-10.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2022). Norma Técnica Colombia (NTC 5167:2022). *Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo* (3.ª actualización.) [Norma técnica]. <https://tienda.icontec.org/gp-ntc-productos-para-la-industria-agricola-productos-organicos-usados-como-abonos-o-fertilizantes-y-enmiendas-o-acondicionadores-de-suelo-ntc5167-2022.html>

Kim, W. T., Bae, S. W., Park, H. C., Park, K. H., Lee, S. B., Choi, Y. C., ... & Koh, Y. H. (2010). The larval age and mouth morphology of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *International Journal of Industrial Entomology*, 21(2), 185-187. [http://ocean.kisti.re.kr/downfile/volume/ksss/E1IEAM/2010/v21n2/E1IEAM\\_2010\\_v21n2\\_185.pdf](http://ocean.kisti.re.kr/downfile/volume/ksss/E1IEAM/2010/v21n2/E1IEAM_2010_v21n2_185.pdf)

Krishna, V. V., & Mkondiwa, M. (2023). Economy of crop residue management. *Annual Review of Resource Economics*, 15, 19–39. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-101422-090019>

Kumar, S., Negi, S., Mandpe, A., Singh, R. V., & Hussain, A. (2018). Rapid composting techniques in Indian context and utilization of black soldier fly for enhanced decomposition of biodegradable wastes-A comprehensive review. *Journal of Environmental Management*, 227, 189-199. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.096>

- Laboratorio Doctor Calderón Asistencia Técnica Agrícola Ltda. (2025). *Informe de análisis fisicoquímico del frass sólido y líquido* [Informe no publicado]. Laboratorio Doctor Calderón Asistencia Técnica Agrícola Ltda.
- Lomonaco, G., Franco, A., De Smet, J., Scieuzo, C., Salvia, R. y Falabella, P. (2024). Excrementos larvarios de *Hermetia illucens* como fertilizante orgánico: composición y efectos beneficiosos en diferentes cultivos. *Insectos*, 15(4), 293.  
<https://doi.org/10.3390/insects15040293>
- Lopes, I.G., Lalander, C., Vidotti, R.M., Vinnerås, B., (2020). Using *Hermetia illucens* larvae to process biowaste from aquaculture production. *Journal of Cleaner. Production*. 251, 119753. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119753>
- López Bejarano, J. M. (2019, 23 de Julio). *Más de 90% del banano que se produce en Colombia es de exportación*. La República. <https://www.agronegocios.co/agricultura/mas-de-90-del-banano-local-es-de-exportacion-2887702#:~:text=%E2%80%9CPor%20ejemplo%2C%20en%20Colombia%20estamos,Europa%20hasta%20de%2015%20kilos%E2%80%9D>.
- Meneguz, M., Schiavone, A., Gai, F., Dama, A., Lussiana, C., Renna, M., Gasco, L., (2018). Effect of rearing substrate on growth performance, waste reduction efficiency and chemical composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 98 (15), 5776–5784. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9127>
- Mertenat, A., Diener, S., & Zurbrügg, C. (2019). Black Soldier Fly biowaste treatment – Assessment of global warming potential. *Waste Management*, 84, 173–181.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.11.040>

- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020, diciembre). *Cadena de banano*. Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales.  
<https://sioc.minagricultura.gov.co/Banano/Documentos/2020-12-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Resolución 0631 de 2015 (17 de marzo)*. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.  
[https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/resolucion\\_0631\\_2015.pdf](https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/resolucion_0631_2015.pdf)
- Pakpahan, A., & Esni, J. (2020). Black soldier fly liquid biofertilizer in Bunga Mayang sugarcane plantation: From experiment to policy implications. *MOJES: Malaysian Online Journal of Educational Sciences*, 5(2), Article 00180.  
<https://doi.org/10.15406/mojes.2020.05.00180>
- Pang, W., Hou, D., Chen, J., Nowar, E. E., Li, Z., Hu, R., Tomberlin, J. K., Yu, Z., Li, Q., & Wang, S. (2020, abril 15). Reducing greenhouse gas emissions and enhancing carbon and nitrogen conversion in food wastes by the black soldier fly. *Journal of Environmental Management*, 260. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110066>
- R Core Team. (2024). *R: A language and environment for statistical computing* (Version 4.5.0) [Computer software]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- Rémy, S., Kaboneka, S., Bakundukize, N., Nibashikire, C., Bukobero, L., Niyonkuru, D., Ntakarutimana, I., Barantandikiye, F., Nsabumukiza, A., Barisesa, M., Niyonzima, A., & Jamubandi, F. (2021). Experimental study and comparative effects of bean (*Phaseolus*

