



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ÁLAMO TEMAPACHE

TITULACIÓN

TESIS PROFESIONAL

Bioconversión de residuos orgánicos mediante el uso de la mosca soldado negra
(*Hermetia illucens*)

PARA OBTENER EL TITULO DE
Ingeniero(a) en Industrias Alimentarias

PRESENTA

Maria Del Consuelo De La Cruz Vicencio

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Leandro Chaires Martínez

CO-DIRECTOR DE TESIS

Dra. Yeny Lizzet Couoh Uicab

Xoyotitla, Álamo Temapache, Ver.

Enero 2026

AGRADECIMIENTOS

A lo largo de este proceso, hubo días en los que el avance parecía lento y las metas lejanas. Sin embargo, aprendí que la constancia, incluso en silencio, también deja huella. Cada pequeño paso, cada error corregido, cada esfuerzo sostenido fue clave para llegar hasta aquí. Agradezco a mis asesores, Dra. Yeny Lizzet Couoh Uicab y Dr. Leandro Chaires Martínez, por su compromiso académico, por guiarme con profesionalismo y exigencia, y por brindarme la oportunidad de crecer no solo como estudiante, sino también como persona. M.B Alejandro Cruz Hernández por su apoyo y guía académico durante este proceso.

A Dios, por haber estado conmigo en cada paso, en cada silencio y en cada desvelo, por darme fuerza cuando me sentía débil, claridad cuando todo parecía confuso, y por recordarme que nunca estoy sola cuando camino con fe.

A mi familia, quienes han sido parte esencial de este camino, gracias por su compañía constante, por su apoyo sincero y por recordarme, incluso en los momentos difíciles, que siempre tengo un hogar en ustedes. Pero especialmente a mis padres, con todo el amor y gratitud que puedo expresar, gracias por ser el cimiento de mi vida, por enseñarme con su ejemplo lo que significan la responsabilidad, la honestidad y el amor verdadero. Mamá, tu entrega y tu fortaleza han sido la guía silenciosa que me sostuvo; papá, aunque no estés físicamente, tu presencia vive en mí, llevo tus enseñanzas en lo más profundo de mi ser y cada logro es también un homenaje a tu memoria. A Francisco, por su amor paciente, su comprensión y apoyo, gracias por estar para mí. Gracias por estar presentes con su amor, sus palabras y su confianza, cada uno ha aportado un pedacito de sí para que yo pudiera alcanzar esta meta, y eso lo llevo en el alma con gratitud infinita.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis principalmente a mis padres, durante este proceso, gracias por su apoyo incondicional, y por cada palabra de motivación. A mis hermanos, y mi pareja por estar siempre para mí. Esta tesis representa mucho más que el cumplimiento de un objetivo académico; es el reflejo de un camino lleno de desafíos, decisiones, aprendizajes y momentos de incertidumbre que moldearon no solo el resultado, sino también a la persona que hoy soy.

Resumen

La mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) es una alternativa en la bioconversión de residuos, ya que no requieren un tratamiento previo y se alimentan de una variedad de residuos.

Por este motivo se evaluó el crecimiento y desarrollo larval bajo 4 dietas a partir de: residuo de comida (RC), residuo de mango (RM), residuo de lactosuero (RL) y alimento inicio de pollo (PLS).

Los resultados muestran que las larvas alimentadas con RC obtuvieron los valores más altos en biomasa registrando 0.47 g/larva a los seis días, talla con 24.7 mm a los 18 días, contenido de nitrógeno total con (0.613%) y proteína total (3.87%). RL destaco en la humedad relativa con (90.00 %), conductividad eléctrica se obtuvo (169%) y por fósforo asimilable (4.03%). Mientras que PLS fue superior en cenizas con (7.26%), la materia orgánica se mantuvo elevada en (68.53 %). El pH vario entre 3.92 (RL) - 5.96 (PLS). Con estos hallazgos se confirma que *H. illucens* es eficiente en la bioconversión de residuos, obteniendo mejor resultado en residuos de comida (RC).

Índice

Resumen.....	4
Capítulo I. Generalidades del proyecto.....	8
1.1 Introducción.....	8
1.2 Problemática	9
1.3 Objetivos.....	10
1.4 Justificación	11
Capítulo II. Marco teórico	12
2.1. La mosca soldado negra (<i>Hermetia illucens</i>) y distribución geográfica	12
2.2 Morfología y nombre común	13
2.3 Impacto ambiental de las larvas <i>H. illucens</i>	13
2.4 Ciclo de vida	13
2.5 Requerimientos Ambientales	14
2.6 Importancia Ecológica y Biológica.....	15
2.7 Bioconversión	15
2.8 Aplicaciones Agrícolas	15
2.9 Sostenibilidad y Gestión Responsable de la MSN.....	16
2.10 Evolución histórica de los residuos orgánicos	17
2.11 Residuos orgánicos	18
2.12 Usos de <i>Hermetia illucens</i> para sostenibilidad y eficiencia agrícola.....	19
2.13 Antecedentes.....	21
Capítulo IV Resultados	39
Bibliografía	50

Índice de Figuras

Figura 2. Etapas de la larva <i>H. illucens</i> , en donde su ciclo de vida está conformado por las etapas huevo, larva, muda, pre-pupa, pupa y adulto.....	14
Figura 3. Talla de larvas (en cm)	40
Figura 4. Peso de larvas (en gramos).....	40
Figura 5. Curva de calibración.....	49
Figura 6. Talla.....	67
Figura 7. Selección	67
Figura 8. Peso	67
Figura 9. Pupa.....	67
Figura 10. Malla sombra.....	67
Figura 11. Contenedores.....	67

Índice de Tablas

Tabla 1. Taxonomía	12
Tabla 2. Precauciones y Limitaciones en el Uso de Frass	16
Tabla 3. Evolución de los residuos orgánicos	17
Tabla 4. Usos de la larva <i>H. illucens</i>	19
Tabla 5. Criterios de pH.....	26
Tabla 6. Criterios de materia orgánica	29
Tabla 7. Criterios de Nitrógeno total	34
Tabla 8. Concentración de fósforo.....	38
Tabla 9. Criterios de fósforo asimilable.....	38
Tabla 10. <i>Datos para el Análisis de varianza (ANOVA).</i>	41
Tabla 11. ANOVA.....	41
Tabla 12. Prueba de hipótesis	41
Tabla 14. Harina (Control y Frass)	43
Tabla 15. Resultados del análisis fisicoquímico del frass de los tratamientos aplicados al Control. CC: Comida; CL: Lactosuero; CM: Mango; CAIP Alimento Inicial de pollo.	45
Tabla 16 Resultados del análisis fisicoquímico de los diferentes tratamientos aplicados al Frass....	49
Tabla 18. Peso de las larvas <i>h. illucens</i> de los días 0, 2, 6, 10,14 y 18 días	61
Tabla 19. Medidas de las larvas <i>h. illucens</i> de los días 0, 2, 6, 10,14 y 18 días	62

Capítulo I. Generalidades del proyecto

1.1 Introducción

La mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) destaca por su habilidad para convertir materia orgánica en biomasa nutritiva en proteínas y lípidos (Bermúdez-Serrano & Sánchez Velázquez, 2023), una ventaja principal es su capacidad para descomponer desechos orgánicos sin necesidad de tratamiento previo (Gautam, Tiwari, Raj Pokhrel, Tomberlin, & Khanal, 2025), no representa un peligro para otros seres vivos ni se siente atraído por los humanos o por los alimentos no procesados (Lu, y otros, 2022), ya que la descomposición altera sus propiedades, liberando gases y lixiviados, la liberación de contaminantes en los sitios de disposición final genera emisiones de gases, contaminación del suelo, agua y aire, así como la proliferación de vectores (Gallardo, 2013).

Se plantea reciclar y valorizar residuos orgánicos con (Mango, cocina, fruta y lactosuero) usando la cría de larvas, ya que diversos estudios han demostrado que el crecimiento y desarrollo de las larvas dependen de la calidad y cantidad de nutrientes presentes en el sustrato, de modo que una mayor disponibilidad favorece el aumento de peso, acelera el ciclo de desarrollo y mejora la eficiencia en la conversión a biomasa (Feng, y otros, 2025).

Las larvas de *H. illucens* son eficaces en la bioconversión de residuos y en la generación de biomasa útil. No obstante, su implementación enfrenta desafíos para abordar diferentes temas desde distintas perspectivas como la reducción de la huella de carbono, la mejora de la calidad del suelo, o su impacto social y económico, aunque su potencial para promover sociedades sostenibles sigue siendo relevante (Suarez Rivadeneira, 2025), por estas razones, la MSN es una alternativa innovadora para la valorización de residuos orgánicos y la implementación de sistemas agroindustriales (Purkayastha, D. & Sarkar, S., 2021).

1.2 Problemática

Con el objetivo de optimizar el reciclaje y mejorar la gestión de residuos, se propone emplear la Mosca Soldado Negra (*Hermetia illucens*) como agente de bioconversión (Feng, y otros, 2025); (Mašková, y otros, 2025). Sin embargo, la aplicación de esta técnica enfrenta desafíos importantes debido a la variabilidad en el desarrollo y crecimiento de las larvas, la cual depende directamente de la calidad y cantidad de los residuos orgánicos utilizados como alimento (Gautam, Tiwari, Raj Pokhrel, Tomberlin, & Khanal, 2025), el desarrollo larval, la eficiencia de producción y la conversión de residuos en biomasa están directamente relacionadas con la composición nutricional de la dieta (Fitriana, Budiarti Laconi, Apri Astuti, & Jayanegara, 2022), cuando es inadecuada puede resultar en períodos de desarrollo prolongados, un crecimiento limitado y una menor acumulación de biomasa (Suarez Rivadeneira, 2025), una mayor cantidad de residuos facilita la transformación de materia orgánica (Tirtawijaya, Lee, Imran Bashir, Lee, & Choi, 2024). Por otro lado, el tratamiento de *H. illucens* permite una gestión más efectiva de los residuos, y asu vez maximiza la producción (Naser El Deen, y otros, 2023).

1.3 Objetivos

Objetivo General

- Bioconvertir residuos orgánicos de interés agroindustrial utilizando *Hermetia illucens* y caracterizar fisicoquímicamente los sustratos empleados y el frass obtenido.

Objetivo Específicos:

- Seleccionar y acondicionar las materias primas para la elaboración de las diferentes dietas experimentales.
- Implementar el cultivo de *H. illucens* a escala laboratorio con las diferentes dietas establecidas.
- Evaluar el efecto de las dietas sobre el crecimiento y desarrollo larval de *H. illucens*.
- Analizar fisicoquímicamente el frass generado de la bioconversión de los residuos orgánicos.

1.4 Justificación

Es importante buscar estrategias sostenibles ya que hay millones de toneladas de residuos por año (Feng, y otros, 2025), la bioconversión de Mosca Soldado Negra, una alternativa capaz de transformar desechos en biomasa con valor nutritivo (Fitriana, Budiarti Laconi, Apri Astuti, & Jayanegara, 2022); (Tirtawijaya, Lee, Imran Bashir , Lee, & Choi, 2024), en este proyecto se evaluaron 4 tratamientos con diferentes dietas para las condiciones de crecimiento (Mašková, y otros, 2025); (Gautam, Tiwari, Raj Pokhrel, Tomberlin, & Khanal, 2025), la investigación permitirá mejorar la producción, reducir el impacto ambiental y demostrar una respuesta efectiva (Naser El Deen , y otros, 2023).

Capítulo II. Marco teórico

2.1. La mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) y distribución geográfica

Es un insecto saprófago cuya presencia está asociada con la descomposición de materia orgánica en diversos ecosistemas, su habilidad la convierte en una especie de interés ecológico como aplicado (Zandi-Sohani & Tomberlin, 2024).

Proviene del continente americano, generalmente de regiones tropicales y subtropicales de América Central y del Sur, se ha extendido su distribución hasta abarcar actualmente una amplia franja entre 40° S y 45° N (Hauser & Woodley, 2015), para la década de 1960, ya se había dispersado hacia muchas de sus áreas actuales, facilitada por transporte marítimo y actividades humanas, volviéndose prácticamente cosmopolita (Hauser & Woodley, 2015).

La familia Stratiomyidae es ampliamente diversa, con más de 2 800 especies descritas en todo el mundo, distribuidas en alrededor de 375 géneros (Woodley, 2001). *H. illucens*, dentro de la subfamilia Hermetiinae, es la más destacada por sus aplicaciones (Zandi-Sohani & Tomberlin, 2024).

Tabla 1. Taxonomía

Categoría	Clasificación
Dominio	Eukaryota
Reino	Animalia
Filo	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Diptera
Suborden	Brachycera
Infraorden	Stratiomyomorpha
Familia	Stratiomyidae
Subfamilia	Hermetiinae
Género	Hermetia
Especie	<i>Hermetia illucens</i> (Linnaeus, 1758)

2.2 Morfología y nombre común

El nombre común “mosca soldado negra” surge de su apariencia robusta y uniforme oscuro que evoca un traje militar, su cuerpo alargado presenta una coloración negra con reflejos metálicos (azules o verdosos) en el tórax y segmentos abdominales con “ventanas” translúcidas que imitan una cintura fina similar a la de las avispas. Además, tiene antenas largas y patas con extremos blancos o blanquecinos (Diclaro II & Kaufman, 2009).

2.3 Impacto ambiental de las larvas *H. illucens*

Las larvas de *H. illucens* pueden consumir (desechos vegetales y animales), convirtiéndose en biomasa proteica (Zandi-Sohani & Tomberlin, 2024), ya que se ha puesto en práctica sistemas de manejo de estiércol con larvas en granjas, se logra disminuir el volumen y se obtiene biomasa utilizable para alimento en animales (Diclaro II & Kaufman, 2009).

2.4 Ciclo de vida

Las etapas de la mosca soldado negra, las hembras depositan masas de hasta ~500 huevos (*A-B*) en grietas cercanas a materia en descomposición, como estiércol o sustrato rico en nutrientes; los huevos eclosionan en larvas tras aproximadamente 4–5 días bajo condiciones óptimas (Jeffery, Sheppard, Craig Sheppard, & Joyce, 2002); Las larvas (*C-D*) nacen con ~1 mm, crecen hasta ~27 mm en ~14–17 días tras pasar por cinco instares, alimentándose vorazmente de materia orgánica para acumular grasa y proteína (Belperio, y otros, 2024). La larva libera su viejo exoesqueleto (*Figura E*), que se vuelve rígido y ya no le sirve. Luego, una nueva capa más grande y flexible se forma debajo de la vieja, permitiendo que la larva continúe creciendo. Al final del desarrollo larval, la larva ingresa al estado prepupa (*F*): reduce la alimentación, oscurece su cutícula y migra fuera del sustrato para encontrar refugio donde pupará (*G*), mostrando además mov. sinusoidales y tonicidad inmóvil al estrés (Jeffery, Sheppard, Craig Sheppard, & Joyce, 2002). En su etapa adulta (*H*) el insecto es negro y alargado, con tres segmentos (cabeza, tórax y vientre) y ronda los 10-25 mm de longitud (Van Huis & Tomberlin, 2017). Tiene alas de color marrón y tentáculos que se proyectan desde la cabeza. En el abdomen cuenta con cinco segmentos con manchas blancas. Los machos son más largos que las hembras, pero tienen alas y

genitales finales más pequeños. Las hembras tienen longitudes corporales entre 12 y 20 mm y alas entre 8 y 14,8 mm ((Lu, y otros, 2022), no muerde ni se alimenta activamente (aunque consumen agua o azúcares), vive 7 a 9 días en condiciones de laboratorio; su función principal es la reproducción (Jeffery, Sheppard, Craig Sheppard, & Joyce, 2002).

