

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y

RECURSOS NATURALES



Tesis

**Eficiencia de larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) en la
descomposición de los residuos orgánicos en condiciones ambientales del
distrito de Abancay, 2024.**

Asesor:

Mg. Sierra Puga, Javier

Autores:

Bautista Herreros, Hernán Wilfredo

Vargas Meza, Darwin Grimaldo

Para optar el título profesional: Ingeniero Ambiental

Abancay - Apurímac – Perú

2026

Acta de sustentación



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE ING. AMBIENTAL Y RR.NN

Acta N°: 039

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Abancay, a los 15 días del mes de enero del 2026, siendo las 8:30 a.m. horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0259-2025-UTEA-FI-EPIARN de fecha 23 de diciembre del 2025 de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales, Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mg. Calderón Aedo Kristhel Jaylane
Dictaminante :	Mg. Ramos Ascue, Juan Diego
Replicante :	Mg. Pimentel Maldonado, Waldir

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

☒ Tesis ☐ Trabajo de suficiencia profesional

Titulada: "Eficiencia de larvas de mosca soldado negra (*Hermetia Illucens*) en la descomposición de los residuos orgánicos en condiciones ambientales del distrito de Abancay, 2024".

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: Bautista Herreros, Hernán Wilfredo

(Apellidos y Nombres)

Br.: Vargas Meza, Darwin Grimaldo

(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental
(Denominación del Título)

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Unanimidad
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Bautista Herreros, Hernán Wilfredo	Aprobado
Vargas Meza, Darwin Grimaldo	Aprobado

Siendo la 12:40 p.m. horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente : Mg. Calderón Aedo Kristhel Jaylane
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)

Dictaminante: Mg. Ramos Ascue, Juan Diego
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)

Replicante : Mg. Pimentel Maldonado, Waldir
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)

(*) Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.
(**) 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

Reporte de similitud



Página 2 de 135 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::3117:597113971

15% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 12%  Fuentes de Internet
- 5%  Publicaciones
- 11%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Página 2 de 135 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::3117:597113971

Metadatos

Datos de los autores	
Apellidos y nombres	: Bautista Herreros, Hernán Wilfredo
Tipo de documento de identidad	: DNI
Numero de documento de identidad	: 70761349
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0008-5035-9771
Apellidos y nombres	: Vargas Meza, Darwin Grimaldo
Tipo de documento de identidad	: DNI
Numero de documento de identidad	: 31035816
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0007-5709-6540
Datos del asesor	
Apellidos y nombres	: Sierra Puga, Javier
Tipo de documento de identidad	: DNI
Numero de documento de identidad	: 44018391
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0002-5303-0836
Datos de la investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela profesional	: Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales
Línea de investigación	: Calidad Ambiental
Rango de años en que se realizó la investigación	: 2024-2025
Fuente de financiamiento	: Autofinanciado
Porcentaje de similitud	: 15 % índice de similitud
URL de OCIDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01

Dedicatoria

Agradezco a Dios por la vida, la salud y la fortaleza que me permitieron culminar este proyecto. A mis padres, Miguel y Victoria, por su amor, sacrificio y ejemplo; y a mis hermanos, Néstor, Yuri, Danny y Evert, por su constante apoyo. A mi princesa, Yoselin, por su paciencia, comprensión y amor incondicional. A mi amigo Jhosue, por su amistad sincera y el apoyo brindado en este camino **(Hernán Bautista)**.

Con gratitud a Dios por la vida, la salud y la fortaleza que me acompañaron en todo este proceso; a mi esposa, por su apoyo constante, su paciencia y la fe compartida que me sostuvieron en los momentos más exigentes; a mi hijo, cuya alegría e inocencia fueron una motivación diaria para seguir adelante; a mis padres, por su ejemplo de esfuerzo, responsabilidad y perseverancia que marcaron mi camino; a mis hermanos, por su compañía, aliento y apoyo sincero; y a mis amigos, por estar presentes con su cercanía y estímulo en esta etapa de mi formación **(Darwin Vargas)**.

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro sincero reconocimiento a la Universidad Tecnológica de los Andes (UTEA) por brindarnos una formación integral y un espacio académico que promueve el pensamiento crítico, la investigación y el respeto por el medio ambiente. Agradecemos de manera especial a nuestros docentes, quienes, con sus conocimientos, exigencia y compromiso académico, contribuyeron de manera significativa a nuestro desarrollo profesional y personal. Nuestra especial gratitud al Mg. Javier Sierra Puga, asesor de esta tesis, por su orientación rigurosa, su paciencia y la claridad con la que compartió sus conocimientos, lo cual fue fundamental para consolidar esta investigación. Extendemos también nuestro agradecimiento a las autoridades y profesionales de la institución, quienes, con su labor y dedicación, crearon un entorno favorable para el aprendizaje y la superación constante.

Resumen

El presente trabajo de tesis tuvo como objetivo principal evaluar la eficiencia de las larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) en la descomposición de los residuos orgánicos en condiciones ambientales del distrito de Abancay, 2024, a razón de la metodología consideró el tipo de investigación aplicada, nivel de carácter explicativo, diseño experimental por la manipulación de las variables (tipos de residuos), Las muestras evaluadas fueron constituidas por residuos de plátano (20 kg), residuos de comida y extracto de jugo (20 kg) y residuos de sangre de camal (20 kg).

Los resultados evidenciaron la influencia de los microelementos como boro, calcio, cobre, hierro, magnesio, manganeso, sodio y zinc, los cuales, tras el análisis de varianza (ANOVA), mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos evaluados ($p < 0.05$), lo que permitió rechazar la hipótesis nula de igualdad entre tratamientos; a excepción del azufre, que no presentó diferencias significativas. En cuanto a los macroelementos, el fósforo y el potasio evidenciaron diferencias significativas ($p < 0.05$), mientras que el nitrógeno no mostró variaciones estadísticas entre los tratamientos ($p > 0.05$), considerando un nivel de confianza del 95%.

Se concluye que las larvas de la *Hermetia illucens* presentan alta capacidad para degradar de manera significativa los residuos de plátano, residuos de comida y extracto de jugo, así como residuos de sangre de camal, permitiendo su transformación eficiente y evidenciando su potencial como alternativa sostenible para el tratamiento de residuos orgánicos.

Palabras clave: eficiencia, mosca soldado negra, residuos orgánicos.

Abstract

The main objective of this thesis was to evaluate the efficiency of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae in the decomposition of organic waste under the environmental conditions of the Abancay district in 2024. The methodology employed applied research, an explanatory level of analysis, and an experimental design involving the manipulation of variables (types of waste). The evaluated samples consisted of banana waste (20 kg), food waste and juice extract (20 kg), and slaughterhouse blood waste (20 kg).

The results demonstrated the influence of microelements such as boron, calcium, copper, iron, magnesium, manganese, sodium, and zinc. Analysis of variance (ANOVA) revealed statistically significant differences between the evaluated groups ($p < 0.05$), leading to the rejection of the null hypothesis of equality between treatments. Sulfur, however, did not show significant differences. Regarding macroelements, phosphorus and potassium showed significant differences ($p < 0.05$), while nitrogen showed no statistically significant variation between treatments ($p > 0.05$), considering a 95% confidence level.

It is concluded that *Hermetia illucens* larvae have a high capacity to significantly degrade banana waste, food scraps, and juice extract, as well as slaughterhouse blood waste, allowing for their efficient transformation and demonstrating their potential as a sustainable alternative for the treatment of organic waste.

Keywords: efficiency, black soldier fly, organic waste.

Índice General

Portada	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice general	ix
Índice de tablas	xiii
Índice de figuras	xv
Índice de anexos	xii
I. Introducción	18
II. Planteamiento del problema	20
2.1. Descripción y formulación del problema	20
2.1.1. Problema general.....	21
2.1.2. Problemas específicos	21
2.2. Objetivos.....	22
2.2.1. Objetivo general.....	22
2.2.2. Objetivos específicos	22
2.3. Justificación e importancia	22

2.3.1.	Justificación teórica.....	22
2.3.2.	Justificación práctica	23
2.3.3.	Justificación metodológica	23
2.3.4.	Justificación ambiental	23
2.3.5.	Justificación económica	24
2.4.	Hipótesis	24
2.4.1.	Hipótesis general	24
2.4.2.	Hipótesis específicas.....	24
2.5.	Variables.....	25
III.	Marco teórico	27
3.1.	Antecedentes.....	27
3.1.1.	A nivel internacional.....	27
3.1.2.	A nivel nacional.....	30
3.1.3.	A nivel regional y local	34
3.2.	Bases teóricas	35
3.2.1.	Residuos sólidos.....	35
3.2.2.	Residuos orgánicos.....	35
3.2.2.1.	Clasificación de los residuos orgánicos.....	36
3.2.3.	Clasificación de los residuos sólidos.....	37
3.2.4.	Las operaciones y proceso de los residuos	37

3.2.5.	Valorización de residuos sólidos	38
3.2.6.1.	Formas de valorización de residuos orgánicos	38
3.2.7.	Mosca Soldado Negra (<i>Hermetia Illucens</i>)	39
3.2.7.1.	Clasificación taxonómica de la mosca soldado negra	39
3.2.7.2.	Ciclo biológico de la mosca soldado negro	40
3.2.7.3.	La larva de mosca soldado negro (Bioconvertor de residuos orgánicos)	45
3.2.7.4.	Factores que repercuten en el progreso de la mosca soldado negro (MSN)	47
3.3.	Definición de términos	49
IV.	Metodología.....	52
4.1.	Tipo y nivel de investigación	52
4.2.	Ámbito temporal y espacial	53
4.2.1.	Temporal... ..	53
4.2.2.	Espacial... ..	53
4.3.	Población y muestra	54
4.3.1.	Población	54
4.3.2.	Muestra	54
4.4.	Instrumentos	55
4.5.	Procedimientos	57
4.6.	Análisis de datos.....	58
4.7.	Consideraciones éticas	59

V.	Resultados y discusión	61
5.1.	Resultados.....	61
5.1.1.	Análisis de los parámetros físicos de descomposiccion de los residuos organicos por accion de las lasvas de mosca soldado negra (<i>Hermetia illucens</i>).....	61
5.1.1.1.	Análisis del tiempo de descomposición de los residuos (Días) de los diferentes tipos de residuo.....	61
5.1.1.2.	Analisis de la cantidad de frass (Kg) de los diferentes tipos de residuo.....	64
5.1.2.	Análisis de los parametros quimicos del frass de los residuos orgánicos	65
5.1.2.1.	Análisis de los macroelementos presentes en el frass, obtenidos a partir de diferentes tipos de residuos orgánicos... ..	66
5.1.2.2.	Análisis de los microelementos presentes en el frass, obtenidos a partir de diferentes tipos de residuos orgánicos	70
5.2.	Discusión	92
VI.	Conclusiones	95
VII.	Recomendaciones	96
VIII.	Referencias.....	97
IX.	Anexos.....	103