- vulgaris L.*) crop residues and effective microorganisms (EM) on the fertilizer value of coffee pulp compost. *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering*, 7, 45–56. <https://doi.org/10.31695/IJASRE.2021.34121>
- Romero-Sáez, M. (2022). Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular. *TecnoLógicas*, 25(54). Artículo editorial. <https://doi.org/10.22430/22565337.2505>
- Ruslan, R., Ismail, H. A., & Tay, S. Y. (2024). Bioconversion of agro-wastes by black soldier fly larvae. *Advanced and Sustainable Technologies*, 3 (Special Issue), 57–62. <https://doi.org/10.58915/aset.v3i.583>
- Sakiroh, S., Sasmita, K. D., Firdaus, N. K., Rokhmah, D. N., Pranowo, D., & Saefudin, S. (2023). The effectiveness of liquid biofertilizer from waste bioconversion using black soldier fly larvae on the growth of Arabica coffee seedlings. *E3S Web of Conferences*, 373, 04022. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337304022>
- Sánchez, E., Rojas, P., & Gómez, L. (2022). Frass de *Hermetia illucens* como fertilizante orgánico: Propiedades y aplicaciones agronómicas. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22, 937–943. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00703-w>
- Sarkar, S., Skalicky, M., Hossain, A., Brestic, M., Saha, S., Garai, S., Ray, K., & Brahmachari, K. (2020). Crop residue management for improving input use efficiency and agricultural sustainability. *Sustainability*, 12(23), 9808. <https://doi.org/10.3390/su12239808>
- Sileshi, G. W., Barrios, E., Lehmann, J., & Tubiello, F. N. (2023). Organic Matter Database (OMD): Consolidating global residue data from agriculture, fisheries, forestry and related industries. *Earth System Science Data*. 17(2), 369–391. <https://doi.org/10.5194/essd-2023-288>

- Sivanantharaja, A., & Gnanaswaran, R. (2018). Biology of the black soldier Fly, *Hermetia illucens* (Linnaeus) (Diptera: Stratiomyidae) in Jaffna, Sri Lanka. *International Journal of Entomology Research*, 3(6), 18–22.  
<https://www.entomologyjournals.com/assets/archives/2018/vol3issue6/3-5-29-236.pdf>
- Sopha, G. A., Murtiningsih, R., Cartika, I., Hamdani, K. K., Handayani, T., Lestari, I. P., Haryati, Y., Indrasti, R., Marpaung, A. E., Gunadi, N., Amisnaipa, A., Priadi, D., Adi, E. B. M., Rawung, J. B. M., Tan, S. S., Surono, S. & Iskandar, D. (2025). Liquid Organic Fertilizer Derived from Black Soldier Fly Frass Improve Yield and Quality of Tropical Vegetables, Shallot, and Red-Hot Chili Peppers. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 12(2), 479–490. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2024.373373.797>
- Tomberlin, J. K., Adler, P. H., & Myers, H. M. (2009). Development of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) in relation to temperature. *Environmental Entomology*, 38(3), 930–934. <https://doi.org/10.1603/022.038.0342>
- Ucu, J., Lulu, F., Putra, R., & Permana, A. (2021). Ovitrap preference in the black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 24, 562-570. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2021.562.570>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2023, noviembre 29). *La UPRA adelanta la zonificación del cultivo de frijol en Colombia*. <https://www.upra.gov.co/sala-de-prensa/la-upra-adelanta-la-zonificacion-del-cultivo-de-frijol-en-colombia>
- UTM Geo Map. (2025). *UTM Geo Map* (versión 4.2.96) [Aplicación móvil]. Google Play Store.  
<https://play.google.com/store/apps/details?id=info.yogantara.utmgeomap>

## Apéndices

### Apéndice A

#### *Conteo y puesta de pre-pupas en viruta de coco*



*Nota.* El proyecto se inicia con 610 pre-pupas para la obtención de la mosca soldado negra.