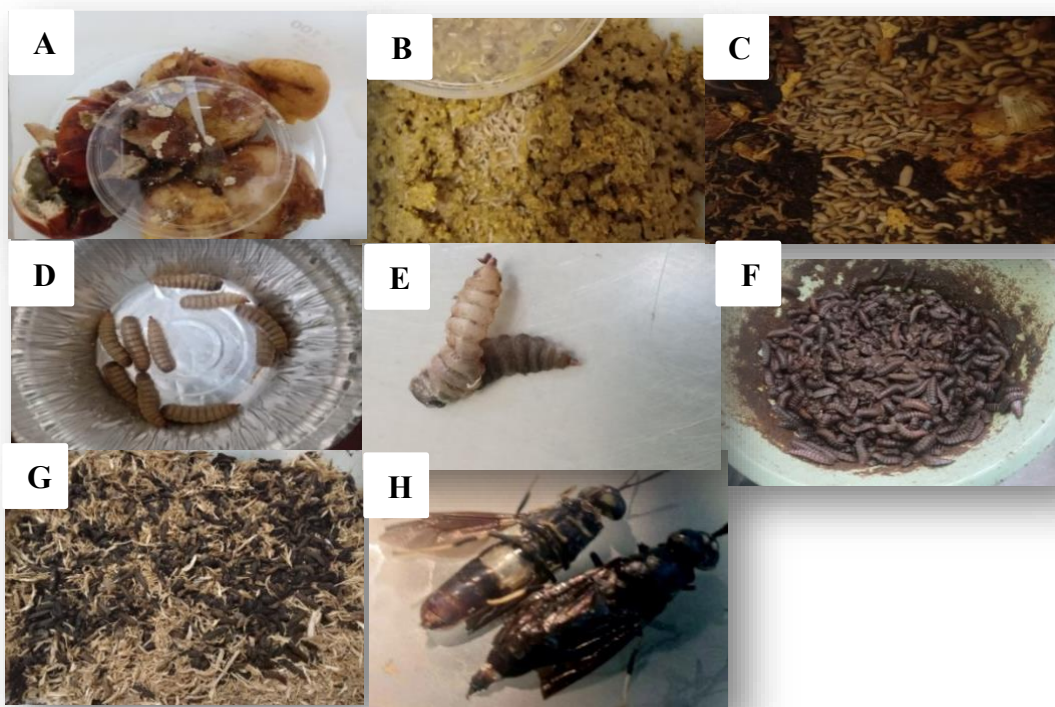


Figura 1. Etapas de la larva *h. illucens*, en donde su ciclo de vida está conformado por las etapas huevo, larva, muda, pre-pupa, pupa y adulto.

2.5 Requerimientos Ambientales

La especie *H. illucens* es versátil y se desarrolla en temperaturas optimas entre 27 °C y 35 °C, con humedad relativa disminuye 70 % al 75 %, condiciones que favorecen el crecimiento larval y el desarrollo eficiente (Abduh, Ayu Prawitasari, & Aulia Fitriana, 2022), por debajo de 21 °C, el consumo de alimento disminuye considerablemente causando un impacto negativo en el proceso (Cattaneo, y otros, 2025), en etapas larvales y pupales, los límites térmicos oscilan de 37 °C y 44 °C, más allá de los cuales se reduce la viabilidad (Yong Chia, y otros, 2018), aunque estos valores son ideales, *H. illucens* puede sobrevivir

en climas templados mientras disponga de refugios o estructura que modulen la temperatura y humedad.

2.6 Importancia Ecológica y Biológica

Las larvas se desempeñan en la bioconversión, convirtiendo desechos agroindustriales, estiércol y restos de alimentos en biomasa rica y frass aprovechable, este proceso reduce la acumulación de residuos y mitiga las emisiones de gases de efecto invernadero (Chavez, Uchanski, & Tomberlin, 2024). Generando biomasa larval con altos contenidos de proteínas, lípidos, aminoácidos esenciales y minerales, ideal para alimentación animal o humana (Lu, y otros, 2022); también genera el frass subproducto con concentración variable de nutrientes como nitrógeno (5.1 %), fósforo (5.2 %) y potasio (4.5 %) dependiendo de la dieta larval (Lomonaco, y otros, 2024). Otros estudios comparativos resaltan que el frass de *H. illucens* presenta mayores niveles de N, P y K con potencial de germinación superior frente a frass de otras especies (Beesigamukama, Subramanian, & M. Tanga, 2022).

2.7 Bioconversión

Las larvas de MSN consumen residuos transformándolos en biomasa rica en proteínas y lípidos, y en frass, un subproducto rico en nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio (Escobar Montoya, López Juárez, Parra Pacheco, García Trejo, & Aguirre Becerra, 2024), minimiza la contaminación ambiental y se convierte en recursos útiles para la agricultura y ganadería (Jeffery, Sheppard, Craig Sheppard, & Joyce, 2002).

2.8 Aplicaciones Agrícolas

El frass de *H. illucens* no solo aporta nutrientes, también mejora la fisiología de plantas bajo estrés como la sequía, un ejemplo son los cultivos de albahaca, ya que la dosis de frass mejoraron la biomasa, eficiencia fotosintética y estado antioxidante, superando al estiércol bovino (Radzikowska-Kujawska, y otros, 2023), en ensayos con lechuga, el frass elevó la concentración de potasio, hierro y vitamina B₂, mejoro la fotosíntesis, especialmente bajo

estrés hídrico (Sawinska, y otros, 2024). A continuación, la tabla 2 detalla los resultados experimentales que demuestran el impacto positivo del frass de *H. illucens* en la resistencia a la sequía y la absorción de nutrientes en plantas, respaldando su potencial como bioestimulante agrícola.

Tabla 2. Precauciones y Limitaciones en el Uso de Frass

Aspecto	Precaución / Limitación	Efecto potencial	Referencia
Dosis de aplicación	Evitar dosis excesivas de frass	Acumulación de amoníaco, fitotoxicidad	(Heredia Sucari , 2024)
Tipo de cultivo	Ajustar según sensibilidad de la especie	Crecimiento afectado en cultivos sensibles	(López Juárez, y otros, 2024)
Humedad del suelo	Evitar exceso de humedad tras la aplicación	Emisión de olores y lixiviados	(Escobar Montoya, López Juárez, Parra Pacheco, García Trejo, & Aguirre Becerra, 2024)
Almacenamiento del frass	Guardar en condiciones secas y ventiladas	Reducción de calidad del frass, proliferación de hongos	(Escobar Montoya, López Juárez, Parra Pacheco, García Trejo, & Aguirre Becerra, 2024)
Control de plagas	Monitorear presencia de otros insectos o roedores	Contaminación o competencia con larvas de MSN	(Jeffery, Sheppard, Craig Sheppard, & Joyce, 2002)

2.9 Sostenibilidad y Gestión Responsable de la MSN

La sostenibilidad requiere equilibrar lo ambiental, social y económico sin comprometer a generaciones futuras, implica la mejora de los recursos del suelo mediante técnicas como la producción de compost, el humus, el digestato y de biogás (Bernal Neira, 2025). Debido al incremento poblacional y el consumo demanda estrategias que mitiguen el impacto

ambiental, considerando que cerca del 33% de los 2010 millones de toneladas de desechos municipales anuales carece de tratamiento adecuado. (Hernández Hernández, Muñoz Aparicio, & LLamas Hubner, 2023), se requiere programas, normas y políticas que aseguren el bienestar urbano buscando mejoras y soluciones en los residuos (Rodríguez Guerra & Baja Cajas, 2022).

2.10 Evolución histórica de los residuos orgánicos

El manejo de los residuos orgánicos representa un reto para la sociedad (Guerra Hernández, 2024), desde las primeras comunidades agrícolas hasta las ciudades contemporáneas, las prácticas demuestran el nivel de desarrollo tecnológico como la percepción en torno a los desechos (Yassi , Kjellström, Theo de Kok, & Guidotti, 2002), en la siguiente tabla 3 se presenta una síntesis de la evolución en las prácticas clasificadas según su enfoque.

Tabla 3. Evolución de los residuos orgánicos

Prácticas de manejo de residuos	Características / Beneficios	Limitaciones / Problemas	Referencias
Uso de residuos orgánicos para fertilizar la tierra	Cerraban el ciclo de nutrientes de manera natural, mejoraban la fertilidad del suelo	Baja sistematización; malos olores y proliferación de vectores	(Moreno Cárdenas, 2013).
Residuos arrojados al campo en comunidades rurales	Práctica económica y simple; seguía enriqueciendo los suelos	Posible contaminación y proliferación de enfermedades	(Delgado Eraso , Concha Lozada , Vidal Pinilla , & Fernández, 2021).
Aumento de residuos urbanos e industriales	El aprovechamiento de los residuos agroindustriales es una de las mejores alternativas para mitigar la	Problemas sanitarios y ambientales por acumulación	(Rodríguez Guerra & Baca Cajas, Generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), 2022);

	contaminación ambiental		(Grande Tovar & Del Rio Osorio, 2021).
Compostaje y rellenos sanitarios	Gestión más eficiente; reducción de impactos negativos	Emisión de gases de efecto invernadero como metano; contaminación de suelos y agua	(Coronel Sarmiento & Ramón Poma, 2022).
Compostaje, biodigestión y economía circular	Transformación de residuos en recursos útiles; agricultura más limpia y eficiente	Requiere infraestructura, normativas claras y educación ciudadana	(Phillips, 2021)
Uso de larvas para transformar residuos en biomasa y frass	Producción de fertilizantes orgánicos ricos en N, P, K; reducción de fertilizantes químicos; aporte a sostenibilidad	Necesidad de optimización técnica, control de calidad y escalabilidad	(Bermúdez-Serrano & Sánchez Velázquez, 2023); (Peñaloza Acosta, 2024).

Se puede identificar mediante la tabla anterior diversas estrategias para la disposición final, evolucionando hacia modelos activos centrados en los desechos (Bermúdez-Serrano & Sánchez Velázquez, 2023).

2.11 Residuos orgánicos

La descomposición de los residuos orgánicos liberan nutrientes, los cuales sirven para enriquecer, así como mejorar la estructura del suelo, retener el agua, favorecer la aireación y reducir la necesidad de fertilizantes químicos (Vega Leyva, 2025), el control de estos desechos evita la contaminación del medio ambiente, olores desagradables y las emisiones de gases contaminantes (Guevara González, García Contreras, & De Loera Ortega, 1993).

2.12 Usos de *Hermetia illucens* para sostenibilidad y eficiencia agrícola

El frass de la mosca soldado negra en el sector agrícola es importante debido a sus capacidades para la producción de fertilizantes (Calvo López, 2022); (Carvajal Muñoz & Mera Benavides, 2010), el uso en la agricultura tiene su origen en estudios sobre su ecología y fisiología, su descomposición de materia orgánica permite cerrar los ciclos de nutrientes en ecosistemas (Bermúdez-Serrano & Sánchez Velázquez, 2023), durante las últimas décadas la investigación ha permitido optimizar las condiciones para la cría y uso de las larvas en el manejo de residuos y mejora del suelo (Peñaloza Acosta, 2024), en varios países los agricultores han adoptado esta tecnología debido a que representa una estrategia sustentable para la cadena de producción, reducción de costos de insumos y una mayor resiliencia de los sistemas agrícolas ante el cambio climático (López Portas, Caltzontzin Rabell, & Gutiérrez Antonio, 2023).

Se ha realizado el proceso en cultivos como maíz, tomate, albahaca, kale y chile, la selección se basó en su sensibilidad a los nutrientes, mejorando su crecimiento y rendimiento (López Juárez, y otros, 2024); (Guzmán Cruz, Ferruzca Campos, & Guevara González, 2024), en la tabla 4 se presenta los procesos y usos de la larva *H. illucens*.

Tabla 4. Usos de la larva *H. illucens*

Proceso	Descripción basada en estudios con <i>H. illucens</i>	Referencias
Cría y manejo de larvas	Establecimiento de condiciones óptimas de temperatura, humedad y tipo de sustrato alimenticio para maximizar crecimiento, supervivencia y desarrollo de larvas.	(Shumo, y otros, 2019).
Procesamiento de residuos	Uso de distintos residuos orgánicos como sustratos, y cómo estos residuos afectan no solo la eficiencia del consumo por las larvas, sino la composición nutricional de las larvas (proteínas, lípidos).	(Scala, y otros, 2020).
Recolección y	Evaluaciones de la fracción de biomasa de larvas	(Ogello, Outa, Muthoka,

utilización de biomasa	maduras, incluyendo contenido de grasas y proteínas, en función del sustrato y condiciones de cría.	Juma, & Hoinkis, 2025).
Producción de fertilizantes	Uso del <i>frass</i> de larvas de <i>H. illucens</i> como enmienda del suelo: su impacto en nutrición de plantas, estructura del suelo y comparación con fertilizantes minerales.	(Klammsteiner, Turan, Fernández-Delgado Juárez, Oberegger, & Insam, 2020).
Aplicaciones y beneficios	Revisión más amplia de los usos de <i>H. illucens</i> , adaptabilidad, y su rol en la conversión de residuos a biomasa útil, además del uso del <i>frass</i> para mejorar la calidad de suelos, con énfasis nuevo en investigaciones recientes.	(Chavez, Villa Ignacio, Craver, & Bousselot, 2025).

2.13 Antecedentes

(Escobar Montoya, López Juárez, Parra Pacheco, García Trejo, & Aguirre Becerra, 2024) realizaron revisión sobre los pretratamientos aplicados a residuos orgánicos destinados a la alimentación de larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*), sus resultados mostraron que estos procesos mejoran la eficiencia del aprovechamiento de los residuos, incrementando el peso larvario, la supervivencia y la tasa de conversión. Este hallazgo constituye una base importante para comprender cómo el acondicionamiento de los sustratos impacta directamente en el rendimiento productivo de la especie.