Índice de tablas

Tabla 1. Operacionalización de las variables.....	26
Tabla 2. Análisis descriptivo del tiempo de descomposición de los residuos (Días) de los diferentes tipos de residuo	61
Tabla 3. Análisis de la varianza (ANOVA) para el tiempo de descomposición (días) de los diferentes residuos	62
Tabla 4. Análisis estadístico de post-hoc de tukey para el tiempo de descomposición (días) de los diferentes residuos.....	63
Tabla 5. Análisis descriptivo de la cantidad de frass (Kilógramos) de los diferentes tipos de residuo	64
Tabla 6. Análisis de la varianza (ANOVA) para la cantidad de frass (Kilógramos) de los diferentes residuos.....	65
Tabla 7. Análisis estadístico de post-hoc de tukey para la cantidad de frass (Kilógramos) de los diferentes residuos.....	65
Tabla 8. Contenido de Nitrógeno (%) en los tres tipos de sustrato	66
Tabla 9. Contenido de fósforo (%) en los tres tipos de sustrato.....	67
Tabla 10. Contenido de potasio (%) en los tres tipos de sustrato	68
Tabla 11. Contenido de azufre (%) en los tres tipos de sustrato.....	70
Tabla 12. Contenido de boro (mg/Kg) en los tres tipos de sustrato	72
Tabla 13. Contenido de calcio (%) en los tres tipos de sustrato	73
Tabla 14. Contenido de cobre (mg/Kg) en los tres tipos de sustrato.....	74
Tabla 15. Contenido de Hierro (mg/Kg) en los tres tipos de sustrato.....	75
Tabla 16. Contenido de Magnesio (%) en los tres tipos de sustrato	77

Tabla 17. Contenido de Manganeseo (mg/Kg) en los tres tipos de sustrato	78
Tabla 18. Contenido de Sodio (mg/Kg) en los tres tipos de sustrato	79
Tabla 19. Contenido de Zinc (mg/Kg) en los tres tipos de sustrato.....	80
Tabla 20. Análisis de varianza (ANOVA) para los micro elementos de nitrógeno total (%) y azufre (%).	84
Tabla 21. Análisis de varianza (ANOVA) para los micro elementos de Boro (mg/Kg), Calcio (%), Cobre (mg/Kg), Hierro (mg/Kg), Magnesio (%), Manganeseo (mg/Kg), Sodio (mg/Kg) y Zinc (mg/Kg)	85
Tabla 22. Análisis de varianza (ANOVA) para los macro elementos como el Nitrógeno Total (%), Fósforo (%) y Potasio (%).	86
Tabla 23. Análisis post-hoc de Tukey para los micro elementos de Boro (mg/Kg), Calcio (%), Cobre (mg/Kg) y Hierro (mg/Kg)	87
Tabla 24. Análisis post-hoc de Tukey para los micro elementos de Magnesio (%), Manganeseo (mg/Kg), Sodio (mg/Kg) y Zinc (mg/Kg)	89
Tabla 25. Análisis post-hoc de Tukey para los macro elementos de fósforo (%) y potasio (%)	90

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de ubicación de estudio y puntos de recojo de residuos orgánicos...	53
Figura 2. Diagrama de barras sobre el tiempo de descomposición de los residuos (Días) de los diferentes tipos de residuo.....	62
Figura 3. Diagrama de cajas sobre la cantidad de frass (Kilógramos) de los diferentes tipos de residuo	64
Figura 4. Diagrama de cajas del contenido de nitrógeno (%) en el frass de los distintos tipos de residuo	66
Figura 5. Diagrama de cajas del contenido de fósforo (%) en el frass de los distintos tipos de residuo	67
Figura 6. Diagrama de cajas del contenido de potasio (%) en el frass de los distintos tipos de residuo	68
Figura 7. Barras agrupadas del contenido promedio de nitrógeno (%), fósforo (%) y potasio (%) de los tres tipos de frass.....	69
Figura 8. Diagrama de cajas de la concentración de azufre (%) en el frass de los distintos tipos de residuo	71
Figura 9. Diagrama de cajas de la concentración de boro (mg/Kg) en el frass de los distintos tipos de residuo.....	72
Figura 10. Diagrama de cajas del contenido de calcio (%) en el frass de los distintos tipos de residuo	73
Figura 11. Diagrama de cajas del contenido de cobre (mg/Kg) en el frass de los distintos tipos de residuo	75

Figura 12. Diagrama de cajas del contenido de hierro (mg/Kg) en el frass de los distintos tipos de residuo	76
Figura 13. Diagrama de cajas del contenido de magnesio (%) en el frass de los distintos tipos de residuo	77
Figura 14. Diagrama de cajas del contenido de manganeso (mg/Kg) en el frass de los distintos tipos de residuo.....	78
Figura 15. Diagrama de cajas del contenido de sodio (mg/Kg) en el frass de los distintos tipos de residuo	79
Figura 16. Diagrama de cajas del contenido de Zinc (mg/Kg) en el frass de los distintos tipos de residuo	80
Figura 17. Barras agrupadas del contenido promedio de Hierro (mg/Kg), Sodio (mg/Kg) y zinc (mg/Kg) de los tres tipos de frass	81
Figura 18. Barras agrupadas del contenido promedio de Boro (mg/Kg), Manganeso (mg/Kg) y Cobre (mg/Kg) de los tres tipos de frass	82
Figura 19. Barras agrupadas del contenido promedio de Azufre (%), calcio (%) y Magnesio de los tres tipos de frass	83

Índice de anexos

Anexo 1. Matriz de consistencia	106
Anexo 2. Panel fotográfico.....	107
Anexo 3. Resultados del informe de laboratorio	116
Anexo 4. Resultados de frass de residuos de plátano	117
Anexo 5. Resultados del frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo.....	118
Anexo 6. Resultados de frass de sangre de camal... ..	119
Anexo 7. Ficha de validación.....	123
Anexo 8. Ficha de observación durante el pre-tratamineto.....	124
Anexo 9. Ficha de observación durante el pos-tratamineto	125

I. Introducción

Según Dortmans, Diener, et al., (2021) menciona que la especie (*Hermetia illucens*), comúnmente referida como mosca soldado negra, pertenece al orden Diptera y, más específicamente, a la familia Stratiomyidae.

Además Amores (2021) precisa que los estadios larvales de (*Hermetia illucens*) presentan una notable capacidad para asimilar diversos flujos de biorresiduos y transformarlos en biomasa de elevado valor añadido. A lo largo del ciclo de crecimiento, la larva induce una fermentación anaerobia controlada que mineraliza el sustrato y lo convierte en compost, una enmienda efectiva para la mejora de la calidad del suelo. Tras la cosecha, la biomasa larval se puede destinar a la obtención de harina proteica, hidrolizados de proteínas, lípidos, y ácidos grasos como el ácido láurico, así como de quitina, un biopolímero valorado en aplicaciones agrícolas y farmacéuticas, y cuya combinación con el compost inicial da lugar a fertilizantes orgánicos de liberación controlada.

De acuerdo con (Gold et al., 2018), La degradación de residuos orgánicos constituye un mecanismo biológico en el que la materia presente en los desechos es descompuesta y convertida en sustancias más simples gracias a la acción de organismos transformadores. En este proceso, las larvas de la mosca soldado negra cumplen un papel determinante, ya que aprovechan la materia orgánica como alimento, disminuyen la cantidad de residuos y convierten compuestos complejos en nutrientes de valor, contribuyendo de manera significativa tanto a la gestión sostenible de desechos como a la recuperación de recursos aprovechables.

Para explicar de manera oportuna la redacción del presente informe de tesis se identifica los siguientes capítulos:

Capítulo I. Se describe de manera anticipada la introducción del informe final de la tesis considerando aspectos relevantes que contendrá el apartado del informe.

Capítulo II. Se describe el planteamiento del problema, donde se realiza la descripción del problema con alcance internacional, nacional y local; de la misma forma, los objetivos la justificación e importancia de la investigación, el planteamiento de la hipótesis y la identificación de las variables.

Capítulo III. Se contextualiza los antecedentes trabajos de investigaciones relacionados a lo propuesto, teniendo en cuenta el alcance internacional, nacional y local; del mismo, modo se sustenta las teorías a razón de las variables y dimensiones; finalmente, se identifica los términos técnicos.

Capítulo IV. Corresponde a la metodología de la investigación, donde se fundamenta los tipos y niveles de investigación, el ámbito temporal y espacial, la población y muestra, los instrumentos que se ha utilizado en la investigación, el procedimiento, análisis de datos y las consideraciones éticas, donde se fundamenta los aspectos que se tuvieron que considerar en la investigación.

Capítulo V. Se describe los resultados a razón de los objetivos y del mismo modo se realiza la triangulación de los resultados que corresponde a la discusión.

Capítulo VI. Se plantea una conclusión de acuerdo a los objetivos planteados de manera clara y concisa.

El capítulo VII. Se identifica las recomendaciones de acuerdo a las deficiencias que se ha identificado en la presente investigación.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

Según precisiones de Ramírez et al., (2017) La falta de conciencia y los malos hábitos de consumo de las personas están estrechamente vinculados al aumento de residuos orgánicos, los cuales, si no se gestionan adecuadamente, pueden ocasionar problemas a la biodiversidad, la salud y la economía en diferentes naciones. La generación de residuos orgánicos está creciendo debido a una variedad de actividades relacionadas con la alimentación, la industria, los restaurantes, los mercados y los hogares.

En el Perú, la gestión de residuos sólidos orgánicos representa una problemática crítica, especialmente en los mercados de abastos, existen 2,612 mercados a nivel nacional y, según estimaciones en el año 2016 la producción de residuos sólidos en estos espacios superó las 7 mil toneladas, debido al incremento de la afluencia de compradores de alimentos, que pasó de un 75% a un 91% (Suyón, 2022).

En la ciudad de Abancay, la gestión de residuos orgánicos presenta deficiencias, evidenciadas por la acumulación y disposición inadecuada de estos, lo que genera impactos ambientales y de salud pública, tales como malos olores, proliferación de vectores y contaminación del entorno. Asimismo, se observa una falta de conciencia sobre la utilización de larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) para la descomposición de residuos orgánicos, cuya adopción como técnica sostenible podría verse limitada debido a la carencia de información adecuada. Entre las principales causas de esta problemática destacan la carencia de infraestructura y centros especializados para el tratamiento de residuos orgánicos, la falta de educación y sensibilización ambiental, así como la limitada difusión de tecnologías biológicas.

Las consecuencias del inadecuado manejo de residuos orgánicos en Abancay, se evidencian en la acumulación progresiva de desechos orgánicos tiende a atraer plagas y

vectores portadores de enfermedades, incrementando de esta manera la posibilidad de que se propaguen enfermedades infecciosas entre las personas que viven en esa área. La existencia de vertederos improvisados al aire libre o basureros sin regulación adecuada podría impactar negativamente la calidad de vida de las personas, que viven en las cercanías, dando lugar a conflictos y desacuerdos en relación a dónde se ubican y cómo se tratan los residuos.

El aporte de la investigación consiste en proponer el uso de larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) como una estrategia sostenible y eficiente para la descomposición de residuos orgánicos, contribuyendo así a la reducción de impactos negativos en el ambiente y en la salud de la población, además de fomentar la educación y concientización ambiental en la comunidad de Abancay.

2.1.1. Problema general

¿Cuál es la eficiencia de las larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) en la descomposición de los residuos orgánicos en condiciones ambientales del distrito de Abancay, 2024?

2.1.2. Problemas específicos

- ✓ ¿Cómo influyen los factores físicos en el proceso de descomposición de los residuos orgánicos mediante las larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) en condiciones ambientales del Abancay, 2024?
- ✓ ¿Cuál es la eficiencia de las larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) en la transformación de los residuos orgánicos, evaluada a través de los macroelementos presentes en el “frass”, en condiciones ambientales del distrito de Abancay, 2024?
- ✓ ¿Cuál es la eficiencia de las larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) en la transformación de los residuos orgánicos, evaluada a través de los microelementos presentes en el “frass”, en condiciones ambientales del distrito de Abancay, 2024?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia de las larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) en la descomposición de los residuos orgánicos en condiciones ambientales del distrito de Abancay, 2024.