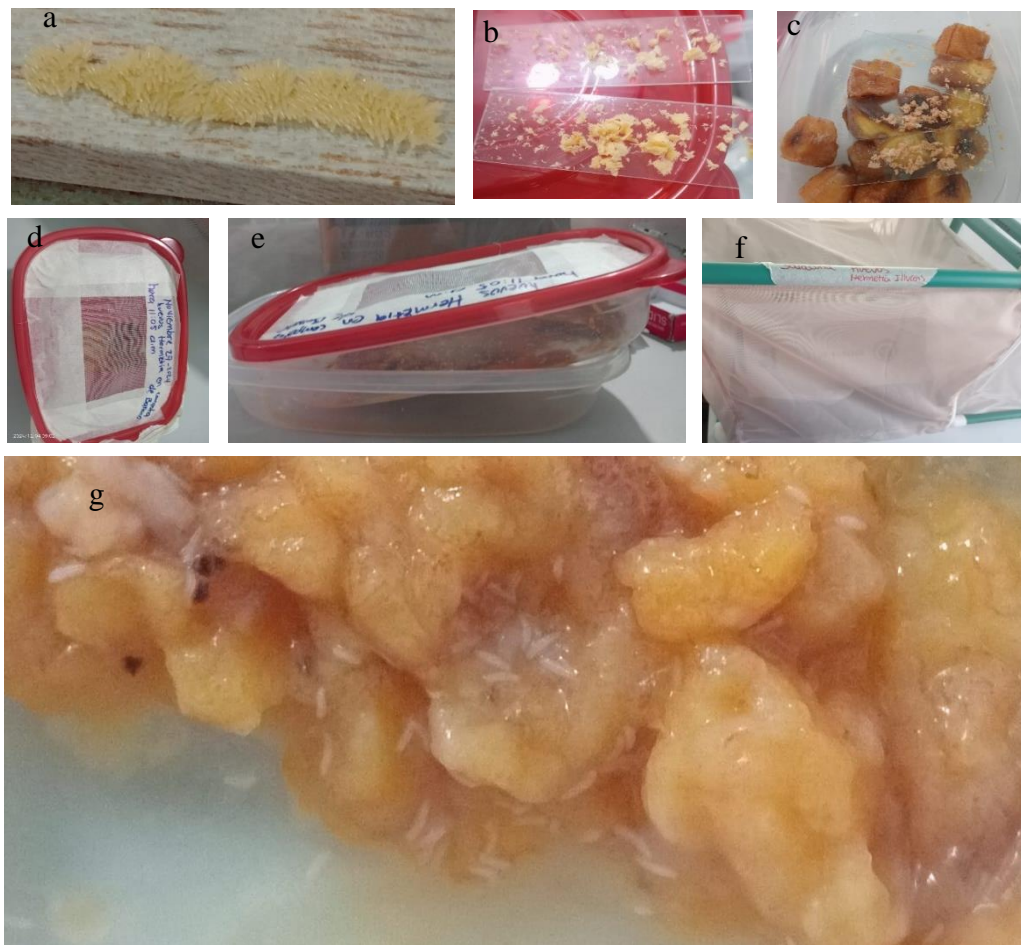
La imagen (a) conteo de pre-pupas. (b) pre-pupas puestas en viruta de coco. (c) recipiente con las pre-pupas. (d) toldillo donde se colocaron las pre-pupas para la emergencia de las moscas.