(Cabrera Gutierrez & López Gutierrez, 2021) se centró en la bioconversión de desechos orgánicos mediante la cría de larvas *h. illucens*, destacando su crecimiento óptimo de una temperatura entre 27 y 30 °C, humedad relativa del 70% y un pH aproximado de 6, el estudio se realizó en la plaza de mercado Tunjuelito, en la capital colombiana.

(Muñoz Granada & Parada Esquivel, 2022) establecieron los criterios para criar larvas usando desechos de alimentos pre-consumo y de la industria cervecera, el estudio definió el rango ideal de relación carbono/nitrógeno, así como los métodos de incubación y eclosión, se incluyó una descripción de la construcción de un biorreactor para regular la temperatura, la humedad y la cantidad de larvas.

(Figueredo & Albarracín, 2021) destacaron el potencial de las larvas de mosca soldado negra como ingrediente en la alimentación de animales monogástricos, por su capacidad de generar biomasa con contenido proteico y lipídico.

(Vinicius Dutra, 2024) se destacó que el frass producido por la mosca soldado negra es un biofertilizante de alto rendimiento, con la ventaja de mejorar la utilización del nitrógeno por las plantas y de potenciar sus defensas naturales.

(Flores Sánchez, y otros, 2024) un estudio reciente ha confirmado el potencial de la mosca soldado negra como recurso para la producción de biocombustibles, identificando los elementos que influyen en su composición de lípidos, los resultados obtenidos fueron muy

positivos, con una extracción de grasa del 36% y una alta eficiencia de transesterificación, que superó el 98%.

(Toro Pérez, 2025) un estudio comparó el valor nutricional de varios insectos, como la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*), los resultados mostraron que son una buena fuente de ácidos grasos esenciales, aminoácidos y minerales, lo que los convierte en una opción alimenticia adecuada para animales y humanos.

(Reséndiz Luna, Caltzontzin Rabell, & Gutiérrez Antonio, 2025) se analizó la producción de biocombustible de aviación a partir de la grasa de la mosca soldado negra, lo que demuestra el potencial de aprovechar residuos vegetales para obtener lípidos.

(Casanovas Cosío, Reyna Reyes, Velladares Enriquez, Suárez del Villar-Labastida, & Álvarez-Sánchez, 2024) evaluaron mezclas de sustratos para la crianza de larvas como el salvado de trigo y la gallinaza con proteínas del 28% y 37%.

(Hernández Trejo, y otros, 2024) han resaltado que el frass de la mosca soldado negra podría ser un buen fertilizante, similar a la composta inmadura, debido a su riqueza en nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, para mejorar su uso en la agricultura, se considera esencial llevar a cabo más investigaciones sobre su composición y los procesos que requiere para madurar.

(Quinde Pérez & Roldan Domínguez , 2025) un estudio analizo la harina de larva de mosca soldado negra, por su producción y composición nutricional, revelando un contenido de proteína del 38.3%, aunque este puede variar según la dieta y el almacenamiento, se encontró que su uso en alimentos balanceados mejora la digestión y el rendimiento.

Capítulo III. Desarrollo

Metodología

Cultivo y alimentación de la Mosca Soldado Negra

Para el desarrollo larvario de la MSN se proporcionó una dieta de alimento iniciador de pollo. Las larvas se seleccionaron (figura 2) a los 7 días con base a su tamaño de 0.1-0.2 cm, donde se alimentaron de 4 dietas: residuo de comida, residuo de mango, residuo de lactosuero y residuo alimento inicial de pollo donde cada tratamiento se elaboró por triplicado.

Biotransformación de los residuos orgánicos por la larva MSN

Se inoculó 100 larvas de *H. illucens* LMSN por tratamiento, en donde se alimentaron cada 3 días. Se sacó talla (figura 3), y peso (figura 4) 10 larvas por tratamiento (fórmula, (Bermúdez-Serrano & Sánchez Velázquez, 2023);(Miranda, Cammack, & Tomberlin, 2020). Donde se colocaron en 3 contenedores a una temperatura de 38 °C en el equipo (LUZEREN General Incubator). Los tratamientos son precomposta de 0, 3 y 6 días (Figura 5). Posterior a los 10 días, se inició la recolección de prepupas, también se colocó en charolas para su etapa pupal (Figura 6) y la mosca emergió a los 10 días. Las moscas adultas fueron confinadas a jaulas cubiertas de malla sombra para su reproducción (Figura 7).

Determinación de harina

Se colocó el frass generado por las larvas en la estufa hasta perder la humedad a una temperatura de 40 °C, posteriormente se realizó la molienda hasta obtener una harina fina. Una vez obtenida la harina se tamizó con el fin de eliminar impurezas.

Determinación de humedad

El contenido de humedad de las muestras se midió por gravimetría mediante La Norma Oficial Mexicana NOM-116-SSA1-1994 que establece el procedimiento para determinar la humedad en alimentos mediante tratamiento térmico, utilizando el método por arena o gasa.

Procedimiento:

La preparación de la muestra se trituro y tamizo hasta obtener una buena consistencia. Posteriormente se pesó un recipiente limpio y seco (cápsula de aluminio) y se registró su peso (P1). Se añadió aproximadamente 500 mg de la muestra al recipiente y se pesó nuevamente, registrando el peso total (P2). Por consiguiente, se coloca al horno a 100°C durante 2 horas. Después se saca y se deja enfriar la muestra durante 10 minutos para después volver a pesar nuevamente colocar la muestra por 30 minutos a 100°C esto con el fin de obtener el peso contante sin variación de peso.

Determinación de pH

El pH del suelo constituye una propiedad química de gran relevancia para el crecimiento y desarrollo de las plantas, la reacción del suelo se encuentra estrechamente relacionada con su origen y proceso de formación, ya que influye determinante en la morfogénesis y la fertilidad. Como también, los iones de hidrógeno, que desempeña un papel fundamental en los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en el suelo.

Esta medición se caracteriza por ser una de las más rápidas y por ofrecer información valiosa sobre el entorno químico del suelo y su estado nutricional. El pH del suelo se determina a partir de la concentración de iones hidrógeno activos (H^+) presentes en la fase líquida, los cuales se generan por la interacción entre los componentes sólidos y líquidos del suelo. A partir de ello, se reconocen dos formas de medición: el pH real y el pH potencial. El primero refleja la cantidad de hidrogeniones activos que se encuentran directamente en la solución del suelo, mientras que el segundo está asociado con la acidez de reserva, representada por los hidrogeniones que permanecen adsorbidos en el complejo de intercambio.

El pH se define como el logaritmo inverso de la concentración de iones hidrógeno y se representa en una escala que va de 0 a 14. En los suelos se distinguen tres estados principales según su pH: ácido, neutro y alcalino. Un valor de 7 indica neutralidad; cuando el pH es menor a 7, el suelo se considera ácido, y cuando es mayor a 7, se clasifica como alcalino.

De manera general, la mayoría de los cultivos pueden crecer en suelos cuyo pH se encuentra entre 5 y 8.5; no obstante, para la mayor parte de las especies vegetales, el

intervalo más favorable se sitúa entre 6.5 y 7.5. En cuanto a los suelos, el pH suele variar comúnmente entre 4 y 10, aunque se han registrado casos extremos con valores tan bajos como 2 y tan elevados como 12.

Fundamento

El método potenciométrico o electrométrico es el más empleado en los laboratorios para la medición del pH del suelo. Este método se basa en la medición del potencial generado por un electrodo sensible a los iones hidrógeno (electrodo de vidrio) en una solución problema, utilizando como referencia un electrodo cuya solución no se altera ante cambios en la concentración iónica, comúnmente un electrodo de calomelanos o de plata/cloruro de plata (Ag/AgCl).

El electrodo de vidrio desarrolla un potencial eléctrico a través de sus paredes, el cual depende directamente de la concentración de hidrogeniones presentes en la solución. En la práctica, el equipo se calibra mediante soluciones tampón con valores de pH perfectamente conocidos, para posteriormente comparar el potencial eléctrico o el valor de pH de la muestra analizada.

Materiales	Reactivos
Muestra de suelo seco y cernido (tamiz No. 10)	Agua destilada
Balanza analítica	Solución buffer pH 4
Vasos de precipitado de 50 mL	Solución buffer pH 7
Probeta de 20 mL	Solución buffer pH 10
pH-metro OHAUS Aquasearcher AB23PH	
Piceta para lavado del electrodo	

La determinación de pH se realizó en el equipo pH-metro modelo (OHAUS Aquasearcher AB23PH), se sumergió el electrodo del pH-metro en el buffer para calibrar el pH a 4 y se repitió el proceso con los buffers de pH 7 y 10. Posteriormente se procedió a medir los tratamientos, en donde se disolvió 20 ml de agua destilada con 0.25 g de frass, y se utilizó agua destilada para limpiar el electrodo entre mediciones y así evitar la contaminación de las muestras.

Tabla 5. Criterios de pH

Categoría	Valor
Extremadamente ácido	<4.5
Muy fuerte ácido	4.6-5.1
Fuertemente ácido	5.2-5.6
Moderadamente ácido	5.7-6.1
Ligeramente ácido	6.2-6.6
Neutro	6.7-7.4
Ligeramente alcalino	7.5-7.9
Moderadamente alcalino	8.0-8.4
Fuertemente alcalino	8.5-8.9
Muy fuertemente alcalino	>9.1

Tomados de (Singer & Munns, 1992)

Conductividad térmica

La conductividad eléctrica (CE) mide la capacidad para transportar corriente, relacionado con la cantidad de sales solubles presentes, para el ámbito agrícola, es un indicador vital para determinar la salinidad del sustrato y adecuado para el crecimiento de las plantas, especialmente al usar biofertilizantes como el frass (residuo de insectos) (Beesigamukama, Subramanian, & M. Tanga, 2022), el frass es un fertilizante prometedor debido a su contenido de nutrientes, sin embargo, su alta CE puede causar efectos tóxicos en las plantas (fitotóxicos), por lo que su uso directo sin un tratamiento adecuado es limitado, especialmente *Hermetia illucens*, presenta una CE elevada, por encima de 6 mS/cm, este nivel excede el límite seguro para suelos agrícolas (<4 mS/cm), debido a las altas concentraciones significativas de potasio, amonio y otros cationes solubles presentes en el

frass (Lu, y otros, 2022), los niveles elevados de CE pueden impedir la absorción de agua por las plantas debido a la presión osmótica, afectando negativamente su crecimiento y desarrollo (Moh'd , Mawazo , Ole , Joel , & Kadegehe , 2024), en sistemas como los cultivos hidropónicos, la CE puede regularse para maximizar la producción de las plantas.

Procedimiento:

Para la conductividad térmica se disolvió 20 ml de agua destilada con 0.25 mg de frass, y se utilizó agua destilada para limpiar el electrodo entre mediciones y así evitar la contaminación de las muestras utilizando el equipo pH-metro modelo (OHAUS Aquasearcher AB23PH).

Determinación de materia orgánica

El método de oxidación con ácido crómico y ácido sulfúrico, propuesto por Walkley y Black en 1947, se fundamenta en la oxidación de la materia orgánica del suelo mediante la adición de un agente oxidante en exceso, cuya cantidad remanente se determina posteriormente. En este procedimiento, la materia orgánica es oxidada por la reacción del dicromato de potasio en presencia de ácido sulfúrico, proceso que genera ácido crómico y libera calor. El exceso de este agente oxidante se cuantifica mediante una titulación con sulfato ferroso, utilizando como indicador el negro de eriocromo T. Adicionalmente, se incorpora ácido fosfórico con el fin de reducir la interferencia de los compuestos de hierro y facilitar el cambio de color durante la titulación.

Materiales	Reactivos
Muestra de suelo seco y cernido (tamiz No. 10)	Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4)
Balanza semi-analítica	Ácido fosfórico concentrado (H_3PO_4)
Matraces Erlenmeyer de 250 mL	Agua destilada
Vasos de precipitados de 150 mL	Solución de dicromato de potasio 1 N
Probeta de 10 mL	Solución de sulfato ferroso 0.5 N
Probeta de 100 mL	Solución indicadora de difenilamina
Bureta de 50 mL	
Soporte universal con pinzas	

La solución de dicromato de potasio 1 N se preparó pesando exactamente 49.04 g de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$), previamente secado en la estufa durante 3 horas a 105 °C, disolver en agua destilada y aforar a 1 litro. La solución de sulfato ferroso 0.5 N se preparó pesando 139 g de sulfato ferroso heptahidratado ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) y disolver en 500 ml de agua destilada, agregar 4 ml de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4), enfriar y aforar a 1 litro. La solución indicadora de difenilamina se preparó pesando 0.5 g de difenilamina y disolver en 20 ml de agua destilada y 100 ml de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4).

Procedimiento:

Volver a tamizar la muestra de suelo utilizando una malla No. 60 y pesar 0.5 g; en caso de que el suelo presente un color muy oscuro o un alto contenido evidente de materia orgánica, se recomienda pesar únicamente 0.2 g. Transferir la muestra a un matraz Erlenmeyer. Posteriormente, añadir 5 mL de solución de dicromato de potasio utilizando una probeta. Medir 10 mL de ácido sulfúrico y agregarlo con precaución al matraz, dejándolo resbalar lentamente por las paredes. Agitar la mezcla durante un minuto y dejarla reposar por 30 minutos adicionales.

Una vez transcurrido este tiempo, incorporar 100 mL de agua destilada, seguido de la adición de 5 mL de ácido fosfórico medidos con probeta. Añadir enseguida tres gotas del indicador de difenilamina y proceder a la titulación con sulfato ferroso. Durante la titulación, la solución presenta una secuencia característica de cambios de color que va de negro a verde muy oscuro, luego azul, hasta alcanzar finalmente un tono verde esmeralda en el punto final.

Para verificar la normalidad del sulfato ferroso, se debe realizar un blanco siguiendo los pasos del 3 al 9, y posteriormente sustituir los valores obtenidos en la fórmula correspondiente (1).

$$Materia\ Orgánica(\%) = 5 - \frac{(ml\ de\ FeSO_4\ N\ X\ F.C.)}{g\ de\ muestra} \times 0.69 \quad (1)$$

Dónde: 5 = ml de dicromato de potasio agregados.

N= normalidad de sulfato ferroso

F.C= factor de corrección

0.69= constante

El factor de corrección se obtiene de la siguiente manera:

$$F.C = \frac{10}{ml \text{ de } FeSO_4 \text{ gastados en el blanco}}$$

Tabla 6. Criterios de materia orgánica

Categoría	Valor(%)
Extremadamente pobre	< 0.6
Pobre	0.6- 1.2
Moderadamente pobre	1.3- 1.8
Medio	1.9- 2.4
Moderadamente rico	2.5-5.0
Rico	5.1 - 14.0
Extremadamente rico	> 14.0

Tomados de (Aguilera, 1989) y modificados por los autores

Determinación de cenizas

La determinación en seco es el método más común para cuantificar la totalidad de minerales en alimentos y se basa en la descomposición de la materia orgánica quedando solamente materia inorgánica en la muestra, es eficiente ya que determina tanto cenizo soluble en agua, insolubles y solubles en medio ácido. En este método toda la materia

orgánica se oxida en ausencia de flama a una temperatura que fluctúa entre los 550 -600°C; el material inorgánico que no se volatiliza a esta temperatura se conoce como ceniza. (Nollet, 1996).