2.2.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar la influencia de los factores físicos en el proceso de descomposición de los residuos orgánicos mediante larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) en condiciones ambientales del distrito de Abancay, 2024.
- ✓ Determinar la eficiencia de las larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) en la descomposición de los residuos orgánicos mediante el análisis de los macroelementos presentes en el “frass”, en condiciones ambientales del distrito de Abancay, 2024.
- ✓ Determinar la eficiencia de las larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) en la descomposición de los residuos orgánicos mediante el análisis de los microelementos presentes en el “frass”, en condiciones ambientales del distrito de Abancay, 2024.

2.3. Justificación e importancia

a. Justificación teórica

La base de este enfoque radica en la importancia de comprender el papel que juegan las larvas denominado mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) en el proceso de degradación de residuos orgánicos, lo que puede resultar ventajoso para desarrollar estrategias amigables con el medio ambiente con el propósito de gestionar de manera eficiente los desechos. Estudios anteriores han mostrado que (*Hermetia illucens*) tiene el potencial de convertirse en una opción valiosa para facilitar la descomposición de materia orgánica gracias a su participación en procesos naturales.

b. Justificación práctica

Este análisis podría tener consecuencias de gran importancia tanto para el área de Abancay como para otras zonas que están en la búsqueda de opciones eficaces y económicas para manejar los desechos orgánicos. En caso de que se verifique y compruebe la eficacia de las larvas de mosca soldado negro en esta tarea, podría contemplarse la posibilidad de expandir su uso de manera más amplia como una opción que es amigable con el medio ambiente y que además muestra resultados positivos en términos de eficiencia.

c. Justificación metodológica

El enfoque metodológico empleado permite obtener información confiable sobre la eficiencia de las larvas de (*Hermetia illucens*) en la degradación de residuos orgánicos en condiciones ambientales reales. La aplicación de un diseño experimental práctico, basado en la observación directa y el análisis del frass resultante, que pueda ser utilizada en proyectos de valorización de residuos orgánicos y en el diseño de estrategias sostenibles de bioconversión.

d. Justificación ambiental

Este estudio contribuye al desarrollo de alternativas sostenibles para la gestión de residuos orgánicos mediante el uso de larvas de (*Hermetia illucens*), que permiten la degradación eficiente de la materia orgánica y la reducción del volumen de residuos, además, la obtención de frass con contenido de macro y micronutrientes favorece la valorización de los residuos orgánicos al transformarlos en un insumo útil para la mejora del suelo, y a la reducción del impacto ambiental asociado a la acumulación de residuos.

e. Justificación económica

El uso de larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) para la descomposición de residuos orgánicos representa una alternativa económicamente

viable debido a que requiere una inversión inicial reducida, al emplear materiales de bajo costo y residuos orgánicos disponibles localmente, al reducir su volumen y generar un subproducto aprovechable como el frass. Esto representa una oportunidad para implementar sistemas de gestión de residuos más eficientes y de bajo costo, especialmente en contextos donde los recursos económicos son limitados.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Las larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) influyen favorablemente en la descomposición de los residuos orgánicos en condiciones ambientales del distrito de Abancay, 2024.

2.4.2. Hipótesis específicas

- ✓ Los factores físicos de descomposición de los residuos orgánicos influyen significativamente mediante las larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) en condiciones ambientales del distrito de Abancay, 2024.
- ✓ Las larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) influyen significativamente en el contenido de macroelementos del frass generado durante el proceso de descomposición de residuos orgánicos en condiciones ambientales del distrito de Abancay, 2024.
- ✓ Las larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) influyen significativamente en el contenido de microelementos del frass generado durante el proceso de descomposición de residuos orgánicos en condiciones ambientales del distrito de Abancay, 2024.

2.5. Variables

V. Independiente. Eficiencia de larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*)

La eficiencia de las larvas de la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) se relaciona con su capacidad para descomponer y transformar eficazmente los desechos orgánicos en productos de valor agregado como el 'excremento' (un residuo excretado por las larvas), que puede utilizarse como fertilizante orgánico. Esta eficiencia depende de varios factores como las características de los residuos orgánicos, las condiciones ambientales y el manejo adecuado de las larvas durante el proceso de bioconversión.

V. Dependiente. Descomposición de los residuos orgánicos

La descomposición de residuos orgánicos se refiere al proceso natural en el que la materia orgánica se degrada y se transforma en sustancias más simples, facilitado por la actividad de microorganismos, insectos y otros organismos descomponedores. Este proceso implica transformaciones físicas, químicas y biológicas que convierten compuestos orgánicos complejos en nutrientes más simples, como minerales y gases, que pueden ser utilizados por otros organismos o reintegrados al suelo.

Tabla 1

Operacionalización de las variables.

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Índice/escala
<u>V. Independiente</u> Eficiencia de larvas de mosca soldado negra (<i>Hermetia illucens</i>)	La eficiencia de las larvas de la mosca soldado negra (<i>Hermetia illucens</i>) se relaciona con su capacidad para descomponer y transformar eficazmente los desechos orgánicos en productos de valor agregado como el 'excremento' (un residuo excretado por las larvas), que puede utilizarse como fertilizante orgánico. Esta eficiencia depende de varios factores como las características de los residuos orgánicos, las condiciones ambientales y el manejo adecuado de las larvas durante el proceso de bioconversión, Amores, (2021).	Instrumento y técnica:	Tipo de residuos orgánicos	Cantidad de residuos orgánicos	Kg
		Para medir la eficiencia de las larvas de mosca soldado negra (<i>Hermetia illucens</i>) en la descomposición de residuos orgánicos, se midió con ficha de observación .		Residuos de frutas	kg
				Restos de comida y extracto de jugo	kg
		1. Tipo de residuos orgánicos: Se analizarán diferentes tipos de residuos orgánicos como restos de frutas, residuo de comida y restos de sangre del camal municipal.		Restos de sangre del camal municipal	Kg
		2. Uso de larvas de mosca soldado negra (<i>Hermetia illucens</i>):	Uso de larvas de mosca soldado negra (<i>Hermetia illucens</i>)	Cantidad de larvas utilizadas	Unidades (Kg)/L
<u>V. Dependiente</u> Descomposición de los residuos orgánicos	La descomposición de residuos orgánicos se refiere al proceso natural en el que la materia orgánica se degrada y se transforma en sustancias más simples, facilitado por la actividad de microorganismos, insectos y otros organismos descomponedores. Este proceso implica transformaciones físicas, químicas y biológicas que convierten compuestos orgánicos complejos en nutrientes más simples, como minerales y gases, que pueden ser utilizados por otros organismos o reintegrados al suelo, Gold et al., (2018).	✓ Cantidad de larvas utilizadas	Factores físicos de descomposición	Tiempo de descomposición	Días
		✓ Tiempo de descomposición utilizado por las larvas			
		✓ Cantidad de residuos orgánicos procesados			
		Instrumento y técnica:			
		Este variable se midió con ficha de observación, para registrar los datos del proceso de descomposición.	Macroelementos del "frass"	Nitrógeno (N)	%
				Fósforo (P)	%
		Factores físicos de descomposición:		Potasio (K)	%
		1. Macroelementos del "frass"			
		2. Microelementos del "frass"			
			Microelementos del "frass"	Hierro (Fe)	Mg/Kg
				Manganeso (Mn)	Mg/Kg
				Zinc (Zn)	Mg/Kg
				Magnesio	%
				Calcio	%
				Boro	Mg/Kg
				Azufre	%
				Cobre	Mg/Kg
				Sodio	Mg/Kg

Nota: Elaboración propia.

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes

3.1.1. A nivel internacional

Según precisiones de Magee et al., (2021), realizaron un estudio de Valorización de subproductos de residuos orgánicos utilizando la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) como bioconvertidor”, desarrollado en el Reino Unido, con el objetivo de evaluar la reducción de residuos orgánicos y la calidad nutritiva del frass generado por larvas de (*Hermetia illucens*). La metodología fue experimental, con tres réplicas por tratamiento, empleando como sustratos residuos de panadería, frutas, vegetales y granos de cerveza. La muestra estuvo conformada por larvas jóvenes, con densidades iniciales de 500 a 1000 individuos por tratamiento. Los resultados evidenciaron una reducción del 55 al 70 % de la materia seca en un periodo de 10 a 12 días, mientras que el análisis químico del frass reportó concentraciones de N-P-K de 4,9-2,6-1,7 % en panadería, 3,7-1,8-2,2 % en frutas y vegetales, y 2,5-1,2-0,9 % en granos de cerveza. En conclusión, los autores sostienen que el frass de (*Hermetia illucens*) posee un alto valor fertilizante, con contenidos de macronutrientes comparables o incluso superiores a los fertilizantes orgánicos tradicionales, constituyéndose en una alternativa sostenible para el reciclaje de residuos orgánicos a escala internacional.

Panchana & Ramírez, (2023) En esta investigación utilizó residuos vegetales generados en tres mercados de la ciudad de Guayaquil, Ecuador, y se planteó como objetivo de evaluar los efectos sinérgicos de estas dos especies en la bioconversión de los residuos. En la metodología se registró un peso medio de 25 g para las larvas de la mosca soldado negra y de 10 g para las lombrices californianas, la muestra correspondió a residuos vegetales generados en tres mercados de la ciudad de Guayaquil, Ecuador, los resultados evidenciaron que el pH final del sustrato bajo

investigación fue alcalino, con alto contenido de humedad. con valores obtenidos de una tasa de bioconversión del 23,11%, una tasa de supervivencia del 100% y una tasa de multiplicación del 131,25%. En varios estudios que evaluaron cada organismo individualmente, se informaron valores más altos. La interacción entre estos organismos demostró ser eficaz en la degradación biológica de los residuos en fertilizantes orgánicos de alta calidad, lo que finalmente resultó en una reducción del sustrato de hasta un 95,08%. Además, se observó que el contenido proteico varió significativamente entre las dos especies, siendo el porcentaje de proteína del 51,46%, y en conclusión, se presenta como una opción viable y sustentable gracias a la elevada concentración de proteínas que presentan dichos organismos. Esto podría conllevar a su utilización en diversas esferas, ya sea industrial, urbana o rural, brindando una alternativa respetuosa con el medio ambiente para abordar la gestión de desechos orgánicos sólidos en variados contextos.

López (2023) según la investigación de revalorización de residuos en los restauranteros mediante el uso de larvas de mosca soldado negra, desarrollado en México, el objetivo fue dar un mayor reconocimiento a estos desechos mediante la implementación de un proceso de biotransformación que involucra larvas de mosca soldado negra. La metodología consistió en la aplicación de dicho proceso de biotransformación. La muestra estuvo constituida por desechos orgánicos generados en restaurantes. Los resultados señalaron que se obtuvieron dos productos de elevada importancia, siendo el primero la larva de mosca soldado negra con una valiosa composición nutricional que destacó por sus niveles de proteínas entre el 34 % y el 42 %, lípidos del 12 % al 12 % y carbohidratos de 2.7 % a 7.4 %, mientras que el segundo producto conocido como frass consistió en materia orgánica que posee propiedades similares a las de los fertilizantes orgánicos. En conclusión, se demostró que los desechos orgánicos generados en restaurantes pueden ser revalorizados mediante la

biotransformación con larvas de mosca soldado negra, aportando productos útiles en el ámbito nutricional y agrícola.