*Fuente.* Autor (2025)



## Apéndice C

### *Huevos y recipiente para la eclosión de los huevos de mosca soldado negra*



*Nota.* La imagen (a) huevos de mosca soldado negra en las trampas para huevos. (b) huevos en porta objetos. (c) Banano picado donde se coloca el portaobjetos con los huevos. (d) tapa con abertura y maya anti trips. (e) recipiente con la inclinación para el drenaje de líquido. (f) toldillo con caja de cartón en el que se coloca el recipiente para la eclosión de los huevos. (g) larvas de primer instar en banano, estas se observan como pequeños granos de arroz de color blanco.

*Fuente.* Autor (2025)

## Apéndice D

### *Picado y triturado de las cáscaras verdes de frijol, el banano y triturador TR200*



*Nota.* La imagen (a) cáscaras verdes de frijol. (b) picado de las cáscaras. (c) cáscaras de frijol picadas y trituradas. (d) bananos muy maduros. (e) bananos triturados. (f) triturador TR200 con lo que se trituro las lascaras y los bananos. *Fuente.* Autor (2025)

## Apéndice E

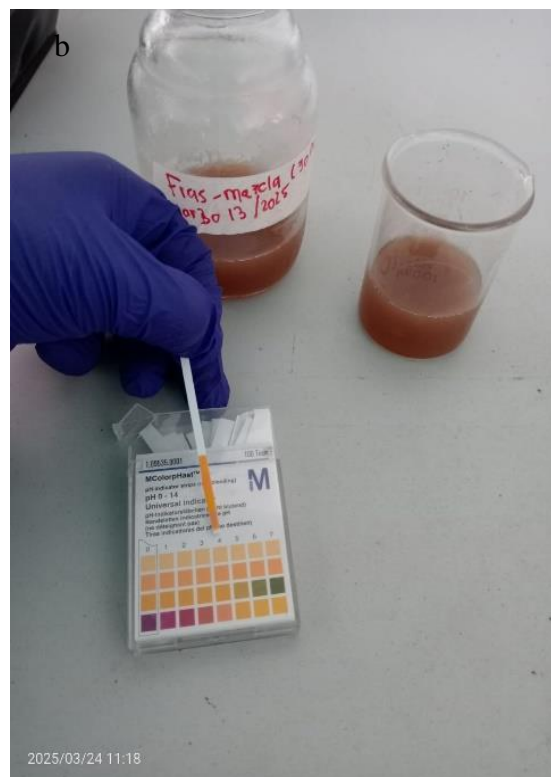
### Montaje de los tratamientos para la tasa de índice de reducción de residuos



*Nota.* La imagen (a) alistamiento de las canastillas. (b) montaje realizado. (c) sustrato para inocular con larvas de MSN. (d) larvas alimentándose del sustrato. (e) larvas colectadas al final del proceso de biotransformación de los residuos. *Fuente.* Autor (2025)

## Apéndice F

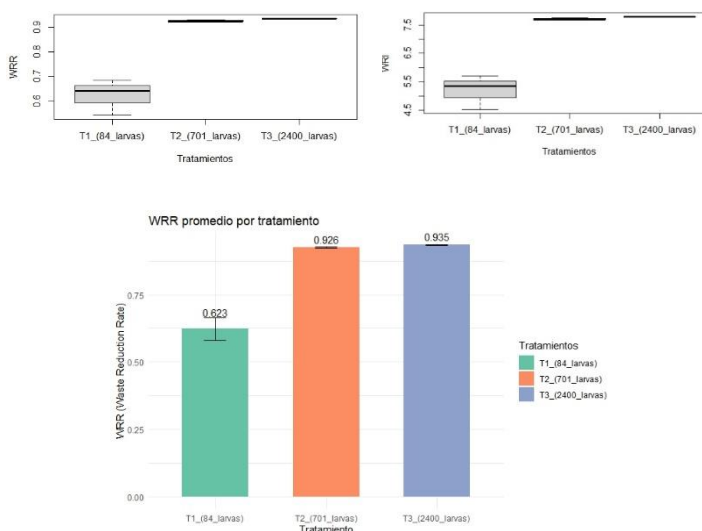
### Frass sólido y líquido



*Nota.* la imagen (a) frass sólido. (b) frass líquido. *Fuente.* Autor (2025)