Materiales
Muestra (Frass)
Crisol de porcelana
Pinzas para crisol
Desecador
Parrilla eléctrica
Mufla
Balanza analítica (0.1 mg)

Procedimiento:

En un crisol previamente llevado a masa constante se colocaron 0.25 g de muestra correspondiente a cada tratamiento. El crisol con la muestra se situó sobre una parrilla, donde el material se calentó de manera gradual hasta que dejó de desprender humos, procurando en todo momento evitar la pérdida de muestra por proyección fuera del crisol. Posteriormente, los crisoles se introdujeron en una mufla y se mantuvieron a una temperatura entre 500 °C y 550 °C, hasta obtener únicamente el residuo inorgánico, correspondiente a las cenizas. Una vez concluido el proceso, los crisoles se dejaron enfriar dentro de la mufla y después se trasladaron al desecador para completar el enfriamiento, procediendo finalmente a determinar el peso del crisol con cenizas.

Cálculos

Calcular el porcentaje de cenizas con la siguiente formula: $\% \text{ cenizas} = (P-p) \times 100 M$

En donde:

P = Masa del crisol con las cenizas en gramos.

p = Masa de crisol vacío en gramos.

M = Masa de la muestra en gramos.

Determinación de nitrógeno total

El nitrógeno es un elemento esencial para la vida, ya que integra las principales biomoléculas de todos los organismos vivos. Asimismo, constituye uno de los elementos más abundantes en la Tierra, debido a que en su forma gaseosa (N_2) representa aproximadamente el 78 % de la atmósfera. No obstante, la cantidad de nitrógeno disponible en numerosos suelos es limitada como consecuencia de su dinámica propia y de su ciclo biogeoquímico. Este elemento ingresa al suelo mediante los aportes de materia orgánica y por su fijación a partir del aire a través de la actividad bacteriana. Una vez incorporado, es aprovechado por plantas, animales y microorganismos, los cuales lo integran en sus tejidos. Al morir estos organismos, el nitrógeno retorna al suelo, cerrando el ciclo. Dicho proceso es complejo e involucra diversas reacciones y organismos con metabolismos distintos. El ciclo inicia con compuestos inorgánicos simples (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , N_2 , NH_3) y culmina con compuestos orgánicos complejos; posteriormente, mediante la descomposición, retorna nuevamente a las formas inorgánicas.

En los suelos, el contenido de nitrógeno suele variar entre 0.05 y 2 % en sus diferentes formas. Sin embargo, la mayoría de los cultivos únicamente lo asimilan en forma de nitratos. Dentro de las plantas, el nitrógeno forma parte de proteínas, clorofila, ácidos nucleicos y otros compuestos; además, les confiere una coloración verde intensa, favorece el desarrollo de hojas y tallos, incrementa el valor nutricional de granos, frutos y forrajes, estimula la absorción de fósforo e inhibe ciertos patógenos y enfermedades radiculares, entre otras funciones.

Metodología

Método de Micro-Kjeldahl (Modificado por Bremner, 1965)

Fundamento

El método Kjeldahl consta de tres etapas principales:

Digestión de la muestra.

La muestra de suelo se somete a digestión mediante calentamiento con ácido sulfúrico y una mezcla de sales que aceleran y facilitan la oxidación de la materia orgánica, permitiendo la conversión de todas las formas de nitrógeno en amonio, el cual en medio

ácido se encuentra como ion amonio (NH_4^+); es decir, las formas orgánicas se transforman en formas minerales de nitrógeno.

Destilación.

Una vez convertido el nitrógeno en NH_4^+ , se trata con una base fuerte, generalmente hidróxido de sodio, para formar hidróxido de amonio, el cual, por efecto del calor, se descompone en amoníaco (NH_3) y agua.

Valoración.

El amoníaco liberado se recoge en un volumen conocido de solución valorada de ácido bórico y, mediante comparación con un blanco, se determina la cantidad de ácido que reaccionó con el NH_3 .

Materiales	Reactivos	Equipo
Muestra de suelo seco (tamiz No. 100)	Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4)	Digestor Kjeldahl automático
Balanza analítica	Granallas de zinc	Destilador Kjeldahl automático
Matraces Kjeldahl de 500 mL	Solución de ácido bórico indicador	
Vasos de precipitados (150, 100 y 50 mL)	Solución de hidróxido de sodio 0.1 N	
Matraces Erlenmeyer de 250 mL	Mezcla de catalizadores	
Probeta de 25 mL	Solución de Hidróxido de sodio 10 N	
Pipeta de 10 mL	Solución valorada de carbonato de sodio	
Bureta de 50 mL		
Perlas de ebullición		
Soporte universal con pinzas		

La solución indicadora de ácido bórico se preparó pesando 20 g de ácido bórico (H_3BO_3), los cuales se disolvieron en 70 mL de agua destilada. La mezcla se calentó hasta lograr la

completa disolución del ácido y posteriormente se dejó enfriar. Una vez fría, se añadieron 20 mL de una mezcla de indicadores compuesta por 0.999 g de verde de bromocresol y 0.066 g de rojo de metileno, previamente disueltos en 100 mL de alcohol etílico al 96 %. El pH final de la solución debía ser de 5.0; en caso de presentar mayor acidez, se ajustó agregando lentamente algunas gotas de hidróxido de sodio 0.1 N hasta alcanzar la coloración púrpura característica o el pH indicado. Finalmente, el volumen se completó a 1 litro con agua destilada y se homogenizó la solución.

La solución de hidróxido de sodio 0.1 N se preparó pesando 4 g de hidróxido de sodio (NaOH), los cuales se disolvieron en agua destilada y se aforaron a un volumen final de 1 litro. Por otra parte, la mezcla de catalizadores se obtuvo al pesar 62.5 g de sulfato de potasio (K_2SO_4) y 6.25 g de sulfato de cobre pentahidratado ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$), homogenizando adecuadamente ambos compuestos.

La solución concentrada utilizada se preparó diluyendo 0.28 mL de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) hasta completar un volumen de 1 litro con agua destilada. La concentración de esta solución fue posteriormente estandarizada mediante una solución valorada de carbonato de sodio. Dicha solución patrón se preparó pesando 0.250 g de carbonato de sodio (Na_2CO_3), previamente secado en estufa durante dos horas a 105 °C, el cual se disolvió en agua destilada y se aforó a un volumen final de 50 mL.

Procedimiento:

Se colocó en cada tubo 1 g de muestra de frass, en donde se le agregó 0.5 de sulfato de potasio y 5% sulfato de cobre, posteriormente se le agregó 20 ml de ácido sulfúrico, se llevó al rotex y colocó en el equipo de digestión durante 3 horas a 410°C. Por último, se realizó la titulación en el equipo (Automatic Kjeldahl distillation unit).

Para valorar la normalidad del ácido sulfúrico 0.01 N se tomó 3 alícuotas de 10 ml de cada una de la solución de Na_2CO_3 . Se agregaron 5 o 6 gotas de anaranjado de metileno como indicador, se tituló con la solución de ácido sulfúrico 0.01 N y se calculó la normalidad real sustituyendo en la siguiente fórmula.

Para calcular la normalidad real sustituyendo en la siguiente fórmula:

$$1. \text{ Normalidad del } H_2SO_4 = \frac{0.050 \text{ g}}{53} \times \frac{1}{\text{Promedio de ml gastados en las tres alícuotas}}$$

Esto se realizó a 4 tratamientos (Mango, Cocina, Alimento inicial, Lactosuero).

Tabla 7. Criterios de Nitrógeno total

Categoría	Valor(%)
Extremadamente pobre	< 0.032
Pobre	0.032-0.063
Moderadamente pobre	0.064-0.095
Medio	0.096-0.126
Moderadamente rico	0.127-0.158
Rico	0.159-0.221
Extremadamente rico	> 0.221

Tomados de (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1970)

Proteína total

Para las proteínas, los estudios y tablas de composición de alimentos utilizan el sistema de medición proximal de proteínas como nitrógeno total (N) (determinado por el método Kjeldahl) multiplicado por un factor específico. Este factor ha sido originalmente 6.25 basado en la suposición de que todas las proteínas contenían 16% de nitrógeno.

Formula: $(N \times 6.25)$

Determinación de fósforo asimilable

El fósforo asimilable no se encuentra en estado libre en la naturaleza debido a su alta tendencia a la oxidación; sin embargo, es común encontrarlo formando parte de numerosos compuestos presentes en minerales. En términos generales, el fósforo del suelo se clasifica en fósforo orgánico e inorgánico, de acuerdo con la naturaleza de los compuestos que forma. La fracción orgánica se localiza en el humus y en la materia orgánica, y sus concentraciones pueden variar desde 0 hasta más de 0.2 %. La fracción inorgánica está constituida principalmente por compuestos de hierro, aluminio, calcio y flúor, y generalmente es más abundante que la orgánica.

El fósforo es un macronutriente indispensable para las plantas y, junto con el nitrógeno y el potasio, integra los fertilizantes de uso más extendido a nivel mundial. Forma parte de las moléculas de los ácidos nucleicos, la fitina y los fosfolípidos. Un suministro adecuado es esencial para la formación de los primordios de las estructuras reproductivas, estimula el desarrollo inicial del sistema radicular favoreciendo el establecimiento de las plántulas, promueve la maduración temprana de los cultivos, estimula la floración, contribuye a la formación de semillas y mejora la calidad nutricional de granos y otros productos agrícolas.

Metodología

Método de Bray I (Desarrollado por Bray y Kurtz. 1945)

Fundamento

Este método se utiliza como un índice del fósforo disponible en los suelos. La combinación de ácido clorhídrico y fluoruro de amonio permite extraer las formas de fósforo fácilmente solubles, principalmente fosfatos de calcio y una fracción de los fosfatos de aluminio y hierro. El fluoruro de amonio facilita la disolución de los fosfatos mediante la formación de un ion complejo cuando estos compuestos se encuentran en solución ácida. Este método ha mostrado resultados satisfactorios en suelos ácidos y aceptables en suelos con pH neutro y ligeramente alcalino.

Materiales	Reactivos
Muestra de suelo seco (tamiz No. 10)	Agua destilada
Balanza semianalítica	Mezcla cromica
Papel filtro	Solución madre de fluoruro de amonio 1 N
Embudo de plástico	Ácido sulfúrico concentrado (H ₂ SO ₄).
Vasos de precipitados de 100 y 150 mL	Ácido clorhídrico 0.5 N
Pipetas de 10 y 5 mL	Solución extractora
Espectrofotómetro	Solución de ácido clorhídrico 10N
Tubos de ensayo de 10 mL	Solución de mofdato de amonio-ácido clorhídrico
Gradilla	Solución madre de cloruro estañoso

Papel absorbente	Solución tipo de fosfato (100 mg/mL)
Frasco ámbar	Agua bidestilada o desmineralizada.

Para llevar a cabo esta determinación deberá usarse material de vidrio pyrex o gena neutros y guardar el agua y los reactivos en frascos neutros o de Nalgene, deberá usarse agua libre de fosforo, ya sea bidestilada o desmineralizada, es recomendable vaciar el agua en garrafón o envases de nalgene neutros. Previamente a la realización de esta técnica, todo material que se utilizó para preparar los reactivos y para realizar los análisis deberá dejarse por lo menos 5 minutos en mezcla crómica y después enjuagar todo con agua bidestilada, (no usar ningún tipo de detergente para el lavado del material de cristalería, ni fumar cuando se haga la determinación).

La mezcla crómica se preparó pesando 100 g de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_2$) y disolver en 1 litro de agua destilada. Calentar hasta la completa disolución del reactivo, dejar enfriar la solución y agregar gota a gota 100 ml de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4). La solución madre de fluoruro de amonio 1 N se preparó pesando 37 g de fluoruro de amonio (NH_4F), disolver en agua destilada y aforar a 1 litro, guardar en un recipiente de polipropileno. El ácido clorhídrico 0.5 N se preparó diluyendo 20.2 ml de ácido clorhídrico concentrado (HCl) para completar un volumen de 500 ml con agua destilada.

La solución extractora se preparó agregando 460 ml de agua destilada a 15 ml de solución madre de fluoruro de amonio y 25 ml de solución de ácido clorhídrico 0.5 N. Esto nos da una solución 0.03 N de fluoruro de amonio y 0.025 N de ácido clorhídrico. La solución final debe ser almacenada en un recipiente de polipropileno perfectamente tapado y de esta forma se conserva hasta un año.

La solución de ácido clorhídrico 10N se preparó disolviendo 404 ml de ácido clorhídrico concentrado (HCl) hasta completar un volumen de 500 ml con agua destilada. La solución de molibdato de amonio-ácido clorhídrico se preparó pesando 15 g de molibdato de amonio

tetrahidrato $((\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24})\cdot 4\text{H}_2\text{O}$) y disolver en 350 ml de agua destilada. Añadir lentamente y con agitación constante 300 ml de ácido clorhídrico 10 N. Enfriar a temperatura de laboratorio y aforar a 1 litro con agua destilada. Mezclar bien y guardar en frasco ámbar de tapón esmerilado. Esta solución debe ser preparada cada dos meses.

La solución madre de cloruro estañoso se preparó pesando 5 g de cloruro estañoso dihidratado ($\text{SnCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y disolver en 12.5 ml de ácido clorhídrico concentrado (HCl). Calentar a baño maría hasta que se disuelva bien. Guardar en frasco ámbar con tapón esmerilizado en el refrigerador y de esta forma se conserva 6 semanas máximo. La solución de cloruro estañoso se preparó (ó 0.3 por 99 ml de agua). Esta solución debe ser preparada cada cuatro horas.

La solución tipo de fosfato (100 mg/mL) se preparó pesando 0.4389 g de fosfato de potasio monobásico (KH_2PO_4), disolver en agua destilada y aforar a 1 litro. Un mililitro de esta solución contiene 100 ppm de fósforo.

Procedimiento:

Se pesó 1 g de suelo y se colocó en un embudo provisto de papel filtro. Posteriormente, se añadieron 7 mL de la solución extractora y la mezcla se agitó durante un minuto. En caso de que el filtrado presentara turbidez, se realizó una nueva filtración hasta obtener una solución completamente transparente.

De la solución filtrada se tomó 1 mL, al cual se le agregaron 6 mL de agua destilada y 2 mL de la solución de molibdato de amonio, mezclando cuidadosamente. El espectrofotómetro se encendió y se dejó calentar durante 15 minutos, calibrándolo con el blanco a 100 % de transmitancia a una longitud de onda de 640 nm. El equipo se recalibró cada vez que se realizó la lectura de una muestra.