Romano et al., (2023) llevaron a cabo una investigación de Composición mineral en larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) y en las heces resultantes de la fruta y sus cáscaras, desarrollado en Estados Unidos, con el objetivo de determinar cómo distintos sustratos de frutas y sus cáscaras influyen en la composición mineral del frass producido por larvas de (*Hermetia illucens*). El estudio, de carácter cuantitativo, se desarrolló durante dos semanas utilizando larvas alimentadas con banana, naranja y combinaciones de fruta con cáscara, y se aplicaron técnicas químicas para el análisis de macro y microelementos. La población experimental estuvo conformada por grupos de larvas criadas bajo condiciones controladas, a las cuales se les suministraron los distintos sustratos mencionados. Los resultados indicaron que el frass derivado de cáscara de banana registró los valores más elevados de potasio (2,74 % de la materia seca) y calcio (1,15 %), mientras que el fósforo osciló entre 0,85 % y 0,97 % sin variaciones significativas entre tratamientos. En el caso de los micronutrientes, el contenido de cobre alcanzó 42 mg/kg y el de zinc 190 mg/kg en el tratamiento con fruta y cáscara de naranja, superando significativamente a los demás grupos. En conclusión, los autores señalan que la composición nutricional del frass depende directamente del tipo de residuo utilizado, confirmando que este subproducto puede actuar como fertilizante orgánico con propiedades adaptables a las necesidades de cada cultivo.

Casanovas-Cosío et al., (2024) artículo científico denominado “rendimiento de larvas de moscas en varias cosechas con tres proporciones de salvado de trigo y gallinaza. Con el propósito de comparar el desempeño de las larvas de moscas en diversas cosechas, la metodología se llevó a cabo un experimento en un diseño de bloques al azar con tres tratamientos distintos: A (salvado de trigo 100%), B (salvado

de trigo 50% y gallinaza 50%), y C (100% gallinaza), ubicados en recipientes a una distancia de tres centímetros del sustrato, con cinco repeticiones. Además, se realizaron las mediciones de la temperatura de los sustratos, la temperatura y la humedad relativa del ambiente dentro del recinto para las moscas cada 24 horas. La temperatura de los sustratos osciló entre 22,88 °C y 36,08 °C, superando consistentemente la temperatura ambiente en las instalaciones de cría de polillas, con niveles de humedad relativa que oscilaron entre 44% y 68%. Para los tratamientos A, B y C, se aplicaron 32,91 L/m², 30,29 L/m² y 32,19 L/m² de agua, respectivamente. Los resultados indicaron que mayor rendimiento larvario se observó en la cosecha inicial a los seis días para el tratamiento B, rindiendo 2290.59 g m⁻² y 112.07 g kg⁻¹. La tasa de conversión de proteína bruta en los sustratos por las larvas de las moscas osciló entre el 28,0 % y el 37,0 %. En conclusión, se detectó la presencia de microorganismos patógenos (*Salmonella spp.*, *Escherichia coli* y *Coccidia*) en los tratamientos ni en las larvas recolectadas.

3.1.2. A nivel nacional

Vera Marmanillo et al., (2023), en su estudio titulado como efectividad de la larva (*Hermetia illucens*) como organismo bioconversor de excretas humanas en condiciones de laboratorio, ejecutado en tumbes, con el objetivo del estudio fue conocer la eficacia de las larvas de *Hermetia illucens* como agente de bioconversión para residuos orgánicos humanos. El método de inducción basado en sustrato para oclusión y desarrollo larval dio como resultado una biomasa de 181,2 g (1010 larvas) para el primer tratamiento utilizando un sustrato de 4,5 kg de materia fecal, mientras que para el segundo se observó 364,2 g de biomasa (1908 larvas) tratamiento con un sustrato de 4,9 kg de materia fecal. Se llevó a cabo la vigilancia de los indicadores fisicoquímicos NPK, pH, EC, temperatura, humedad relativa, así como de los elementos biológicos *Blastocystis hominis* y huevos de helmintos. Los hallazgos

demonstraron una disminución en el contenido de materia orgánica de 4,5 kg a 1,5 kg en la muestra 1, y de 4,942 kg a 1,1 kg en la muestra 2, lo que resultó en una reducción del olor y la eliminación de protozoos. La eficacia mineralizante de *Hermetia illucens* se demostró a través de cambios en la conductividad eléctrica, con valores iniciales de 1536 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 5487 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para la muestra 1, y 2463 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 4825 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para la muestra 2. Durante el análisis de fluorescencia de rayos X, se determinó la siguiente composición elemental para la muestra tratada 1: nitrógeno (N): 4,4%, fósforo (P): 1,9%, potasio (K): 2,5%; y para la muestra tratada 2: nitrógeno (N): 4,9%, fósforo (P): 2,9%, potasio (K): 2,5%. Se procedió a la evaluación de la reducción de microorganismos mediante microscopía electrónica de barrido, no evidenciándose quistes de protozoos, como *Blastocystis*, mediante análisis microbiológico.

Ramos (2023), en su tesis desarrollada en caracterización de residuo orgánico y biofertilizante derivados de (*Hermetia illucens*) y su respuesta en frijol (*Phaseolus vulgaris*) bajo condiciones de invernadero en Huasacache - Arequipa, tuvo como objetivo evaluar la caracterización química del frass de (*Hermetia illucens*) obtenido a partir de residuos orgánicos y su efecto como biofertilizante en el cultivo de frijol. La metodología fue de tipo experimental, empleando distintos residuos orgánicos como sustrato para la cría de larvas, bajo un diseño de comparación entre tratamientos. La muestra estuvo conformada por el frass producido tras la bioconversión de aproximadamente 10 kg de residuos orgánicos, trabajados bajo condiciones ambientales controladas. Los resultados del análisis químico revelaron un aporte significativo de macronutrientes, con contenidos de 2,41 % de nitrógeno total, 1,28 % de fósforo y 2,62 % de potasio, además de microelementos como cobre (32 mg/kg) y zinc (74 mg/kg), lo cual evidenció que el frass es un material con alto valor nutritivo. En conclusión, el autor sostiene que el aprovechamiento de residuos sólidos mediante larvas de mosca soldado negro no solo contribuye a reducir los desechos, sino que

también genera un biofertilizante con aporte de macro y micronutrientes esenciales para la agricultura sostenible.

Cayra (2023) desarrolló la investigación denominada, evaluación de la tasa de crecimiento, producción y composición nutricional de larvas de *Hermetia illucens* alimentadas con diferentes sustratos, para su uso como pienso en la alimentación animal en Majes, Caylloma – Arequipa. El objetivo fue analizar la tasa de crecimiento, el rendimiento productivo y el valor nutricional de las larvas criadas en distintos residuos orgánicos, así como determinar la viabilidad económica de cada sustrato. La metodología empleó un diseño completamente al azar (CRD), en el cual se utilizaron cuatro tratamientos: T0 (sustrato estándar de la Universidad Católica de Santa María), T1 (mezcla de frutas), T2 (suero y ensilaje) y T3 (brácteas de alcachofa y suero). La muestra estuvo conformada por larvas de *Hermetia illucens*, a las que se les midió de manera interdiaria su longitud y peso en los días 0, 2 y 4, complementándose con análisis fisicoquímicos y de composición nutricional. Los resultados indicaron que el mejor crecimiento larval se alcanzó con T0 ($17,12 \pm 0,003$ mm), y el mayor peso con $3,85 \pm 0,35$ g; en cuanto a la composición nutricional, las larvas de T3 presentaron 55,27 % de proteína cruda, mientras que las de T2 alcanzaron hasta 63,85 % de proteína, lo que las hizo más rentables económicamente. Finalmente, la conclusión estableció que, aunque los cuatro tratamientos generaron efectos positivos en crecimiento y nutrición, el T3 se consolidó como el más óptimo por su balance entre rendimiento productivo, aporte nutricional y desempeño económico.

Torres, (2023) tesis titulada “Aprovechamiento de residuos de cacao para la producción de harina de larvas de *Hermetia illucens* como insumo para alimento balanceado en chiclayo”. Por consiguiente, este estudio tiene como objetivo presentar una propuesta para aprovechar de manera efectiva el material orgánico disponible, a través del uso de larvas de mosca *Hermetia illucens* para llevar a cabo la bioconversión

de residuos en harina proteica. Además, la metodología se llevó a cabo un análisis de mercado con el fin de evaluar la demanda del producto elaborado a partir de harina de soya, estimando y cuantificando la cantidad necesaria para satisfacer la demanda no atendida en la zona. Además, se llevó a cabo un examen técnico-tecnológico, se describió minuciosamente el procedimiento de elaboración de harina, y se escogieron los dispositivos y maquinarias necesarios para la fabricación. En cuanto la muestra, se utilizaron residuos de cacao como materia orgánica para la bioconversión a través de larvas de *hermetia illucens*. De igual forma, los resultados se demostró la viabilidad financiera del establecimiento de la planta de harina de larvas, resultando en una relación costo-beneficio de S/1.70. La tasa interna de rendimiento (TIR) es del 41%, superando la tasa de rendimiento mínima requerida (TMAR) del 12%. El análisis económico ambiental se llevó a cabo finalmente, centrándose en el proceso que causa el mayor impacto, y se sugirió una alternativa de resolución. De igual forma, la conclusión se ha demostrado que la implementación de la mejora no impacta negativamente la condición económica del proyecto.

Huaripata & Carrasco, (2022) en su tesis denominado “Eficiencia de la larva de mosca soldado negra (*hermetia illucens*) para aprovechar los residuos orgánicos municipales - Cajamarca 2021” Propone el uso de larvas de mosca soldado negra para convertir residuos orgánicos en proteína de alto valor nutricional, promoviendo una economía circular ecológica. En la investigación, la larva MSN se usó para degradar residuos orgánicos de Cajamarca, obtenidos en restaurantes y viviendas de la ciudad. La muestra consistió en el cultivo de 20,000 larvas durante 15 días en un sustrato de 10 kg de residuo orgánico en condiciones adecuadas, con desarrollo dependiente de la temperatura y humedad. Asimismo, el resultado se caracterizó el desarrollo de la larva (*Hermetia Illucens*) para verificar un aumento en tamaño y peso, aprovechando nutrientes y reduciendo residuos orgánicos. Los resultados mostraron

que las larvas MSN son eficaces en la degradación de residuos orgánicos, con una reducción del 64.3% en 10 kg de residuos, y una producción de larvas prepupales con alto contenido de proteína y grasa. Se halló correlación positiva y modelos de regresión lineal que predicen el consumo de residuos por larva, presentando una nueva técnica de reciclaje para valorizar residuos orgánicos.