## Apéndice G

### Resultados ANOVA, tasa WRR he índice WRI



```
> anova1=aov(WRR~Tratamientos)
> summary(anova1)
              Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
Tratamientos  2  0.18873  0.09436   52.88 0.000155 ***
Residuals    6  0.01071  0.00178
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> TukeyHSD(anova1)
Tukey multiple comparisons of means
 95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = WRR ~ Tratamientos)

$Tratamientos
              diff            lwr            upr            p adj
T2_(701_larvas)-T1_(84_larvas)  0.302620538  0.19679147  0.4084496  0.0002985
T3_(2400_larvas)-T1_(84_larvas)  0.311555179  0.20572611  0.4173843  0.0002536
T3_(2400_larvas)-T2_(701_larvas)  0.008934641 -0.09689443  0.1147637  0.9639056
```

*Nota.* El análisis estadístico se realizó en RStudio. Se empleó ANOVA de un factor seguido de la prueba de Tukey para comparaciones múltiples. En la parte superior de la figura se muestra dos diagramas de caja que compara los tratamientos, tasa WRR he índice WRI de reducción de residuos; en el medio de la figura se observa un diagrama de barras que indica el índice promedio por tratamiento, y al final de la imagen están los resultados del ANOVA y la prueba de Tukey HSD. *Fuente.* (R Core Team, 2024).

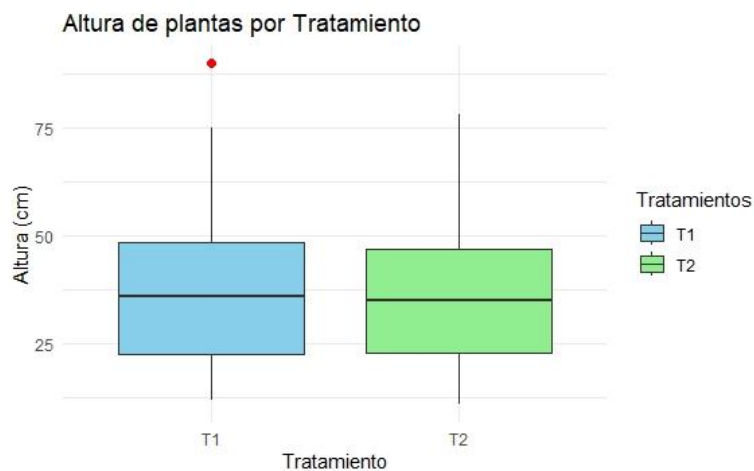
## Apéndice H

### Resultados ANOVA altura planta

```

Tratamientos Media_Altura SD_Altura      n
<chr>          <dbl>      <dbl> <int>
1 T1           38.1       19.4   27
2 T2           35.9       16.6   27
> |

```



```

> anova1=aov(Altura~Tratamientos)|
> summary(anova1)
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamientos  1     67    66.7   0.204  0.653
Residuals   52 16999   326.9

```

*Nota:* El análisis estadístico se realizó en RStudio y se empleó ANOVA de un factor (R Core Team, 2024). En la parte alta de la figura se muestran la media de los tratamientos en la parte media está el diagrama de caja, y al final se muestra el resultado del ANOVA. *Fuente.* (R Core Team, 2024).

## Apéndice I

Resultados ANOVA, ramas por planta

```

Tratamientos Media_Ramas SD_Ramas      n
<chr>          <dbl>      <dbl> <int>
1 T1           15.6        8.53    27
2 T2           14.1        6.04    27
> |

```



```

> anova1=aov(Ramas~Tratamientos)
> summary(anova1)
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamientos  1   28.2   28.17  0.516  0.476
Residuals    52 2839.3   54.60

```

*Nota:* El análisis estadístico se realizó en RStudio y se empleó ANOVA de un factor (R Core Team, 2024). En la parte alta de la figura se muestran la media de los tratamientos en la parte media está el diagrama de caja, y al final se muestra el resultado del ANOVA. *Fuente.* (R Core Team, 2024).