Posteriormente, se añadió 1 mL de la solución diluida de cloruro estañoso y se mezcló nuevamente. Tras un tiempo de reacción de 10 minutos, se procedió a medir la absorbancia en el espectrofotómetro, asegurándose de que todas las lecturas se realizaran dentro de los primeros 20 minutos.

Para la elaboración de la curva patrón se realizaron las diluciones correspondientes de la solución estándar de fosfato, ajustando el volumen final a 100 mL y considerando las concentraciones establecidas. Para construir la curva, se colocó 1 mL de cada una de las diluciones (expresadas en ppm) en tubos para espectrofotómetro. Posteriormente, se añadió 1 mL de la solución extractora, seguido de 5 mL de agua destilada y 2 mL de la solución de molibdato de amonio, mezclando adecuadamente después de cada adición.

A continuación, se agregó 1 mL de la solución diluida de cloruro estañoso y se homogenizó la mezcla. Finalmente, se realizaron las lecturas en el espectrofotómetro, procurando que todas se completaran antes de transcurridos 20 minutos.

Tabla 8. Concentración de fosforo

Concentración (ppm)	Ml (solución tipo de fosfatos)
10	10
9	9
8	8
7	7
6	6
5	5
4	4
3	3
2	2
1	1

Tabla 9. Criterios de fosforo asimilable

Categoría	Valor (ppm)
-----------	-------------

Pobre	<4.0
Medio	4.0 - 6.9
Rico	7.0 - 12.5
Extremadamente rico	> 12.5

(Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1970).

Análisis estadístico

Se realizará el análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de valores medios con la prueba de Tukey a $p=0,05$, con el software estadístico (SigmaPlot 12). Los parámetros a evaluar serán peso y longitud de las larvas, tamaño de la capsula cefálica, duración de la etapa larval en cada tratamiento. Porcentaje de reducción de residuos y Bioconversión de masa.

Capítulo IV Resultados

Esta sección presenta los resultados del estudio sobre la talla de larvas a lo largo del tiempo, como se ilustra en la figura 2 donde detalla las variaciones en la talla (cm) de las larvas, mostrando su crecimiento y desarrollo en diferentes puntos temporales de los diferentes residuos: RC (Residuo de cocina), RM (Residuo de mango), RL (lactosuero), PLS (residuo alimento inicial de pollo).

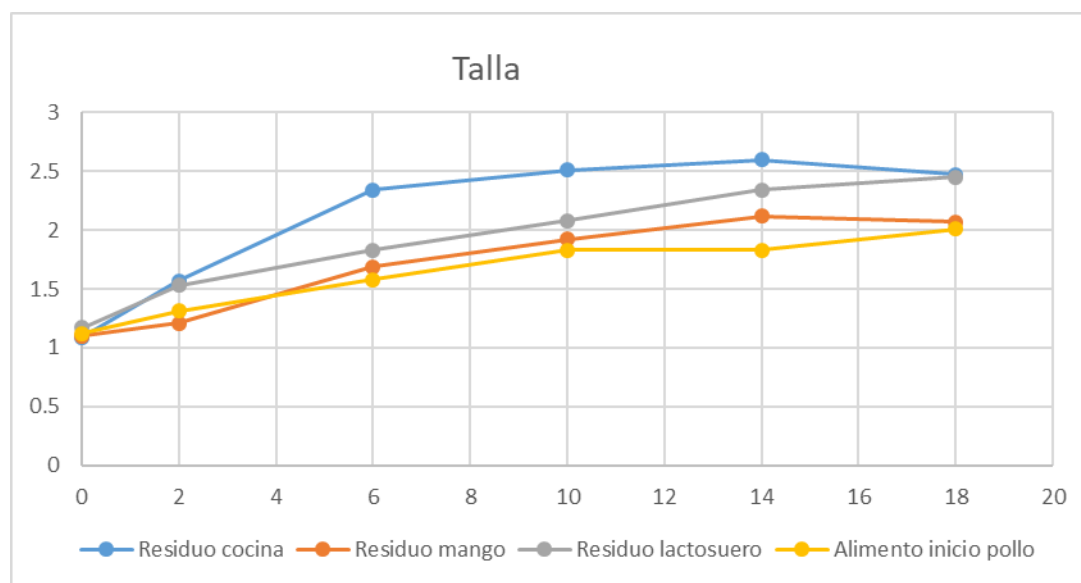


Figura 2. Talla de larvas (en cm)

Se muestra un crecimiento progresivo de las larvas a lo largo del tiempo en todos los tratamientos (0 a 18 días), se observa que el RC presenta el mayor crecimiento en talla, alcanzando valores cercanos a los 2.7 cm al día 16, mientras que el RL y RM muestran un crecimiento moderado, llegando a aproximadamente 2.3 cm y 2.2 cm respectivamente, PLS tiene el menor impacto en la talla, alcanzando alrededor de 2 cm.

La figura 3 ilustra la evolución del peso de las larvas (gramos) bajo diferentes condiciones de alimentación, comparando el impacto de diversos residuos: RC (Residuo de cocina), RM (Residuo de mango), RL (lactosuero), PLS (residuo alimento inicial de pollo), estos datos permiten observar y comparar las tasas de crecimiento y el peso final alcanzado por las larvas en función de la fuente de nutrientes proporcionada.

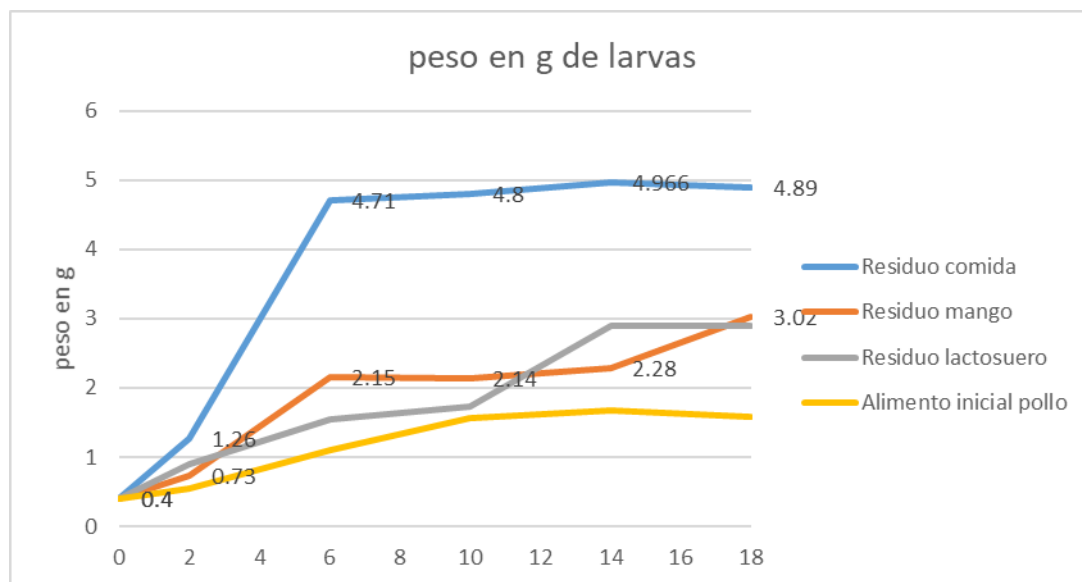


Figura 3. Peso de larvas (en gramos)

RC permite un crecimiento mucho más acelerado y sostenido, alcanzando los 4.89 g hacia el día 18. El aumento es muy significativo entre los días 4 y 6 de 1.26 g a 4.71 g. RM y RL tienen desempeños similares, con un crecimiento más lento y alcanzando valores de 3.0 g y 2.28 g respectivamente al final del periodo. PLS tuvo el valor menos significativo de 0.4 a 2.44 entre el día 10.

Con el propósito de determinar si existen diferencias significativas entre los cuatro tratamientos se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA).

Tabla 10. Datos para el Análisis de varianza (ANOVA).

Grupos	Muestras	Suma	Media	Varianza
Día	6	50.000	8.333	48.667
RC	6	21.026	3.504	4.373
RM	6	10.720	1.787	1.012
RL	6	10.380	1.730	1.046
PLS	6	6.860	1.143	0.312

La tabla 11 presenta los resultados (ANOVA), Mediante este análisis se determinó si existen diferencias significativas entre las medidas de los grupos en estudio.

Tabla 11. ANOVA

Fuentes de Variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Varianzas o Media	Estadístico Test
Entre los grupos	208.695	4	52.174	4.708
Dentro de los grupos	277.044	25	11.082	
Total	485.739	29		

Se presenta un análisis de hipótesis tabla 12 sobre las medias distribucionales, donde la hipótesis nula (H_0) establece que todas las medias son iguales independientemente, (por ejemplo, $H_0: \mu_1 = \mu_2 \dots \mu_n$), mientras que la Hipótesis alternativa H_1 sugiere que al

menos una media distribucional es diferente independientemente (por ejemplo, $H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \dots \mu_n$), y los resultados indican si la hipótesis Nula (H_0) se acepta o se rechaza, basándose en valores como el p-valor ($0.05 > 0.006$) lo que sugiere una diferencia significativa en al menos en una media.

Tabla 12. Análisis de hipótesis

Si: $|\bar{x}_i - \bar{x}_j| > HSD_i \rightarrow H_0$: rechaza

Hipótesis	$ \bar{x}_i - \bar{x}_j $	Verificar	Conclusión
(H_0): $\mu_1 = \mu_2$ (H_1): $\mu_1 \neq \mu_2$	4.829	$4.829 < 5.6463$	(H_0): acepta
(H_0): $\mu_1 = \mu_3$ (H_1): $\mu_1 \neq \mu_3$	6.5466	$6.5466 > 5.6463$	(H_0): rechaza
(H_0): $\mu_1 = \mu_4$ (H_1): $\mu_1 \neq \mu_4$	6.6033	$6.6033 > 5.6463$	(H_0): rechaza
(H_0): $\mu_1 = \mu_5$ (H_1): $\mu_1 \neq \mu_5$	7.19	$7.19 > 5.6463$	(H_0): rechaza
(H_0): $\mu_2 = \mu_3$ (H_1): $\mu_2 \neq \mu_3$	1.7176	$1.7176 < 5.6463$	(H_0): acepta
(H_0): $\mu_2 = \mu_4$ (H_1): $\mu_2 \neq \mu_4$	1.7743	$1.7743 < 5.6463$	(H_0): acepta
(H_0): $\mu_2 = \mu_5$	2.361	$2.361 < 5.6463$	(H_0): acepta

(H ₁): $\mu_2 \neq \mu_5$			
(H ₀): $\mu_3 = \mu_4$ (H ₁): $\mu_3 \neq \mu_4$	0.0567	0.0567 < 5.6463	(H ₀): acepta
(H ₀): $\mu_3 = \mu_5$ (H ₁): $\mu_3 \neq \mu_5$	0.6434	0.6434 < 5.6463	(H ₀): acepta
(H ₀): $\mu_4 = \mu_5$ (H ₁): $\mu_4 \neq \mu_5$	0.5867	0.5867 < 5.6463	(H ₀): acepta

Según los resultados se rechaza la hipótesis Nula (H₀) y se toma la hipótesis alterna, ya que: $4.708 > 2.759$, ($FC > FT$) lo que quiere decir que existe diferencia significativa al menos en una media. Los resultados evidencian que las comparaciones $\mu_1 - \mu_3$ ($6.5466 > 5.6463$), $\mu_1 - \mu_4$ ($6.6033 > 5.6463$) y $\mu_1 - \mu_5$ ($7.19 > 5.6463$) presentan diferencias estadísticamente significativas, motivo por el cual se rechaza la hipótesis nula en dichos casos. En contraste, las demás comparaciones entre tratamientos no superaron el valor crítico, por lo que se acepta la hipótesis nula, infiriendo que no existen diferencias significativas entre esas medias.

La tabla 14 expone una caracterización de harina de los diferentes tratamientos (control y frass). Donde se divide en dos secciones principales, detallando su peso inicial, final y porcentaje.

Tabla 13. Harina (Control y Frass)

Control de Residuos Orgánicos			
Tratamiento	Peso Inicial	Peso Final	% Aprovechamiento de la larva
STC	407 g	140.52 g	34.4 %
STM	721 g	118.78 g	16.46 %

STL	310 g: 500 ml (Suero) + 200 g (STPLS)	120 g	38.70 %
STPLS	477 g	162 g	33.96 %
Frass de Residuos Orgánicos			
Tratamiento	Peso Inicial	Peso Final	%
RC	1350 g	182. 18 g	13.48 %
RM	900 g	44.58	4.84 %
RL	300 g	190 g	63.33 %
PLS	600 g	138 g	23 %

El cuadro expone la caracterización del peso inicial y final de los controles tratados y frass resultantes de la biotransformación de residuos orgánicos por *Hermetia illucens* (mosca soldado negra, MSN), los valores de porcentaje representan la proporción de materia seca respecto al peso fresco, un indicador de la composición, humedad y potencial de aprovechamiento de cada sustrato. STC (Control Comida): (34.4 %), este porcentaje indica que aproximadamente un tercio de la muestra corresponde a materia sólida, lo que sugiere un equilibrio intermedio entre humedad y sólidos disponibles; STM (Control Mango): (16.46 %), el bajo porcentaje de materia seca es característico de las frutas con alto contenido de humedad, lo que propicia su rápida degradación y fermentación; STL (Control Lactosuero): (38.70 %), el valor más alto entre los controles, evidencia que el sustrato posee una fracción sólida considerable, lo cual incrementa su densidad nutritiva y estabilidad inicial; STPLS (Control Alimento Inicial de pollo): (33.96 %), generalmente sólido, con gran aporte constante de nutrientes. RC (Residuo Comida): (13.48 %), el bajo valor muestra la fracción líquida, lo que afecta en su manejo y en la necesidad de secado para usos; RM (Residuo Mango): (4.84 %), es el más bajo de todos los tratamientos, con alta humedad, escasa concentración de sólidos, limitando su estabilidad y aplicabilidad inmediata; RL (Residuo Lactosuero): (63.33 %), muestra que más de la mitad corresponde a materia sólida, indicando un sustrato con baja humedad y potencial de valorización como biofertilizante o insumo sólido; PLS (Residuo

Alimento Inicial de pollo): (23 %), representa un frass con una proporción moderada de sólidos, mejor al de mango, pero inferior al de lactosuero, mostrando un comportamiento intermedio en la retención de materia seca.

En la tabla 15 se muestran los resultados del análisis fisicoquímico del frass (sustrato procesado por la larva) y del control (sustrato no procesado por la larva) de las diferentes dietas.

Tabla 14. Resultados del análisis fisicoquímico del frass RC (comida); RL(Lactosuero); RM (Mango); PLS (Alimento inicial de pollo). Así como también del control (sustrato no procesado) STC, STL, STM y STPLS.