3.1.3. A nivel regional y local

Ayquipa, (2022) tesis denominada “Producción de harina de larvas de mosca doméstica (*musca doméstica linnaeus*) según el tipo de estiércol”. Este estudio evaluó el comportamiento productivo de larvas de mosca doméstica en tres tipos de estiércol y sus mezclas, a saber, T1: estiércol de cuy; T2: estiércol de cerdo; T3: gallinaza; T4: mezcla de estiércol de cuy y estiércol de cerdo; T5: mezcla de estiércol de cuy y estiércol de pollo; y T6: mezcla de estiércol de cerdo y de gallina. Se empleó un diseño con aleatorización completa y el análisis de datos se realizó mediante análisis de varianza, con comparaciones por pares post hoc realizadas mediante la prueba de Tukey. Las muestras fueron los síes tratamientos de estiércoles de acuerdo al mencionado. Por lo tanto, los resultados indicaron que el tipo de estiércol tuvo efecto sobre las siguientes variables: tasa de conversión de biomasa, tiempo de desarrollo larvario, peso, ganancia de peso total, tamaño final larvario y tasa de mortalidad larvaria. La combinación de estiércol de cerdo y de pollo produjo resultados superiores en todas las variables. La composición nutricional de la harina de larvas de insectos contiene más del 50% de proteína, lo que la convierte en un sustituto viable de la harina de pescado en la formulación de piensos para animales. Como conclusión que las larvas de mosca domestica presentan una notable capacidad de adaptación, siendo capaces de desarrollarse en varios tipos de estiércol. Se evidenció que su óptimo crecimiento se observa en aquellos sustratos que exhiben una mayor concentración de

nitrógeno y una menor presencia de fibra, lo que resulta en la obtención de un producto final con propiedades nutricionales altamente beneficiosas.

Finalmente, es importante señalar que, a nivel regional y local, se identificó una limitada disponibilidad de estudios relacionados con la bioconversión de residuos orgánicos mediante insectos, motivo por el cual se consideró únicamente este antecedente como referencia en el presente estudio.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Residuos sólidos

El residuo sólido se conceptualiza como toda sustancia, objeto o material generado durante el uso, consumo o aprovechamiento de un bien o servicio, de la que su poseedor decide separarse, ya sea por mandato, conveniencia o intención de liberar espacio o recurso. En la formulación de un sistema de gestión eficiente, se debe otorgar culminante importancia a la valorización de estos materiales, relegando a la disposición final el carácter de solución auxiliar y no principal (Decreto Legislativo N° 1278, 2017).

Los residuos sólidos comprenden toda sustancia residual o desechable que se presenta en forma sólida o semisólida. Además, se entienden como residuos aquellos materiales en estado líquido o gaseoso que se hallan en envases o depósitos destinados a la eliminación. Dentro de esta categoría, se incluyen líquidos o gases que, por sus propiedades fisicoquímicas, resultan incompatibles con los sistemas de tratamiento de efluentes o emisiones, lo que les impide ser vertidos en el ambiente. En estos casos, es indispensable que se realicen manipulaciones seguras de los líquidos o gases, a fin de asegurar su disposición final adecuada (Decreto Legislativo N° 1278, 2017).

3.2.2. Residuos orgánicos

Se caracterizan por ser los residuos generados por organismos vivos, ya sean de origen vegetal o animal, que, al ser sometidos a su descomposición natural en los vertederos

o en otras instalaciones de gestión de residuos, liberan principalmente dióxido de carbono, metano y soluciones líquidas llamadas lixiviados. Si se gestionan conforme a prácticas adecuadas, estos residuos se transforman en enmiendas orgánicas que mejoran las propiedades del suelo y en fuentes de nutrientes, tales como el compost, el humus o el biochar, los cuales pueden incorporarse de manera efectiva en los ciclos agrícolas y de restauración de tierras (OEFA, 2014).

3.2.2.1. Clasificación de los residuos orgánicos

a. Restos de comida

Se entiende por biorresiduos domésticos el componente orgánico de la fracción de residuos producida durante la elaboración de los alimentos en el ámbito doméstico. De este modo, este tipo de biorresiduos incluye, por un lado, los restos de comida que no han sido consumidos y, por otro, los alimentos que han perdido las condiciones adecuadas para su consumo humano (Ministerio de Agricultura, 2014)

b. Excretas de animales

Los excrementos constituyen los subproductos residuales del metabolismo asociado a la ingestión de materia alimentaria por parte de los animales. En el transcurso de esta actividad, los organismos incorporan los nutrientes precisos para su conservación y generación de tejido; los elementos que no son utilizados en la digestión son despojados del cuerpo en la forma de heces o, en su caso, de orina (Ministerio de Agricultura, 2014).

c. Restos de podas y jardín

Las labores de mantenimiento y poda en parques y jardines generan un volumen notable de residuos cuya densidad aparente se encuentra por debajo de la media de otros tipos de desechos orgánicos. La fracción producida está formada principalmente por ramas, segmentos leñosos y folíolos, donde la proporción de hojas puede oscilar significativamente

de acuerdo con la especie tratada. Esta variación influye en la distribución del residuo a lo largo de la campaña, ya que determinadas especies presentan un desprendimiento foliar más consolidado que otras, y por tanto, el remanente se enriquece con componentes livianos que ocupan gran espacio y que, sin embargo, aportan baja masa por unidad de volumen (Ministerio de Agricultura, 2014).

3.2.3. Clasificación de los residuos sólidos

Los residuos se clasifican, según su tratamiento, en peligrosos y no peligrosos, de acuerdo con su nivel de peligrosidad; así como en municipales y no municipales, en función de la autoridad pública responsable de su gestión. Asimismo, según su naturaleza o composición, los residuos se clasifican en orgánicos e inorgánicos. Las normas complementarias al presente decreto legislativo podrán crear nuevas categorías de residuos, atendiendo a su origen o a otros criterios, siempre que se justifique su necesidad (Decreto Legislativo N° 1278, 2017).

3.2.4. Las operaciones y procesos de los residuos

De acuerdo con lo previsto en el Decreto Legislativo Número 1278 de 2017, la administración de residuos incluye las operaciones o procesos que se enuncian a continuación:

- a. Barrido y limpieza de espacios públicos
- b. Segregación
- c. Almacenamiento
- d. Recolección
- e. Valorización
- f. Transporte
- g. Transferencia
- h. Tratamiento
- i. Disposición final

3.2.5. Valorización de residuos sólidos

La valorización de residuos sólidos se entiende como una serie de procedimientos orientados a recuperar ciertos materiales presentes en el residuo, de modo que puedan reincorporarse a un ciclo productivo como sustitutos de materias primas vírgenes. Este enfoque no sólo minimiza el consumo de recursos naturales, sino que, al prolongar la vida útil de los materiales, también favorece la sostenibilidad. La valorización puede realizarse a través de la recuperación física o química de los materiales, o, alternativamente, mediante la conversión de su contenido energético en calor, electricidad o combustibles (Decreto Legislativo N° 1278, 2017).

La valorización de residuos sólidos se entiende como una serie de procedimientos orientados a recuperar ciertos materiales presentes en el residuo, de modo que puedan reincorporarse a un ciclo productivo como sustitutos de materias primas vírgenes. Este enfoque no sólo minimiza el consumo de recursos naturales, sino que, al prolongar la vida útil de los materiales, también favorece la sostenibilidad. La valorización puede realizarse a través de la recuperación física o química de los materiales, o, alternativamente, mediante la conversión de su contenido energético en calor, electricidad o combustibles (Decreto Legislativo N° 1278, 2017).

3.2.6. Formas de valorización de residuos orgánicos.

Las operaciones de valorización material incluyen prácticas como la reutilización, el reciclaje, el compostaje, la recuperación de aceites y la bioconversión, entre otras alternativas. Al llevar a cabo estas actividades, es necesario emplear procesos de transformación física, química u otros, los cuales deben evidenciar su viabilidad a partir de criterios técnicos, económicos y ambientales (Decreto Legislativo N° 1278, 2017).

Las operaciones destinadas a la valorización energética comprenden los procedimientos orientados a aprovechar residuos con el objetivo de optimizar su contenido

energético. Esto incluye el coprocesamiento, la coincineración, la generación de electricidad a partir de la biodegradación de residuos y la producción de biochar, entre otros enfoques. La normativa vinculada a estas actividades se desarrollará de forma concertada con las autoridades sectoriales competentes (Decreto Legislativo N° 1278, 2017).

3.2.7. Mosca Soldado Negra (*Hermetia Illucens*)

Según (Dortmans, Diener, et al., 2021) La especie *Hermetia illucens*, comúnmente referida como mosca soldado negra, pertenece al orden *Diptera* y, más específicamente, a la familia *Stratiomyidae*. Este díptero se distribuye en numerosos ecosistemas del planeta, predominando en las zonas tropicales y subtropicales, y su distribución geográfica abarca un intervalo latitudinal aproximado desde los 40 grados al sur hasta los 45 grados al norte. Aunque el insecto presenta tolerancia a

En condiciones térmicas extremas, se ha demostrado que el desarrollo óptimo del ciclo biológico de la *Hermetia illucens* ocurre en un intervalo de temperatura entre 24 y 29.3 °C, lo cual influye directamente en su capacidad de descomposición de residuos orgánicos, posibilitan la interacción de los organismos polinizadores con el flujo de recursos florales, contribuyendo, por ende, a la continuidad del ciclo trófico vegetal (Gobbi, 2012).

3.2.7.1. Clasificación taxonómica de la mosca soldado negro

Según (Martínez Sánchez, 2011) La mosca soldado negra representa un díptero de braquíceros que exhibe dos alas reducidas al estadio adulto y cuyo estatus sistemático aún carece de epíteto específico. Su dispersión geográfica, inicialmente restringida a la biogeografía neotropical, ha diseñado un continuo de presencia que abarca el sur de Europa, varias regiones africanas, el sudeste asiático y un conjunto de archipiélagos del Pacífico. El primer registro bibliográfico que documenta su avistamiento en Europa se localiza en la península ibérica.

Clasificación taxonómica larva.

Reino	Animalia
Filo	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Díptera
Suborden	Brachycera
Infraorden	Stratiomyomorpha
Familia	Stratiomyidae
Subfamilia	Hematiinae
Genero	Hermetia
Especie	Hermetia Illucens

Fuente: (Tomberlin, 2018)

(*Hermetia illucens*), comúnmente conocida como mosca soldado negra, pertenece a la familia *Stratiomyidae* y se distribuye por las zonas tropicales y subtropicales del planeta, abarcando latitudes desde 40°S hasta 45°N. En su ciclo reproductivo, la hembra realiza ovoposición y los huevos se agrupan en formaciones de carácter pseudo-ootecal, localizándose en microhábitats semi-cerrados. Cada huevo es cilíndrico y mide aproximadamente un milímetro de largo, y al eclosionar la larva se presenta inicialmente en un color crema que, a medida que progresa su desarrollo, cambia a amarillo y se vuelve marrón en la fase de prepupa y pupa, hasta consolidarse en la fase adulta (Cabrera & Lopez, 2021).

3.2.7.2. Ciclo biológico de la mosca soldado negro

Según (Singh & Kumari, 2019) la mosca soldado negra consta de 5 etapas de vida:

- ✓ Huevos
- ✓ Larvas
- ✓ Pupas
- ✓ Prepupas
- ✓ adultos (mosca).
- ✓ Apareamiento

Durante estas fases del ciclo de vida, el tiempo de desarrollo de los huevos y los adultos es relativamente corto, mientras que los estadios larval y pupal poseen una persistencia más

prolongada y son los más relevantes en cuanto a la producción de biomasa y la consolidación del ciclo vital. La corta longevidad de las hembras de la mosca soldado negra les permite, no obstante, alcanzar elevadas tasas de oviposición, asegurando así que el ciclo de proliferación se mantenga de modo eficiente.