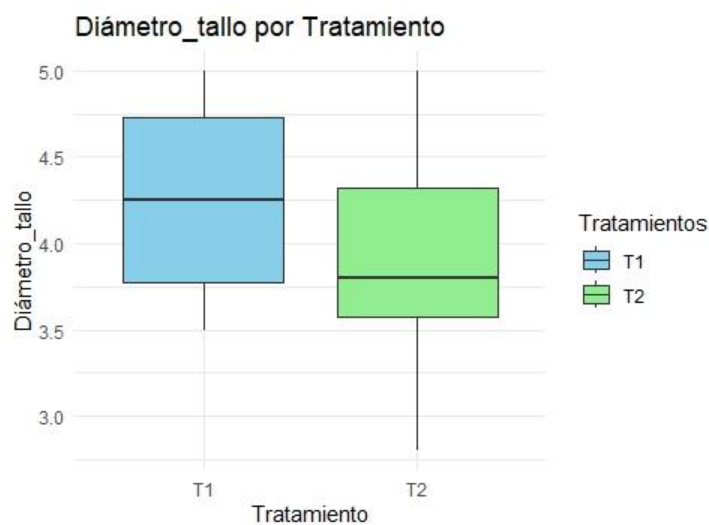
## Apéndice J

### Resultados ANOVA, diámetro del tallo

```

Tratamientos Media_Diámetro_tallo SD_Diámetro_tallo n
<chr> <dbl> <dbl> <int>
1 T1 4.25 0.609 6
2 T2 3.9 0.769 6
> |

```



```

> anova1=aov(Diámetro_tallo~Tratamientos)
> summary(anova1)
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamientos  1  0.368  0.3675   0.763  0.403
Residuals    10  4.815  0.4815

```

*Nota:* El análisis estadístico se realizó en RStudio y se empleó ANOVA de un factor (R Core Team, 2024). En la parte alta de la figura se muestran la media de los tratamientos en la parte media está el diagrama de caja, y al final se muestra el resultado del ANOVA. *Fuente.* (R Core Team, 2024).

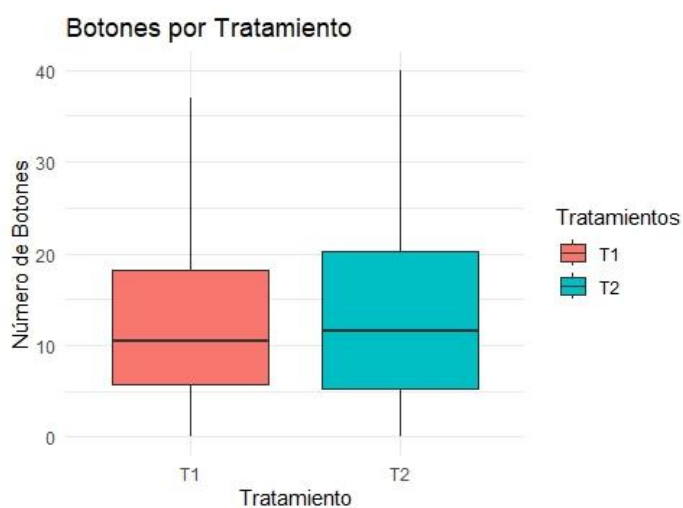
## Apéndice K

### Resultados ANOVA, botón floral

```

Tratamientos Media_Botones SD_Botones      n
<chr>          <dbl>         <dbl> <int>
1 T2           13.1           9.95    18
2 T1           13.1           9.64    18
> |

```



```

> anova1=aov(Botones~Tratamientos)
> summary(anova1)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamientos  1      0    0.03      0  0.987
Residuals    34  3263   95.96
> |

```

*Nota:* El análisis estadístico se realizó en RStudio y se empleó ANOVA de un factor (R Core Team, 2024). En la parte alta de la figura se muestran la media de los tratamientos en la parte media está el diagrama de caja, y al final se muestra el resultado del ANOVA. *Fuente.* (R Core Team, 2024).