CONTROL DE RESIDUOS ORGANICOS								
Tratamiento	Humedad	CZ	PH	CE	MO %	NT%	PT %	PA%
STC	68.333 ±	5.183 ±	4.65 ±	133.0 ±	62.43	0.613	3.87	2.239
	1.528c	0.277b	0.036c	2.646b	3 ±	±	6 ±	±
					6.201 a	0.045 a	0.28 4a	0.089 b
STL	90.0 ± 2.0a	6.407 ±	3.927 ±	169.0 ±	68.33	0.283	1.75	4.037
		0.32 ^a	0.102d	7.55a	3 ±	±	7 ±	±
					0.153 a	0.015 c	0.11 6c	0.071 a
STM	79.667 ±	1.15 ±	4.887 ±	111.0 ±	68.06	0.09 ±	0.56	1.124
	0.577b	0.05c	0.369b	6.557c	7 ±	0.01d	2 ±	±
					0.929 a		0.06 3d	0.066 c

STPLS	11.667 ± 1.528d	7.267 ± 0.666 ^a	5.963 ± 0.047a	66.667 ± 2.082d	68.53 3 ± 0.058 a	0.314 ± 0.107 b	1.95 ± 0.64 b	0.787 ± 0.046 d
FRASS DE RESIDUOS ORGANICOS								
Tratamiento	Humedad	CZ	PH	CE	MO %	NT%	PT %	PA%
RC	65.00 ± 2.00c	6.84 ± 0.02b	4.61 ± 0.02d	137.00 ± 2.00a	50.75 ± 1.67d	2.52 ± 0.10 ^a	15.9 2 ± 0.91 a	10.15 ± 1.18c
RL	80.00 ± 2.00a	19.07 ± 0.23 ^a	4.94 ± 0.03c	119.00 ± 1.00b	57.90 ± 0.50c	1.97 ± 0.26b	12.3 4 ± 1.70 b	13.53 ± 0.31a
RM	79.67 ± 0.58b	1.15 ± 0.05d	6.42 ± 0.03b	42.33 ± 0.58c	67.00 ± 0.50a	0.11 ± 0.05c	0.67 ± 0.28 d	5.08 ± 0.45d
PLS	9.67 ± 0.58d	3.00 ± 0.10c	6.98 ± 0.02a	14.33 ± 0.58d	60.03 ± 3.02b	0.57 ± 0.08d	3.56 ± 0.47 c	12.91 ± 0.95b

Al analizar el control de residuos orgánicos, (sustrato no procesado por la larva), se observa que los promedios de humedad de STL ($90.0 \pm 2.0a$) son los más altos, mientras que STPLS ($11.667 \pm 1.528d$) los más bajos, lo que nuevamente muestra heterogeneidad, sin embargo, ciertos tratamientos muestran valores de materia orgánica tan altos como 68.333-68.667 % para STL y STPLS, lo que indica que los residuos insectivos (o bioconvertidos) pueden retener una buena parte de materia orgánica, lo que es beneficioso.

La ceniza presenta diferencias; por ejemplo, STPLS con $7.267 \pm 0.666a$ tiene una ceniza elevada, lo cual sugiere mineralización tras bioconversión, el pH varía entre ~ 3.927 (STL) y ~ 6.98 (STPLS), lo que demuestra que algunos bioprocesos permiten alcanzar pH más neutros o ligeramente alcalinos.

La CE para STL es de $169.0 \pm 7.55a$ (la más alta), lo que puede indicar mayor concentración iónica residual en ese frass, la NT % para STC es $0.613 \pm 0.045a$, siendo el más alto, mientras STM ($0.09 \pm 0.01d$) es bastante bajo; también se observa que el PT % y PA %, el STC presenta $3.876 \pm 0.284a$ % de PT y $2.239 \pm 0.089b$ de PA %, los datos de frass indican que estos materiales pueden presentar propiedades físico-químicas compatibles con su uso, pero con marcada heterogeneidad entre tratamientos.

Los resultados concuerdan con estudios previos que indican que los residuos de insectos (frass) derivan de la bioconversión de residuos orgánicos y pueden contener cantidades interesantes de nutrientes, aunque su calidad varía mucho según el origen y proceso (*Hermetia illucens*, TM, etc.) (Nieto Cantero, Romero-Gil, Suárez- Cáceres, Delgado, & Fernández-Cabanás, 2025).

Los tratamientos realizados frass de residuos orgánicos (sustrato procesada por la larva) muestra los parámetros fisicoquímicos (RC, RL, RM, PLS), para RL ($80.0 \pm 2.00a$ %) presenta la mayor humedad, en tanto que PLS ($9.67 \pm 0.58d$) muestra la menor, puede que existan diferencias en la madurez del sustrato; en cenizas (CZ), RL registra el mayor contenido con 19.07 ± 0.23^a , puede que contenga una mayor concentración de materia inorgánica residual, sin embargo, RM con $1.15 \pm 0.05d$ presenta una ceniza muy baja, el cual refleja un sustrato aún rico en materia orgánica o con menor grado de mineralización; el pH varía entre 3.97 (RL) y 5.98 (PLS), lo que indica que algunos tratamientos se encuentran en rangos ácidos moderados; la conductividad eléctrica (CE) es mayor en RC ($133 \mu S/cm$ aprox) y menor en PLS (~ 14.33), contiene una mayor salinidad o concentración del ión en RC. Los porcentajes de materia orgánica (MO %) muestran que RM ($67.00 \pm 0.50a$) tiene la mayor proporción, lo cual es positivo desde la perspectiva orgánica; en cambio RC ($50.75 \pm$

1.67d)

es

menor.

Los contenidos de nitrógeno total (NT %) y proteína total (PT %) varían notablemente: RC posee 2.52 ± 0.10^a % de NT y 15.92 ± 0.91^a % de PT, en donde contiene mayores nutrientes, puede deberse al proceso de degradación/maduración empleado. Finalmente, el contenido de ácido PA % varía, RL (4.037 ± 0.071^a) es el más elevado, lo que podría relacionarse con la acumulación de ácidos orgánicos residuales. Estos resultados indican que no alcanzan una uniformidad en sus propiedades fisicoquímicas, la variabilidad entre tratamientos destaca que la selección del residuo y su procedimiento de gestión (por ejemplo, tipo de residuo, nivel de tratamiento, tiempo, humedad) es clave para obtener materiales útiles.

Comparando ambos grupos (control vs frass), se aprecia que los tratamientos de frass tienden a mostrar una mayor uniformidad de materia orgánica, una reducción (en algunos casos) de NT y PT en comparación con residuos sin tratar, y en algunos casos pH más favorable y humedad más elevada, aunque el alto contenido de sal (CE) observado en algunos frass (como RL con CE $\sim 169 \mu\text{S}/\text{cm}$) puede requerir precaución en su aplicación, sobre todo en suelos ya que son salinos, los valores altos de PT % y PA % en ciertos tratamientos de frass en RC puede contribuir significativamente al suministro de fósforo y proteína. Esto coincide con lo señalado por (Beesigamukama, Subramanian, & M. Tanga, 2022) al indicar que la “Calidad de los nutrientes y estado de madurez del fertilizante de excremento” es clave para su adopción. Por otro lado, los residuos sin transformar (control) muestran mayor variabilidad y en ciertos casos pH muy ácido o humedad muy baja, lo cual requiere de tratamiento adicional.

Las diferencias entre tratamientos hacen evidente que no todos los residuos orgánicos o frass son iguales y que la calidad del material final depende en gran medida del origen del residuo, del proceso de conversión, del grado de estabilización y del manejo de humedad/Ph, por eso se recomienda: evaluar la madurez del material, verificar la salinidad (CE), pH y contenido de nutrientes para ajustar dosis y evitar impactos negativos en cultivos sensibles, comparar efectividad agronómica de los materiales mediante ensayos de crecimiento de plantas.

La imagen 4 muestra la curva de calibración para la concentración la concentración de fosfato en función de la absorbancia a 640 nm.

El coeficiente de determinación ($R^2 = 0.9431$) indica un ajuste adecuado (94.31 % de la variabilidad de la absorbancia es explicada por la concentración).

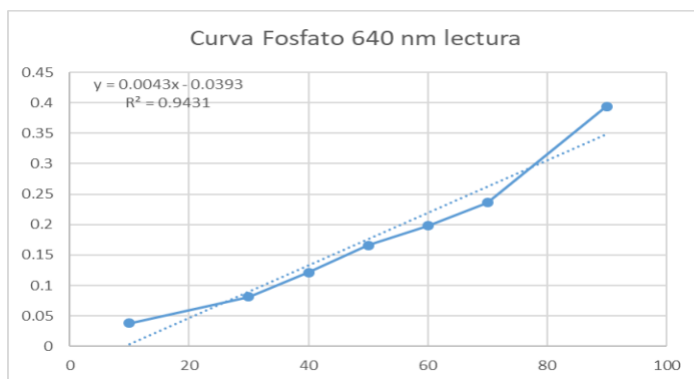


Figura 4. Curva de calibración de fosfatos

Conclusiones

La presente investigación confirma que la Mosca Soldado Negra (*Hermetia illucens*) es una alternativa para la gestión de residuos orgánicos, al demostrar su capacidad de transformar sustratos variados en biomasa de valor nutricional. Entre los hallazgos más importantes, se destaca que las larvas alimentadas con residuos de comida alcanzaron un crecimiento superior en peso y talla, lo que prueba la relación directa entre la composición de los tratamientos realizados y la eficiencia del proceso de bioconversión.

Los resultados del estudio muestra la posibilidad de mejorar la gestión de residuos mediante procesos biológicos de bajo impacto ambiental, que tiene como beneficios la reducción de contaminantes y la generación de subproductos útiles para la industria agroalimentaria y agrícola, aunque se reconoce que en el desarrollo larval representa una limitación importante, ya que influyen factores como la calidad, cantidad y composición nutricional de los residuos de manera significativa en la productividad y estabilidad del sistema, por lo tanto, futuras investigaciones deberán enfocarse en estandarizar las

condiciones de alimentación, explorar la combinación de distintos sustratos y evaluar el impacto de escalamiento a nivel industrial, que garanticen la implementación responsable de esta biotecnología, la Mosca Soldado Negra no solo ofrece reducir la carga ambiental de los residuos orgánicos, sino que también abre la oportunidad de impulsar modelos de producción sostenibles que integren ciencia, innovación y responsabilidad ambiental.

Bibliografía

- Peñaloza Acosta, A. (2024). Mosca soldado negra, de interés mundial por su alto potencial nutritivo. *Periódico UNAL*.
- Yong Chia, S., Chrysantus, M., M. Khamis, F., A. Mohamed, S., Salifu, D., Sevgan, S., . . . Ekesi, D. (2018). Temperaturas umbral y requerimientos térmicos de la mosca soldado negra *Hermetia illucens* : Implicaciones para la producción en masa. *PLoS ONE*, 13(11).
- Abduh, Y., Ayu Prawitasari, D., & Aulia Fitriana, U. (2022). Efectos de la hidrólisis enzimática sobre la actividad antioxidante del hidrolizado proteico derivado de larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens* L.). *Revista de biología aplicada y biotecnología* 11(2), 151-157.
- Aguilera, H. (1989). *Tratado de edafología México*. Universidad Nacional Autónoma de México: Tomo 1.

- Beesigamukama, D., Subramanian, S., & M. Tanga, C. (2022). Nutrient quality and maturity status of frass fertilizer from nine edible insects. *Scientific Reports volume 12*(7182).
- Belperio, S., Cattaneo, A., Eleonora Nannoni, Sardi, L., Martelli, G., Dabbou, S., & Meneguz, M. (2024). Evaluación de la utilización del sustrato y la eficiencia de bioconversión de larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*): efecto de la composición de la dieta sobre el crecimiento y la temperatura de desarrollo. *Animals 14*(9).
- Bermúdez-Serrano, I. M., & Sánchez Velázquez, O. A. (2023). Aprovechamiento integral de la Mosca Soldado Negra: Bioconversión, sostenibilidad y desafíos emergentes. *Scientia Agropecuaria*, vol.14 no.4.
- Bernal Neira, S. (2025). *Aprovechamiento y transformación de residuos orgánicos como solución sistémica a problemáticas socioeconómicas y ambientales de la ciudad de Bogotá*. Universidad de los Andes.: Disponible en: <https://hdl.handle.net/1992/76619>.
- Cabrera Gutierrez, D., & López Gutierrez, A. L. (2021). *EVALUACIÓN DE LA LARVA DE MOSCA SOLDADO NEGRA (Hermetia illucens) como alternativa para la degradación de residuos sólidos urbanos*. BOGOTÁ, D.C: FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA FACULTAD DE INGENIERÍAS PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA.
- Calvo lópez, C. (2022). *Análisis de sistemas de aprovechamiento de residuos orgánicos mediante la utilización de la mosca soldado negra (Hermetia illucens)*. [Trabajo de grado, Fundación Universidad de América] Repositorio Institucional Lumieres. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8961>.
- Carvajal Muñoz, J. S., & Mera Benavides, A. C. (2010). Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. *Rev. Producción + limpia 5*(2), 77-96.