Según (Bondari & Sheppard, 1987) tras Durante la cópula, las hembras generan cerca de seiscientos óvulos, que se colocan en micro hábitats de hendiduras o grietas contiguas a restos de materia orgánica en descomposición. Cada óvulo, de contorno ovoide, mide cerca de un milímetro de longitud y presenta una coloración que varía del blanco al amarillo pálido y a crema. Las larvas del primer estadio emergen en un intervalo de aproximadamente cuatro días a una temperatura constante de 24 °C.

a. Huevo

Durante el ciclo inicial de vida de la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*), la etapa del huevo requiere atención a temperatura y humedad para asegurar la viabilidad larval. Las condiciones térmicas óptimas para la eclosión de los huevos se determinan entre 26 y 28 °C; temperaturas por encima de este rango engendran deshidratación del contenido interno, obstaculizando la emergencia de las larvas. Paralelamente, el medio de incubación debe mantener una humedad relativamente alta para asegurar que posteriormente las larvas, al iniciar la ingestión de sustrato, encuentren un ambiente que favorezca el crecimiento inicial. La hembra adulta oviposita cerca de 500 huevos agrupados sobre sustratos en descomposición: excrementos, residuos de restauración y materia orgánica en estado de putrefacción. La fase de incubación se completa en un intervalo cercano a cuatro días, aproximadamente. Los huevos, de forma ovalada, presentan un color que varía entre el amarillento pálido y el blanco cremoso, alcanzan una longitud cercana a 1 mm y son detectados por la práctica de la oviposición sobre el sustrato en condiciones idóneas (Cabrera & Lopez, 2021).

b. Larvas

Durante la primera semana posterior al nacimiento, es esencial ofrecer a las larvas recién eclosionadas un sustrato orgánico de elevada calidad que las mantenga nutridas y favorezca un crecimiento rápido. Este sustrato debe retener un 60 a 70 por ciento de humedad, de manera que la textura resultante permita a las larvas desplazarse y alimentarse de forma ágil. Al completar la ovoposición, los huevos permanecen en incubación durante 4 a 5 días, es decir, cerca de 105 horas. La eclosión ocurre de manera sincronizada y, de inmediato, las larvas acceden a los residuos y comienzan la ingestión. En condiciones óptimas, 14 días más tarde las larvas habrán alcanzado el crecimiento completo; sin embargo, el ciclo puede extenderse hasta seis meses si las condiciones ambientales son desfavorables, ya que las moscas soldado son capaces de alargar la duración de la fase larval. En consecuencia, el tamaño máximo de las larvas puede llegar a 27 mm de longitud y 6 mm de diámetro. Presentan un color blanco pálido, una cabeza pequeña de color negro y mandíbula que resulta evidente al observar la cavidad bucal (Park, 2016).

c. Pupas

Esta fase constituye el penúltimo estadio del ciclo vital de la mosca soldado negra (MSN) antes de la madurez sexual. Durante este intervalo, un subgrupo de las larvas se programa para la transición a adultos, lo que garantiza la renovación generacional que mantendrá el crecimiento de la población. El éxito de esta etapa decisiva depende de la adopción de cuidados específicos. Uno de los criterios más críticos consiste en mantener el hábitat larval en condiciones de sequedad y oscuridad, propiedades que estimulan la animación de los ejemplares adultos. Al mismo tiempo, cabe recordar que, en este estadio pre pupario, los individuos no necesitan alimento, por lo que la incorporación de residuos orgánicos es redundante y contraproducente, ya que modificaría el sustrato que las larvas han preparado y no habría larvas activas para descomponer el material en un tiempo adecuado, lo que podría dar lugar a contaminantes en el medio.

Tras completar cinco estadios larvales, las larvas llegan a la fase más avanzada del desarrollo prepupario. Durante la conversión a prepupa, el organismo reconstruye el aparato bucal, reemplazándolo por una estructura monolítica en forma de garra y tiñe su cuerpo de una tonalidad que oscila entre el marrón claro a gris. Tal disposición anatómica faculta al organismo para dejar con prontitud su sustrato nutritivo y trasladarse a un microambiente colindante que exhibe propiedades apropiadas: su sustrato es seco y semejante al humus, brinda sombra y ofrece resguardos que disminuyen el riesgo ante los predadores. En esta micro habitat específico, el imago se desprende de la pupa y obtiene la capacidad de vuelo en un contexto sin obstrucciones relevantes (Dortmans, Egger, et al., 2021).

Durante el último estadio larval, la longitud máxima supera los 15 mm y el perfil proximal de la proteína cruda varía entre 36 y 48% del peso seco, mientras que los lípidos concentran el 33%. La metamorfosis se completa entre el día 14 y el día 15, tras lo cual los individuos emergen como adultos funcionales. La especie *Hermetia illucens* carece de mandíbulas, de aparato digestivo completo y de aparato estingente; por ello, no se alimenta ni inocular veneno, lo que la clasifica como inocua para humanos. Por otro lado, la larva presenta preferencia por sustratos herbáceos o de desechos orgánicos y su presencia en entornos urbanos es episódica, de modo que su potencial como vector de enfermedades queda limitado (Cabrera & Lopez, 2021).

d. prepupas

Según Dortmans, et al., (2021) , El proceso de pupación designa la transformación de una pupa en una mosca adulta mediante la metamorfosis final. Esta etapa comienza cuando la prepupa escoge un microhábitat adecuado y adopta una postura rígida y sedentaria. Para que la incubación logre el máximo éxito, es preferible que el microclima se mantenga en un umbral homogéneo de temperatura, se preserve en sombra y se proteja de la lluvia.

E. Adulto

Esta fase representa la última etapa del ciclo biológico de la mosca estéril y se califica como crítica porque el éxito reproductivo determina la estabilidad poblacional. Por ende, un contenedor cerrado debe ser diseñado para permitir la penetración de luz natural, circunstancia que prolonga la vida de la mosca y, por ende, el número de oviposiciones. Al mismo tiempo, el recinto de cópulas debe comunicarse directamente con la cámara de pupas, ya que los adultos recién emergidos se orientan hacia la luz, de modo que el diseño impide su fuga. La pigmentación del adulto oscila entre negro, verde y azul, frecuentemente con un lustre metálico, y su forma es similar a la de ciertas avispas. El sonido que producen al volar tiene una intensidad análoga al de esos himenópteros. Las alas, que son translúcidas y se disponen sobre el primer tercio del tórax, complementan la estructura. La longitud del organismo varía de 15 a 20 mm. Los adultos presentan antenas elongadas compuestas por tres artículos. Las patas exhiben un marcado blanqueamiento en la porción apical de los segmentos. Las estructuras bucales presentan modificaciones que limitan su capacidad ingestiva, relegándolas a un papel exclusivo en los comportamientos reproductivos. La cópula se verifica, como máximo, 48 horas después de la eclosión del imago a partir del pupario (Cabrera & Lopez, 2021).

Finalizado su proceso de emergencia, la mosca presenta una longevidad aproximada de siete días. En ese corto intervalo vital, el insecto ejecuta el cortejo, la cópula y, en el caso de la hembra, la ovoposición. Igualmente, que su congénere, el soldado negro, el imago no ingiere alimento, limitándose a beber de una fuente de agua o de un sustrato húmedo que colme su demanda de hidratación. El elemento crítico de esta última fase del ciclo vital radica en la disponibilidad de una dosis amplia de luz natural y en el mantenimiento de un intervalo térmico entre 25 y 32 grados Celsius. El recurso de un ambiente húmedo puede prolongar la longevidad del insecto y, correlativamente, mejorar la probabilidad de una ovoposición exitosa.

Estudios han documentado que las moscas eligen acoplarse en las primeras horas matinales. Cumplido ese acto, las hembras se desplazan en busca de un sustrato que garantice el éxito del ciclo siguiente (Dortmans, Egger, et al., 2021).

f. Apareamiento

Durante la etapa de apareamiento de la mosca, es esencial que el entorno donde las larvas van de la pupa a la mosca adultas esté diseñado para permitir el paso de luz suficiente. Al inicio del ciclo, el ambiente empleado para el crecimiento de las larvas suele ser oscuro o semiluminoso, ya que esto maximiza su desarrollo. Sin embargo, entre el área de crianza y la jaula de los adultos, hemos incorporado una fuente de luz dirigida a guiar a las moscas recién emergidas hacia la zona de reproducción. Tanto la intensidad de la luz como el fotoperiodo se reconocen como variables críticas que estimulan la actividad reproductiva. Durante la vida adulta, la mosca también requiere hidratación, por lo que en el recinto se coloca un tejido siempre húmedo que cubre esta necesidad. Tras la cópula, las hembras depositan los huevos en sustratos previamente preparados o en hendiduras cercanas a un medio que les parece adecuado (Muñoz & Parada, 2022).

3.2.7.3. La larva de mosca soldado negra (Bioconversor de residuos orgánicos)

Según (Amores, 2021) Los estadios larvales de *Hermetia illucens* presentan una notable capacidad para asimilar diversos flujos de biorresiduos y transformarlos en biomasa de elevado valor añadido. A lo largo del ciclo de crecimiento, la larva induce una fermentación anaerobia controlada que mineraliza el sustrato y lo convierte en compost, una enmienda efectiva para la mejora de la calidad del suelo. Tras la cosecha, la biomasa larval se puede destinar a la obtención de harina proteica, hidrolizados de proteínas, lípidos, y ácidos grasos como el ácido láurico, así como de quitina, un biopolímero valorado en aplicaciones agrícolas y farmacéuticas, y cuya combinación con el compost inicial da lugar a fertilizantes orgánicos de liberación controlada.

La mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) presenta un perfil composicional altamente atractivo desde una perspectiva nutricional, predominando un 42 % de biomasa en proteínas y un 35 % en lípidos, según (Newton, 2005). Estudios comparables han evidenciado la viabilidad de reemplazar, mediante la inclusión de harina derivada de prepupas de mosquito negro (MSN), hasta un 25 % de la harina de pescado en formulaciones alimentarias acuícolas. El fraccionamiento simultáneo de lípidos y proteínas del prepupa permite la concepción de dietas con un perfil nutricional más equilibrado y, en una segunda etapa, la elaboración de concentrados que superen el 60 % en proteínas brutas. La eliminación dirigida de quitina, además de optimizar la formulación, aumenta de forma relevante la fracción proteica disponible y mejora la digestión del producto, contribuyendo así a una mayor eficiencia del uso cárnico en la cría de organismos acuáticos (Segura Cazorla, 2014).

El organismo analizado, integrante de la orden díptera, completa su desarrollo mediante metamorfosis holometábola, caracterizada por fases larval, pupal y adulta altamente especializadas. Las condiciones de la temperatura óptima fluctúan entre 26 y 28 °C, el ciclo se completa entre 21 y 28 días, como lo han documentado múltiples estudios. La tasa de crecimiento se ve adicionalmente modulada por la densidad y calidad del sustrato alimentario. La secuenciación del ciclo ontogénico comprende las fases de huevo, larva, pupa, prepupa y adulto. La duración de la oviposición y del estadio adulto es corta; sin embargo, las fases larval y pupal se extienden, lo que provoca que el tiempo combinado de estas etapas represente la mayor fracción del ciclo. Ante la corta longevidad de la fase adulta, las hembras subordinan su estrategia reproductiva a la producción masiva de ovocitos, lo que asegura un aporte numérico significativo de descendientes por ciclo (Cabrera & Lopez, 2021).

Las larvas aprovechan una amplia variedad de detritos como fuente de alimento: materia orgánica en proceso de descomposición, restos de procedencia vegetal y animal,

estiércol, residuos de comidas y desechos municipales, además de nutrirse de la descomposición de materia vegetal (Cabrera & Lopez, 2021).

3.2.7.4. Factores que repercuten en el progreso de la mosca soldado negra (MSN)

a. Temperatura

Las moscas soldados negros (MSN) presentan una alta sensibilidad frente a las variaciones de su entorno, por lo cual un monitoreo continuo de las variables ambientales se torna imperativo para optimizar su eficiencia biológica y técnica. Entre los parámetros críticos, la temperatura se ubica en un lugar preeminente, ya que no solamente condiciona la estabilidad y el microbiota del sustrato, sino que también modula las fases del ciclo biológico del insecto, afectando en última instancia la biomasa y la calidad del producto obtenido. Autores como Rehman et al., (2017), Sheppard et al., (2002) y Tomberlin et al., (2009) Los investigadores reconocieron la importancia de dicho parámetro para el avance de sus estudios y, en consecuencia, fijaron un rango de temperaturas específico comprendido entre 25 y 30 °C.

De igual manera en un estudio desarrollado por Tomberlin et al., (2009), En un análisis sistemático de las trayectorias de desarrollo de la mosca soldado negra, criadas a tres niveles térmicos, se determinó que la gama térmica más propicia para el desarrollo larval se sitúa entre 26 y 28 °C. Los datos derivados del ensayo sugieren que la longevidad de larvas, prepupas, pupas y fases adultas se maximiza en un intervalo térmico de 25 a 30 °C. Al exceder el extremo superior de dicho intervalo, se registra una traslación acelerada de las fases, en tanto que un descenso del medio térmico acorta la longevidad y se traduce en un alargamiento del ciclo biológico global de la especie (Park, 2016).

b. Humedad

Las larvas, debido a su marcada sensibilidad térmica, también presentan una receptividad elevada a la humedad relativa del ambiente. Esta variable influye de manera

crítica en la eclosión del huevo, puesto que la humedad relativa por debajo de los niveles óptimos produce un déficit de agua que atraviesa la membrana del huevo y acentúa la deshidratación. Un intervalo de 30 a 90 % de humedad relativa, combinado con una temperatura constante de 27 °C, favorece el apareamiento y la ovoposición. Esta amplitud en la tolerancia de humedad sugiere que la especie MSN posee una capacidad de plasticidad fenotípica a nivel de reproducción que se ajusta a variaciones térmicas de ambiente (Park, 2016).

Igualmente, resulta esencial implementar un seguimiento sistemático de la humectación durante la fase larval, prestando particular atención a la alimentación suministrada. Una concentración óptima de agua en el sustrato evita la deshidratación del mismo, lo que, a su vez, favorece el proceso digestivo de las larvas.

Algunos autores como Dortmans, Egger, et al., (2021), Cheng et al., (2017) y Guo et al., (2020) proporcionaron los diferentes sustratos a las larvas con una humedad de 70- 80%, 70-75%, 62% y 80% respectivamente.

Para la determinación el porcentaje (%) de humedad en materias orgánicas, es posible adoptar el siguiente protocolo analítico: se toma una muestra representativa de 5 g de muestra, la cual se introduce en un horno regulado a 105 °C y se mantiene en ese ambiente térmico durante 24 horas. Al concluir el ciclo de secado, se registra la masa de la muestra y se calcula el contenido de humedad empleando la ecuación estipulada para tal fin.

$$\%H = \frac{W1 - w2}{W1}$$

Donde:

- ✓ % H= porcentaje de humedad
- ✓ (%) W1 W1= Peso húmedo inicial en gramos

- ✓ W2= Peso seco final en gramos (Ospina & Carrejo, 2021).

c. Potencial de hidrogeno (pH)

La calidad nutricional de las larvas se relaciona de forma directa con su eficiencia para metabolizar desechos y generar productos alcalinos, cuyo rango habitual se sitúa entre 8 y 10, idealmente próximo a la neutralidad. Un suministro equilibrado de macro y micronutrientes favorece este fenómeno, permitiendo que la larva no sólo absorba energía, sino que también active vías catabólicas que incrementan la alcalinización del medio. En consecuencia, la bioconversión de sustratos avanza con mayor rapidez y uniformidad, facilitando la producción de biomasa y metabolitos deseables (Cabrera & Lopez, 2021).

Para Dortmans et al., (2021) precisa que el progreso exitoso de las larvas de mosca soldado negro depende críticamente de su régimen alimentario. Los sustratos que concentran cantidades elevadas de proteínas y carbohidratos fomentan una elevación de la curva de crecimiento larvario. Las investigaciones recientes han demostrado que la asimilación del sustrato se optimiza si este ha pasado previamente por una fase de descomposición mediada por comunidades bacterianas o fúngicas. Complementariamente, el tamaño de las partículas alimentarias desempeña un papel determinante, dado que la anatomía mandibular larval carece de la morfología necesaria para una masticación efectiva. En consecuencia, la conversión del sustrato alimentario se maximiza cuando este se presenta en partículas pequeñas o en una fase de suspensión acuosa.

3.3. Definición de términos

✓ Residuos sólidos

Los residuos sólidos se refieren a todo material desechado que requiere un manejo adecuado debido a su potencial de valorización y al riesgo que puede implicar para la salud y el ambiente. Su gestión comprende diversas fases, desde la recolección

y transporte hasta el tratamiento y disposición final, asignando responsabilidades específicas a las entidades encargadas de su control (MINAM, 2018).

✓ **Residuos orgánicos**

Los residuos orgánicos comprenden la fracción biodegradable de los desechos sólidos, integrada principalmente por materiales de origen animal y vegetal, como restos de comida, estiércoles, hojas, ramas y otros subproductos de la poda o mantenimiento de áreas verdes. Al someterse a procesos de degradación natural, puede generar subproductos como compost, biogás o lixiviados (MINAM, 2023).

✓ **Mosca soldado negra (*Hermetia Illucens*)**

Una especie de insecto distribuida en regiones tropicales y subtropicales colabora de manera crítica en la descomposición de materia orgánica y en el control biológico de poblaciones de plagas. Su ciclo biológico se articula en cinco momentos diferenciados: huevo, larva, pupa, prepupa y adulto Singh, B., & Kumari, K. (2024).

✓ **Frass.** Se refiere a los metabolitos secundarios excretados por las larvas de la mosca soldado negro durante la conversión biológica de materia orgánica. Su perfil químico, que coincide con el de los estadios tempranos de compost, presenta una elevada concentración de nitrógeno, fósforo y potasio, además de oligoelementos y materia orgánica altamente asimilable. Estas características lo convierten en un insumo altamente eficaz para la formulación de fertilizantes orgánicos estructurados (Siddiqui, SA, Gadge, AS, Hasan, 2024).

✓ **Macroelementos**

Los elementos químicos nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) son nutrientes fundamentales para la fisiología vegetal y otros organismos, dado que su presencia en tejidos demuestra concentraciones notablemente mayores que la de otros micronutrientes esenciales (AEFA, 2022).

✓ **Microelementos**

El hierro (Fe), el manganeso (Mn) y el zinc (Zn) constituyen micronutrientes esenciales para múltiples procesos bioquímicos en organismos vivos. Aunque requeridos en concentraciones más reducidas que los macronutrientes, su disponibilidad y equilibrio en el medio interno son determinantes para el mantenimiento de la homeostasis y el funcionamiento óptimo de vías metabólicas específicas (Trujillo Melchor, 2022).

✓ **Bioconversión**

La transformación biológica de residuos orgánicos se fundamenta en la acción de microorganismos y metazoos, entre ellos las larvas de (*Hermetia illucens*), que desplazan la estructura química compleja de la biomasa vegetal y animal hacia formas moleculares más simples y biodisponibles. Este proceso de biodegradación no solo produce compost similar a humus, sino que también solubiliza nutrientes, favoreciendo su asimilación en ciclos agroecológicos (Purnamasari & Khasanah, 2022).

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

4.1.1. Tipo

El tipo de la investigación de la tesis se centra en el tipo aplicada. Puesto que el objetivo principal de esta investigación fue desarrollar la práctica de los principios teóricos ya establecidos en relación al uso de larvas de mosca soldado negra para el análisis y tratamiento de desechos orgánicos. Tal como afirma Arias Ondón, (2012) el tipo de investigación aplicada se centra en encontrar una utilidad práctica para resolver desafíos concretos, lo cual se denomina investigación aplicada (p.22).

4.1.2. Nivel

La investigación reunió las condiciones de un nivel explicativo. El propósito consiste en llevar a la práctica los conceptos teóricos relacionados con la utilización de larvas de la mosca soldado negra para transformar desechos orgánicos.

De acuerdo a los argumentos de conexión (Hernández Sampieri et al., 2014) precisa que, los estudios explicativos tienen como objetivo principal indagar y analizar las razones subyacentes que provocan los eventos y fenómenos físicos o sociales, y van más allá de simplemente describir conceptos o establecer relaciones entre ellos. Su principal enfoque es proporcionar una explicación detallada sobre las razones que subyacen a la ocurrencia de un determinado fenómeno, así como analizar las circunstancias en las que se manifiesta, así como explorar la posible relación entre varias variables y explicar su conexión (Hernández Sampieri et al., 2014). Asimismo, el diseño corresponde a un diseño experimental y el enfoque fue cuantitativo.

4.2. Ámbito temporal y espacial

4.2.1. Temporal

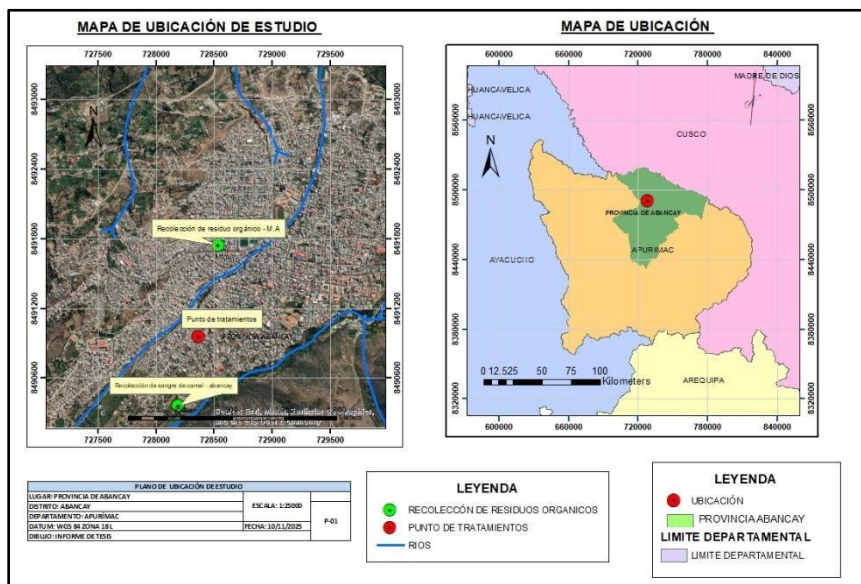
El proyecto de tesis se ejecutó dando inicio el mes de marzo de 2024 a agosto del 2025, teniendo en cuenta las distintas etapas consideradas para la ejecución del proyecto.

4.2.2. Espacial

El proyecto de tesis se desarrolló en el distrito de Abancay. Los residuos orgánicos utilizados fueron recolectados en el Mercado Las Américas, de Camal Municipal de Abancay, así mismo el tratamiento y seguimiento del proceso de descomposición se realizó en un módulo experimental ubicado en el sector de Patibamba Baja, donde se efectuó la alimentación de las larvas, el seguimiento del proceso de degradación y la obtención del frass.