- Casanovas Cosío, E., Reyna Reyes, R., Velladares Enriquez, N., Suárez del Villar-Labastida, A., & Álvarez-Sánchez, A. (2024). Rendimiento de larvas de moscas en varias cosechas con tres proporciones de salvado de trigo y gallinaza. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas* 7(1), p. 60-70.
- Cattaneo, A., Belperio, S., Sardi, L., Martelli, G., Nannoni, E., Dabbou, S., & Meneguz, M. (2025). Ingesta óptima de alimento y densidad de cría de las larvas de la mosca soldado negra: una perspectiva de bienestar (Parte II). *Insectos* 16(1).
- Chavez, M., Uchanski, M., & Tomberlin, J. (2024). Impactos del excremento larvario de la mosca soldado negra, *Hermetia illucens*, en la producción de lechuga y rúcula. *Sec. Biología de Cultivos y Sostenibilidad* 8(1).
- Chavez, M., Villa Ignacio, A., Craver, J., & Bousselot, J. (2025). Investigating Black Soldier Fly Larval (*Hermetia illucens*) Frass Applications as a Partial Peat Replacement and Liquid Fertilizer in Brassicaceae Crop Production. *Agrochemicals* 4(2), 8.
- Coronel Sarmiento, A., & Ramón Poma, G. (2022). *Planta de compostaje y reciclaje para la gestión de residuos sólidos en Río Blanco, Ecuador*. Ecuador: Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Azuay. .
- Cruz Aviña, J. R. (2024). Determinación de los parámetros de producción de la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*, Linnaeus, 1758) a nivel de escala en San Pablo Tepetzingo, Puebla, México. *MIX-TEC, Vol. 4, Núm. 6*, pp. 14-27.
- Cuasquer Pastas, E. D. (2025). *Aprovechamiento de residuos orgánicos en plazas de mercado, desafíos y tecnologías hacia un desarrollo sostenible: una revisión. Trabajo de grado especialización, Especialización en Gestión Ambiental*. Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia: Universidad de Antioquia.
- De Marco, M., Martinez, S., Hernandez, F., Madrid, J., Gai, F., Rotolo, L., . . . Schiavone, A. (2015). Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and

- Hermetia illucens*) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. *Animal Feed Science and Technology* 209.
- Delgado Eraso , D., Concha Lozada , C., Vidal Pinilla , G., & Fernández, A. (2021). Innovación social en comunidades rurales. *Dialnet N°31*, 78-108.
- Díaz Vásquez, M. A. (2016). *Percepción y práctica de las madres sobre los peligros ambientales en la vivienda rural. Caserio Jotero-Jayanca*. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/971>.
- Diclaro II, J., & Kaufman, P. (2009). Black soldier fly *Hermetia illucens* Linnaeus (Insecta: Diptera: Stratiomyidae). *EDIS* 2009(7).
- Escobar Montoya, Q., López Juárez, S., Parra Pacheco, B., García Trejo, J., & Aguirre Becerra, H. (s.f.). Pretratamiento de residuos orgánicos para la alimentación de la mosca soldado negro (*Hermetia illucens*): Una revisión.
- Feng, S., Ma, H., Wua , C., ArunPrasanna , V., Liang, X., Zhang, D., & Chen, B. (2025). Un enfoque de aprendizaje automático para optimizar las propiedades nutricionales y la eficiencia del reciclaje de residuos orgánicos generados por la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*). *Tecnología de biorrecursos* 423(1), 132254.
- Feng, S., Ma, H., Wu, C., ArunPrasanna, V., Liang, X., Zhang, D., & Chen, B. (2025). A machine-learning approach to optimize nutritional properties and organic wastes recycling efficiency conversed by black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Bioresour Technol* 423:132254, doi: 10.1016/j.biortech.2025.132254. .
- Figueredo, J., & Albarracín, M. (2021). Alternativas de alimentación de monogástricos a base de larvas de Soldado Negro (*Hermetia illucens*): Revisión de literatura. *Revista colombiana de zootecnia* 7(12), p. 35-48.
- Fitriana, E. L., Budiarti Laconi, E., Apri Astuti, D., & Jayanegara, A. (2022). Efectos de diversos sustratos orgánicos sobre el rendimiento del crecimiento y la composición

nutricional de larvas de mosca soldado negra: un metanálisis. *Informes sobre tecnología de biorrecursos*, vol 18, 101061.

Flores Sánchez, M. A., Campos Guillén, J., Javier de Moure Flores, F., González Chávez, M. M., Galván Camacho, L. A., Quezada Morales, D. L., & Ramos López, M. Á. (2024). Avances en el estudio de la modificación del contenido de ácidos grasos en las larvas de *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) para la producción de biodiésel a través de cambios bioquímicos en la fuente de alimentación. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*. 27, 0-0.

Gallardo, K. (2013). *Obtención de compost a partir de residuos orgánicos impermeabilizados*. Universidad Nacional de Ingeniería.

Gautam, B., Tiwari, S., Raj Pokhrel, M., Tomberlin, J. K., & Khanal, P. (2025). Expanding black soldier fly (BSF; *Hermetia illucens*; Diptera: Stratiomyidae) in the developing world: Use of BSF larvae as a biological tool to recycle various organic biowastes for alternative protein production in Nepal. *Biotechnology Reports Vol 45*, e00879.

Gorrín Armas, G. (2021). Estado del arte sobre la utilización de la pupa del gusano de seda en la alimentación animal. *Rev. prod. anim.* 33(3), 1-13.

Grande Tovar , C., & Del Rio Osorio, L. (2021). Valorización de residuos industriales en la producción de almidón de yuca. *Prospectiva* 19(2), 3.

Guerra Hernández, L. (2024). *Residuos orgánicos y economía circular: una incursión hacia el cambio a un modelo de economía circular en el tratamiento de residuos en empresas cafeteras colombianas*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/209962>.

Guevara González, J. A., García Contreras, A., & De Loera Ortega, Y. (1993). *Gestión ambiental*. Manual de Buenas Prácticas de Producción Porcina. Lineamientos generales para el pequeño y mediano productor de cerdos. Red Porcina Iberoamericana. 78-96.

- Guzmán Cruz, R., Ferruzca Campos, E. A., & Guevara González, R. (2024). Insectos como alimento y para el desarrollo de una agricultura sostenible. *PCT*, pp. 272–292.
- Hauser, M., & Woodley, M. (2015). The historical spread of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera, Stratiomyidae, Hermetiinae), and its establishment in Canada. *Journal of the Kansas Entomological Society* 146, 51-54.
- Heredia Sucari, J. (2024). *Evaluación del rendimiento de frijol (Phaseolus vulgaris L.) con diferentes dosis foliares de biofertilizante obtenido de residuos orgánicos de mosca soldado (Hermetia illucens L.) bajo condiciones de invernadero en Huasacache-Arequipa. Tesis. Arequipa- Perú.*
- Hernández Hernández, M., Muñoz Aparicio, C. G., & LLamas Hubner, I. S. (2023). *La generación de residuos sólidos urbanos: un desafío para el desarrollo sostenible. Villahermosa, Tabasco, México: Primera edición. pp. 11.*
- 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.
- Jeffery, K., Sheppard, D. C., Craig Sheppard, D., & Joyce, J. A. (2002). Rasgos de vida seleccionados de moscas soldado negras (Diptera: Stratiomyidae) criadas con tres dietas artificiales. *Annals of the Entomological Society of America* 95(3), 379–386.
- Klammsteiner, T., Turan, V., Fernández-Delgado Juárez, M., Oberegger, S., & Insam, H. (2020). Suitability of Black Soldier Fly Frass as Soil Amendment and Implication for Organic Waste Hygienization. *Agronomy* 10(10), 1578.
- Lomonaco, G., Franco, A., De Smet, J., Scieuzo, C., Salvia, R., & Falabella, P. (2024). Larval Frass of *Hermetia illucens* as Organic Fertilizer: Composition and Beneficial Effects on Different Crops. *Insects* 15(4).

- López Juárez, S., Aguirre Becerra, H., Escobar Montoya, Q. C., García Trejo, J. F., Feregrino Pérez, A. A., & Parra Pacheco, B. (2024). Efecto de la luz en la producción de *Hermetia illucens*: revisión. *PCT 1(1)*, pp. 104–118.
- López Juárez, S., Aguirre Becerra, H., Escobar Montoya, Q., García Trejo, J., Feregrino Pérez, A., & Parra Pacheco, B. (2024). Efecto de la luz en la producción de *Hermetia illucens*: revisión. *PCT*, pp. 104–118. doi:doi: 10.61820/pct.vi.1079.
- López Portas, J. I., Caltzontzin Rabell, V., & Gutiérrez Antonio, C. (2023). *Aprovechamiento de residuos de la cría de insectos (frass) como fertilizante: aplicación y beneficios Use of insect rearing residues (frass) as fertilizer: application and benefits*. . BIOECONOMÍA SUSTENTABLE Y CIRCULAR RUMBO AL DESARROLLO SOSTENIBLE, 67.
- Lu, S., Taethaisong, N., Meethip, W., Surakhunthod, J., Sinpru, B., Sroichak, T., . . . 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, 831.
- Mašková, Z., Medo, J., Kolesár, E., Tančinová, D., Ivanišová, E., Urminská, D., . . . Barboráková, Z. (2025). *Hermetia illucens* in the Process of Kitchen Waste Biodegradation: The Effect of Different Approaches to Waste Storage on the Microbiological Profile and Nutritional Parameters of the Larvae. *Insects 16(1)*, 87.
- Miranda, C., Cammack, J., & Tomberlin, J. (2020). Mass Production of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (L.), (Diptera: Stratiomyidae) Reared on Three Manure Types. *Animals 10(7)*, 1243.
- Moh'd , M., Mawazo , J., Ole , P., Joel , L., & Kadegehe , G. (2024). Modelado de la relación de conductividad eléctrica entre el extracto de pasta saturada y la dilución 1:2,5 en diferentes clases texturales del suelo. *Frente. Soil Sci. 4*.

- Moreno Cárdenas, S. M. (2013). *Propuesta para el aprovechamiento de residuos orgánicos domésticos mediante la producción de abonos en aldeas infantiles sos*. Bogotá: Recuperado de: <https://hdl.handle.net/10901/10612>.
- Muño Iniestra, D., Mendona Cantú, A., López Galindo, F., Soler Aburto, A., & Hernández Moreno, M. M. (s.f.). *Edafología (Manual de practicas)*. Iztacala: Universidad Nacional Autónoma De México.
- Muñoz Granada, L. M., & Parada Esquivel, M. S. (2022). *Definición de las condiciones de operación para la producción de larva de mosca soldado negra (Hermetia Illucens)*. Fundación Universidad de América.
- Murillo Montoya, S. A., Mendoza Mora, A., & Fadul Vásquez, C. J. (2020). La importancia de las enmiendas orgánicas en la conservación del suelo y la producción agrícola. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, ISSN-e 2422-4456, Vol. 7, N°. 1, 58-68.
- Naser El Deen , S., van Rozen , K., Elissen, H., van Wikselaar, P., Fodor, I., van der Weide , R., . . . Veldkamp , T. (2023). Bioconversión de diferentes corrientes de residuos de origen animal y vegetal y estiércol por larvas de mosca soldado negra *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae). *Insectos 14*(2).
- Ogello, E., Outa, N., Muthoka, M., Juma, F., & Hoinkis, J. (2025). Optimizing Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) production: effects of substrate variation on biomass, nutritional quality, hatchability, fecundity, and frass quality. *Frontiers in Sustainable Food Systems*.
- Phillips, A. (20 de febrero de 2021). La historia de la humanidad contada a través de la basura. *LA VANGUARDIA*.
- Pinheiro Oliveira, K. J., Luque Viana, M., Matulovic da Silva Rodrigueiro, M., Mollo Neto, M., Mustafé Oliveira, K. S., José de Oliveira Morais, F., . . . Barbosa dos Santos, P. (2023). USO DE RESIDUOS EN LA ALIMENTACIÓN DE LARVAS DE MOSCA SOLDADO NEGRO (*HERMETIA ILLUCENS*): REVISIÓN

- Purkayastha, D., & Sarkar, S. (2021). Sustainable waste management using black soldier fly larva: a review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-26.
- Quiceno Ocampo, W. (2025). *Biogas: una prospectiva energética para la transición en pequeña y mediana escala*. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/65931>.
- Quinde Pérez, A. E., & Roldan Domínguez, J. E. (2025). *Producción y valoración nutricional de la harina de larva de mosca soldado negra (Hermetia illucens)*. Universidad de Cuenca.
- Radzikowska-Kujawska, D., Sawinska, Z., Grzanka, M., Łukasz Kowalczewski, P., Sobiech, L., Świtek, S., . . . Nowicki, M. (2023). El excremento de *Hermetia illucens* mejora el estado fisiológico de la albahaca (*Ocimum basilicum* L.) y su valor nutricional en condiciones de sequía. *PLOS One* 18(1), pp.19.
- Reséndiz Luna, J., Caltzontzin Rabell, V., & Gutiérrez Antonio, C. (2025). Producción de combustible sustentable de aviación a partir de materias lipicas residuales: una revisión. *PCT* 8(14), pp. 31–46.
- Reséndiz Luna, J., Gutiérrez Antonio, C., & Caltzontzin Rabell, V. (2024). PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLE. *Perspectivas de la ciencia y la tecnología*, 31-42.
- Rodríguez Guerra, A., & Baca Cajas, K. (2022). Generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). *Dialnet* 43(1), 49-61.
- Rodríguez Guerra, A., & Baja Cajas, K. A. (2022). Generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU): análisis de una década de gestión en países de Europa y América. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas: REMCB*, 43(1), 49-61.
- Sánchez Velázquez, J., Peña Herrejón, G. A., Josafat de León Ramírez, J., & García Trejo, J. F. (2022). Revisión: Alimentación no tradicional para mejorar el rendimiento del

- crecimiento de peces en condición sub y supra-óptima de temperatura. *PCT* 5(8), pp. 30-43.
- Sawinska, Z., Radzikowska-Kujawska, D., Łukasz Kowalczewski, P., Grzanka, M., Sobiech, Ł., Skrzypczak, G., . . . Świtek, S. (2024). Fertilización con excrementos de *Hermetia illucens*: un nuevo enfoque para mejorar la resiliencia y la eficiencia fotosintética de la lechuga en condiciones de estrés por sequía. *Appl.* 14(6).
- Scala, A., Cammack, J., Salvia, R., Scieuzo, C., Franco, A., Bufo, S., . . . Falabella, P. (2020). Rearing substrate impacts growth and macronutrient composition of *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) larvae produced at an industrial scale. *Sci Rep* 10(1), 19448.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. (1970). En *Instructivo para las determinaciones e interpretación de los análisis físicos de los suelos agrícolas Subsecretaría de Desarrollo y fomento Agropecuario y Forestal*. México.
- Shumo, M., Khamis, F., Tanga, C., M. Fiaboe, K., Subramanian, S., Ekesi, S., . . . Borgemeister, C. (2019). Influence of Temperature on Selected Life-History Traits of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Reared on Two Common Urban Organic Waste Streams in Kenya. *Animals* 9(3), 79.
- Singer, M., & Munns, D. (1992). *Soils an introduction*. Segunda edición. Ed. Macmillan. Singapore.
- Suarez Rivadeneira, J. E. (2025). Bioconversión de residuos orgánicos, utilizando larvas de *Hermetia Illucens*. Un caso de estudio en la Provincia de Bagua, norte del Perú. *Segundo Encuentro Latinoamericano sobre Compostaje y su Impacto en el Medio Ambiente*.
- Suarez Rivadeneira, J. E. (s.f.). Bioconversión de residuos orgánicos, utilizando larvas de *Hermetia Illucens*. Un caso de estudio en la Provincia de Bagua, norte del Perú.

- Tirtawijaya, G., Lee, J.-H., Imran Bashir , K. M., Lee, H. J., & Choi, J. S. (2024). Evaluating the Efficiency of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae in Converting Mackerel Head Waste into Valuable Resources. *Animals* 14(9), 1332.
- Toro Pérez, M. (2025). *Identificación y caracterización de insectos como fuente alternativa para la alimentación animal y humana: Una revisión sistemática. [Tesis de maestría]*. . Medellín, Colombia.: Universidad de Antioquia.
- Van Huis, A., & Tomberlin, J. (2017). Los insectos como alimento y pienso: de la producción al consumo. Editorial Académica de Wageningen.
- Vega Leyva, C. A. (2025). *Mejoramiento de la calidad de los suelos para la obtención del compost mediante los residuos orgánicos en la ciudad de Ica*. Universidad Nacional San Luis Gonzaga.
- Velásquez Moreno, F., Silva Ton, A. P., Guerra Rosa, C. M., & Willian de Freitas, L. (2021). USO DE INSECTOS COMO ALTERNATIVA EN LA NUTRICIÓN AVÍCOLA: REVISIÓN. *Ciencias Agrarias y Biológicas* 10(3), p. e25810313274.
- Vilella, M. (s.f.). *Cero Residuos*. Global de Zero Waste Europe: Economía circular.
- Vinicius Dutra, D. (2024). *EXCREMENTOS DE MOSCA SOLDADO NEGRA (Hermetia illucens)(BSFF black soldier fly frass): POTENCIAL Y PERSPECTIVAS DE FUTURO - REVISIÓN*. SANTA TERESA.
- Woodley, N. (2001). A World Catalog of the Stratiomyidae (Insecta: Diptera). *Myia*. 11. , 1-475. .
- Yassi , A., Kjellström, T., Theo de Kok, & Guidotti, T. (2002). *Salud Ambiental Básica*. Oficina Regional para América Latina y el Caribe Boulevard de los Virreyes 155, Col. Lomas de Virreyes 11000, México D.F., México: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Primera edición.

Zandi-Sohani, N., & Tomberlin, J. (2024). Comparison of Growth and Composition of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* L.) Larvae Reared on Sugarcane By-Products and Other Substrates. *Insects* 15(10), 771.

Tabla 15. Peso de las larvas h. illucens de los días 0, 2, 6, 10,14 y 18 días

Tratamiento residuos cocina	Peso en gramos de 10 larvas			
	Trat 1	Trat2	Trat 3	Promedio rc
Día 0	0.4	0.4	0.4	0.4
Día 2	1.33	1.13	1.34	1.26666667
Día 6	4.64	4.9	4.6	4.71333333
Día 10	4.77	4.99	4.66	4.80666667
Día 14	4.920	4.929	4.861	4.903
Día 18	3.877	3.516	3.940	3.781
Tratamiento residuos mango	Peso en gramos de 10 larvas			
	Trat 1	Trat 2	Trat 3	Promedio rc
Día 0	0.4	0.4	0.4	0.4
Día 2	0.69	0.72	0.8	0.73666667
Día 6	2.08	2.47	1.9	2.15
Día 10	2.039	2.31	2.077	2.142
Día 14	2.188	2.276	2.393	2.2856
Día 18	2.808	3.165	2.689	2.887

Tratamiento residuos Lactosuero	Peso en gramos de 10 larvas			
	Trat 1	Trat 2	Trat 3	Promedio rc
Día 0	0.32	0.610	0.42	0.45
Día 2	0.8708	0.9411	0.9204	0.910
Día 6	1.5431	1.6256	1.5067	1.558
Día 10	1.6140	1.9557	1.6347	1.7348
Día 14	2.5495	2.7685	2.1517	2.4899
Día 18	2.887	3.8606	3.8187	3.5221
Tratamiento residuos Alimento inicial	Peso en gramos de 10 larvas			
	Trat 1	Trat 2	Trat 3	Promedio rc
Día 0	0.6230	0.5030	0.5310	0.552
Día 2	0.6644	0.5140	0.5504	0.57
Día 6	1.1163	1.1143	1.1100	1.1135
Día 10	1.6206	1.5358	1.5548	1.5704
Día 14	1.6496	1.7313	1.9955	1.7786
Día 18	1.9900	1.8760	1.9680	1.9446

Tabla 16. Medidas de las larvas h. illucens de los días 0, 2, 6, 10,14 y 18 días

Medición tamaño en cm									
Trat residuo cocina					Trat residuo cocina				
Día 0	Trat 1	Trat 2	Trat 3	Promedio total	Día 2	Trat 1	Trat 2	Trat 3	Promedio total
1	1	1.2	1		1	1.8	1.5	1.6	
2	1.4	1	1.1		2	1.8	1.6	1.7	
3	1.3	1.1	1.2		3	1.8	1.5	1.4	
4	1.2	1	1.1		4	1.8	1.6	1.6	
5	1	1	1.2		5	1.5	1.4	1.7	
6	1	1.2	1.2		6	1.6	1.6	1.6	
7	0.9	1.1	1		7	1.6	1.4	1.6	
8	1.2	1.3	0.9		8	1.6	1.4	1.3	
9	1	1	1.1		9	1.6	1.6	1.5	
10	1	1.2	1		10	1.5	1.5	1.6	
%	1.1	1.11	1.08	1.09666667	%	1.66	1.51	1.56	1.57666667
Trat residuo cocina					Trat residuo cocina				
Día 6	Trat	Trat	Trat	Promedio	Día	Tra	Trat 2	Trat	Promedio

	1	2	3	total	10	t 1		3	total
1	2.9	2.3	2.3		1	2.3	2.7	2.4	
2	2	2.3	2.2		2	2.5	2.5	2.7	
3	2	2.5	2.7		3	2.4	2.6	2.5	
4	2.3	2.3	2.2		4	2.5	2.4	2.6	
5	2.5	2.1	2.3		5	2.6	2.5	2.5	
6	2.3	2.4	2.3		6	2.7	2.3	2.3	
7	2.2	2.5	2.4		7	2.4	2.6	2.4	
8	2.2	2.3	2.7		8	2.7	2.5	2.5	
9	2.3	2.4	2.2		9	2.5	2.3	2.6	
10	2.4	2.4	2.4		10	2.6	2.7	2.5	
%	2.31	2.35	2.37	2.34333333	%	2.52	2.51	2.5	2.51
Trat residuo cocina					Trat residuo cocina				
Día 14	Trat 1	Trat 2	Trat 3	Promedio total	Día 18	Tra t 1	Trat 2	Trat 3	Promedio total
1	2.4	2.5	2.4		1	1.9	2.3	2.4	
2	2.5	2.0	2.5		2	2.4	2.4	2.2	
3	2.5	2.5	2.6		3	2.3	2.5	2.2	
4	2.6	2.6	2.7		4	2.5	2.6	2.5	
5	2.6	2.7	2.7		5	2.4	2.7	2.1	
6	2.7	2.6	2.7		6	2.4	2.7	2.0	
7	2.5	3.0	2.5		7	2.5	2.5	2.5	
8	2.4	2.6	2.6		8	2.2	2.3	2.5	
9	2.7	2.7	2.5		9	2.2	2.2	2.5	
10	2.7	2.6	2.5		10	2.1	2.5	2.3	
%	2.56	2.58	2.57	2.57	%	2.29	2.47	2.32	2.36

Trat residuo Mango					Trat residuo Mango				
Dia 0	Trat 1	Trat 2	Trat 3	Promedio total	Dia 2	Tra t1	Trat2	Trat 3	Promedio total
1	1.1	1.2	1.1		1	1.4	1.2	1.5	
2	1	1	1.4		2	1.1	1.3	1.5	
3	0.9	1.1	1.1		3	1.2	1.1	1.2	

4	1	1	1.2		4	1.3	1.1	1.3	
5	1	1	1.1		5	1.3	1.2	1.2	
6	1.2	1.3	0.9		6	1.3	1.3	1.2	
7	1.2	1.1	1.1		7	1.4	1.2	1.1	
8	1.2	1.2	1		8	1.1	1.1	1.2	
9	1.2	1.3	1		9	1.1	1	1	
10	1.1	1.3	1.1		10	1.2	1	1.2	
%	1.09	1.15	1.1	1.11333333	%	1.24	1.15	1.24	1.21

Trat residuo Mango

Dia 6	Trat 1	Trat 2	Trat 3	Promedio total
1	2.1	1.9	1.6	
2	1.5	1.7	1.6	
3	1.6	1.8	1.9	
4	1.7	1.5	1.5	
5	1.6	1.6	1.7	
6	1.6	1.8	1.8	
7	1.8	1.6	1.6	
8	1.6	1.8	1.5	
9	1.8	1.7	1.6	
10	1.7	1.9	1.8	
%	1.7	1.73	1.66	1.69666667

Trat residuo Mango

Dia 10	Trat 1	Trat2	Trat3	Promedio total
1	2.5	1.8	2.1	
2	2	2	1.8	
3	2.2	2.1	2	
4	2	1.9	2	
5	1.6	2.1	1.7	
6	1.6	1.7	1.9	
7	1.9	1.9	2	
8	2	1.7	2	
9	1.7	2	2.2	
10	2	1.5	1.8	
%	1.95	1.87	1.95	1.92333333

Trat residuo Mango

Dia 14	Trat 1	Trat 2	Trat 3	Promedio total
1	2.1	2.0	2.2	
2	2.3	2.2	2.0	
3	2.1	1.9	2.1	
4	2.4	2.1	2.0	
5	2.2	2.0	2.1	
6	2.1	2.1	2.2	
7	2.0	2.2	2.3	
8	2.1	1.9	2.3	

Trat residuo Mango

Dia 18	Trat1	Trat2	Trat 3	Promedio total
1	2.0	2.4	2.0	
2	2.0	2.2	2.0	
3	2.2	2.2	1.9	
4	2.3	2.4	1.9	
5	2.0	2.2	2.0	
6	2.2	2.0	2.3	
7	2.4	2.2	2.0	
8	2.0	2.2	2.0	

9	2.2	2.2	2.2		9	1.8	2.3	1.5	
10	2.0	2.0	2.1		10	1.9	1.8	2.2	
%	2.15	2.06	2.15	2.12	%	2.08	2.19	1.98	2.0833
Trat residuo Lactosuero					Trat residuo Lactosuero				
Día 0	Tra t 1	Tra t 2	Tra t 3	Promedio total	Día 2	Trat 1	Tra t 2	Tra t 3	Promedio total
1	1.4	1.2	1.2		1	1.5	1.5	1.5	
2	1.3	1.2	1.3		2	1.4	1.6	1.5	
3	1.3	1.2	1.1		3	1.6	1.6	1.4	
4	1.4	1.1	1.0		4	1.5	1.7	1.6	
5	1.2	1.2	1.2		5	1.7	1.5	1.5	
6	1.4	1.2	1.3		6	1.6	1.7	1.5	
7	1.3	1.2	1.1		7	1.4	1.6	1.6	
8	1.3	1.0	1.1		8	1.4	1.5	1.6	
9	1.3	1.2	1.2		9	1.5	1.7	1.5	
10	1.2	1.7	1.2		10	1.5	1.5	1.5	
%	1.31	1.22	1.17	1.23333333	%	1.51	1.59	1.52	1.54
Trat residuo Lactosuero					Trat residuo Lactosuero				
Día 6	Tra t 1	Tra t 2	Tra t 3	Promedio total	Día 10	Trat 1	Trat 2	Tra t 3	Promedio total
1	1.7	1.8	1.7		1	2.0	1.9	2.0	
2	1.8	1.9	1.9		2	1.9	2.3	2.0	
3	1.7	1.9	2.0		3	2.2	2.5	2.2	
4	1.8	1.9	1.8		4	2.0	2.1	2.2	
5	1.9	1.9	1.7		5	2.0	2.3	2.0	
6	1.9	2.0	1.8		6	2.0	2.2	2.0	
7	1.9	1.7	1.7		7	2.0	2.1	2.2	
8	1.9	2.0	1.7		8	2.5	2.0	1.9	
9	1.8	1.9	1.7		9	2.2	2.2	1.8	
10	1.9	2.0	1.9		10	2.0	2.0	2.0	
%	1.83	1.9	1.79	1.84	%	2.08	2.18	2.03	2.0966
Trat residuo Lactosuero					Trat residuo Lactosuero				
Día	Tra	Trat	Tra	Promedio	Día	Tra	Trat	Tra	Promedio total

14	t 1	2	t 3	total	18	t 1	2	t 3	
1	2.1	2.2	2.0		1	2.5	2.8	2.5	
2	2.2	2.2	2.0		2	2.5	2.0	2.5	
3	2.1	2.1	2.0		3	2.4	2.5	2.6	
4	2.2	2.2	2.1		4	2.5	2.7	2.6	
5	2.1	2.3	2.2		5	2.7	2.5	2.5	
6	2.2	2.4	2.1		6	2.6	2.5	2.5	
7	2.1	2.4	2.0		7	2.8	2.6	2.5	
8	2.3	2.3	2.2		8	2.1	2.6	2.3	
9	2.2	2.2	2.0		9	2.2	2.7	2.6	
10	2.3	2.2	2.2		10	2.6	2.8	2.1	
%	2.18	2.25	2.08	2.17	%	2.49	2.57	2.47	2.51
Trat residuo Alimento Inicio de pollo					Trat residuo Alimento Inicio de pollo				
Dia 6	Tra t1	Tra t2	Tra t 3	Promedio total	Dia 10	Tra t1	Trat2	Trat3	Promedio total
1	1.5	1.6	1.7		1	2.0	1.9	1.7	
2	1.6	1.6	1.6		2	2.0	2.2	1.9	
3	1.7	1.6	1.5		3	1.7	1.7	1.8	
4	1.5	1.7	1.6		4	1.9	1.7	1.7	
5	1.6	1.5	1.6		5	2.0	1.9	2.0	
6	1.6	1.6	1.8		6	1.9	1.8	1.7	
7	1.6	1.6	1.5		7	1.9	1.9	1.7	
8	1.6	1.6	1.5		8	1.9	1.7	1.8	
9	1.5	1.5	1.6		9	2.0	1.8	1.7	
10	1.4	1.6	1.5		10	1.9	1.8	1.7	
%	1.56	1.74	1.59	1.63	%	1.92	1.84	1.77	1.84333
Trat residuo Alimento Inicio de pollo					Trat residuo Alimento Inicio de pollo				
Dia 14	Tra t1	Tra t2	Tra t 3	Promedio total	Dia 18	Tra t1	Trat 2	Trat 3	Promedio total
1	2.0	1.9	2.0		1	2.2	2.0	2.3	
2	2.2	1.9	1.8		2	2.3	2.2	2.1	
3	2.0	2.0	1.8		3	2.2	1.9	2.2	

4	2.0	1.9	1.8		4	2.5	2.2	2.1	
5	2.0	1.9	1.8		5	2.1	2.1	1.9	
6	1.9	1.8	1.8		6	2.3	2.1	2.2	
7	2.1	1.7	1.9		7	2.2	2.0	2.1	
8	1.9	1.7	1.9		8	2.1	2.3	1.9	
9	1.8	2.0	1.9		9	2.0	1.9	2.4	
10	2.0	1.9	1.8		10	1.9	2.1	1.9	
%	1.99	1.87	1.85	1.9033	%	2.18	2.08	2.11	2.123333

Anexo de imágenes



Figura 6. Selección



Figura 7. Peso



Figura 5. Talla



Figura 10. Contenedores



Figura 8. Pupa



Figura 9. Malla sombra