Figura 1

Mapa de ubicación de estudio y puntos de recojo de residuos orgánicos.



Nota: Elaboración propia.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

Según Lerma González, (2009) La población se refiere a la totalidad de individuos que comparten una característica específica o que se pueden definir de la misma manera, sobre los que se llevará a cabo un análisis detallado de sus atributos y conexiones (p.72).

La población estuvo conformada por las larvas de *Hermetia illucens* empleadas en el proceso experimental para la descomposición de residuos orgánicos. Estas larvas fueron utilizadas para evaluar la eficiencia del proceso de degradación bajo condiciones ambientales del distrito de Abancay durante el año 2024. Los residuos orgánicos empleados como sustrato para la alimentación de las larvas provinieron principalmente de mercados y del camal municipal, los cuales sirvieron como material para el proceso de bioconversión.

4.3.2. Muestra

Hernández et al (2014) La muestra debe entenderse como un segmento delimitado de la población bajo investigación, cuya identificación y explotación para la recolección de información son pasos obligatorios. Para garantizar la validez del estudio, es imprescindible que dicho segmento esté caracterizado con exactitud y que, además, su composición reproduzca con exactitud la heterogeneidad de la población completa. Solo así se puede asegurar que los hallazgos derivados de la muestra se generalicen razonablemente al conjunto poblacional (p.174).

Durante la investigación, la muestra que se utilizó estuvo conformado por una selección representativa de los residuos orgánicos recolectados en el mercado las Américas y el camal municipal y se estableció un muestreo por conveniencia, teniendo los criterios de exclusión como:

Criterios de inclusión:

- a) Residuos orgánicos generados en el mercado Las Américas y el camal municipal.
- b) Residuos frescos y no contaminados con sustancias químicas.
- c) Residuos biodegradables aptos para el consumo de larvas de *Hermetia illucens*.
- d) Residuos disponibles en cantidades suficientes para el desarrollo del *Hermetia illucens*.

Criterios de exclusión:

- a) Residuos inorgánicos (plásticos, metales, vidrio, etc.).
- b) Residuos orgánicos en estado de putrefacción avanzada.
- c) Residuos contaminados con sustancias tóxicas o químicas.
- d) Residuos que no sean consumidos por las larvas o que afecten su desarrollo

De los residuos recolectados, se seleccionaron muestras representativas para el estudio de descomposición mediante larvas de la *Hermetia illucens*, conformando un total de 60 kg. Estos fueron tratados en condiciones controladas para evaluar su eficiencia en la reducción de la materia orgánica.

- ✓ Residuo de plátano una cantidad de 20 kg
- ✓ Restos de comida y extracto de jugo una cantidad de 20 kg
- ✓ Sangre de camal una cantidad de 20 kg

Estos residuos desechados pasaron por un proceso de consumo (tratamiento) utilizando larvas de mosca soldado negro en un entorno controlado con el objetivo de analizar su efectividad para descomponer los residuos.

4.4. Instrumentos

Se utilizó una **ficha de observación** de resultados como instrumento para evaluar la eficiencia de las larvas de *Hermetia illucens* en el proceso descomposición de residuos orgánicos. Este formulario fue diseñado de acuerdo a la necesidad, que permitió identificar

en pre-tratamiento como: tipo de residuos orgánico, peso inicial de residuos, cantidad de larvas, tamaño de larva inicial, características físicas, temperatura, humedad, en pos.tratamiento como, tiempo de descomposición de los residuos orgánicos, cambios de color, la presencia de olores, el crecimiento larval y otros aspectos de importancia. Las observaciones, realizadas de forma sistemática a lo largo de la investigación en condiciones ambientales controladas, permitieron seguir la progresión de la descomposición y el rendimiento larval en cada sustrato, lo cual permitió un análisis comparativo y una comprensión detallada del proceso.

De la misma forma, para determinar la composición nutricional del frass resultante de la excreta larval, se enviaron muestras a un laboratorio. En este laboratorio, se siguieron protocolos estandarizados y metodologías validadas para la cuantificación de macroelementos y microelementos. Las muestras fueron secadas y pulverizadas, y se emplearon métodos estandarizados para determinar el contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, zinc. El cumplimiento de las directrices reglamentarias garantizó la precisión y la validez de los resultados, ofreciendo datos cruciales sobre el potencial fertilizante del frass de las larvas de (*Hermetia illucens*).

Por otro lado, se utilizó como **técnica** la observación directa, teniendo en cuenta la incorporación de las larvas a los distintos tipos de residuos (tratamientos) y la revisión documentaria (tesis, artículos y otros) que ha permitido fortalecer los fundamentos y las técnicas a utilizar.

Materiales y/o equipos utilizados.

- Maderas (cintas)
- Malla Rachell
- Clavo de 1pulg
- Martillo, arco cierra y flexómetro
- Plástico color blanco transparente

- Bandejas para residuos
- Tablillas de postura
- Residuos orgánicos
- Cuaderno y pizarrín de apuntes.
- Balanza digital
- Salvado de trigo

4.5. Procedimientos

La fase experimental se ejecutó instalando un módulo de 2m largo x 1.50m ancho x 2 m de altura, recubierto con malla Rachell de (60%), entorno que permitió controlar y proteger algunos aspectos como el viento, iluminación para el desarrollo exitoso de la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) y el crecimiento adecuado de sus larvas. Dentro de estas instalaciones, las larvas estuvieron controladas, lo que tradujo una tasa de crecimiento uniforme. Una vez instalada la estructura, se procesaron tres fuentes de sustrato: residuos de plátano, restos de comida y residuos de extracto jugo y para el tratamiento con residuos de sangre provenientes del Camal Municipal de Abancay, se recolectó sangre fresca y se sometió a cocción para estabilizar el material. Posteriormente, se emplearon 20 kg de sangre cocida, los cuales, al igual que los demás sustratos, fueron distribuidos en bandejas con una cantidad homogénea de 20 kg por tratamiento, incorporándose 866 g de larvas por cada unidad experimental.

Durante el desarrollo del experimento se realizó un monitoreo directo de las unidades experimentales que contenían los tres tipos de sustrato. Cada 3 a 4 días se efectuaba una remoción manual del material para verificar el estado del proceso de descomposición y controlar el nivel de humedad presente en los recipientes. Cuando se observaba exceso de humedad, se incorporaba salvado de trigo como material absorbente, lo que permitía regular la humedad del sustrato, favorecer la aireación y evitar la generación de malos olores. Asimismo, la remoción periódica del material contribuyó a mantener una

adecuada ventilación y a optimizar el proceso de degradación de los residuos orgánicos por parte de las larvas de (*Hermetia illucens*).

Durante la investigación, se efectuó un seguimiento minucioso del crecimiento larval. Se realizaron mediciones periódicas de masa, lo que nos permitió obtener datos sobre el desarrollo en cada tipo de residuo. Este monitoreo continuo permitió relacionar el crecimiento de las larvas con la dinámica de descomposición de los residuos. Al finalizar el ciclo de degradación y al llegar las larvas a la fase de prepupa, se procedió a la recolección del frass, el subproducto que resulta del proceso digestivo. Este material se tamizó, separándolo de los fraccionables no biodegradables y de los ejemplares larvales, para garantizar que se obtuviese una muestra pura y representativa, lista para el análisis posterior.

La etapa final de la tesis se centró en evaluar el frass producido. Se tomaron muestras que fueron enviadas a laboratorio para determinar su composición, incluyendo tanto los macronutrientes como los micronutrientes. Los datos obtenidos fueron decisivos para valorar el frass como potencial fertilizante orgánico. En síntesis, se organizó de manera sistemática toda la información generada desde la instalación del fitotoldo hasta los resultados de los laboratorios, consolidándola en el informe de resultados. Este documento final ofrece un panorama detallado de las metodologías empleadas, los hallazgos claves sobre el rendimiento de las larvas de mosca de soldado negra.

4.6. Análisis de datos

Primero, los datos obtenidos durante el proceso experimental fueron organizados y analizados mediante estadística descriptiva, considerando medidas como promedio, desviación estándar y variabilidad entre tratamientos.

Segundo, se determina si existían diferencias significativas entre los tratamientos correspondientes a los distintos tipos de sustrato, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor. Cuando el ANOVA mostró diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para identificar entre qué tratamientos existían dichas diferencias, El análisis estadístico permitió comparar el desempeño de las larvas de *Hermetia illucens* en la degradación de los distintos sustratos y evaluar diferencias en la generación y composición del frass.

4.7. Consideraciones éticas

Durante el desarrollo del proyecto de tesis enfocado en evaluar la eficiencia de las larvas de la *Hermetia illucens* en el procesamiento de residuos orgánicos en el distrito de Abancay, se consideraron diversos aspectos éticos con la finalidad de garantizar la integridad de la investigación y el respeto hacia el entorno. En este sentido, se tomaron en cuenta principios como el manejo adecuado de los residuos, la minimización de impactos ambientales durante el desarrollo del experimento.

Cumplimiento estricto a la Resolución del Vicerrectorado de Investigación N°011 -2024-UTEA-VRI de fecha 23 de enero de 2024. Dicho documento precisa los aspectos formales, la especificación de redacción del informe de tesis, estructura del informe final y otros aspectos relevantes para cumplir adecuadamente con la normativa.

Asimismo, se consideró el cumplimiento de las citas y referencias de acuerdo al estilo (APA séptima edición). La aplicación rigurosa de citas y referencias resultó decisiva al permitir la atribución precisa de las fuentes de toda la información incorporada, desde teorías y datos hasta metodologías. Tal procedimiento respetó la propiedad intelectual ajena y, simultáneamente, dotó a la investigación de credibilidad y rigor científico. Citando adecuadamente, se asegura que investigadores posteriores

puedan localizar y consultar los documentos primarios, favoreciendo la edificación compartida del saber en un marco ético y transparente, conforme a las normas de la Universidad Tecnológica de los Andes. Por otro lado, la prevención del plagio fue una prioridad constante a lo largo de la elaboración de la tesis, se realizó una valoración de similitud mediante el software denominado turnitin.

Al emplear las larvas de la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*), se consideraron criterios éticos en el manejo de organismos vivos utilizados en la investigación. En este sentido, se garantizaron las condiciones adecuadas para el cuidado de los seres vivos implicados en los tratamientos. Fue importante asegurar las condiciones óptimas para la cría, alimentación y cuidado de las larvas, respetando los principios éticos y las normativas de bienestar animal correspondientes.

V. Resultados y discusión

5.1. Resultados

5.1.1. Análisis de los parámetros físicos de descomposición de los residuos orgánicos por acción de las larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*).

El análisis de los parámetros físicos permitió evaluar la descomposición de los residuos orgánicos utilizando 866 (g) de larvas de (*Hermetia illucens*). Se consideraron dos indicadores, la cantidad de frass producido y el tiempo de descomposición. Los resultados se presentan según los tipos de residuos evaluados.

En el estudio se emplearon tres tipos de residuos orgánicos, utilizando 20 (kg) por cada tratamiento, (T1) residuos de plátano, (T2) residuos de comida y extracto de jugo, y (T3) sangre de camal, estos residuos nos permitieron evaluar los comportamientos de las larvas.

5.1.1.1. Análisis del tiempo de descomposición de los residuos (Días) de los diferentes tipos de residuo

El tiempo de descomposición del residuo orgánico fue un parámetro, para determinar la eficiencia del proceso realizado por las larvas. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada tratamiento.

Tabla 2

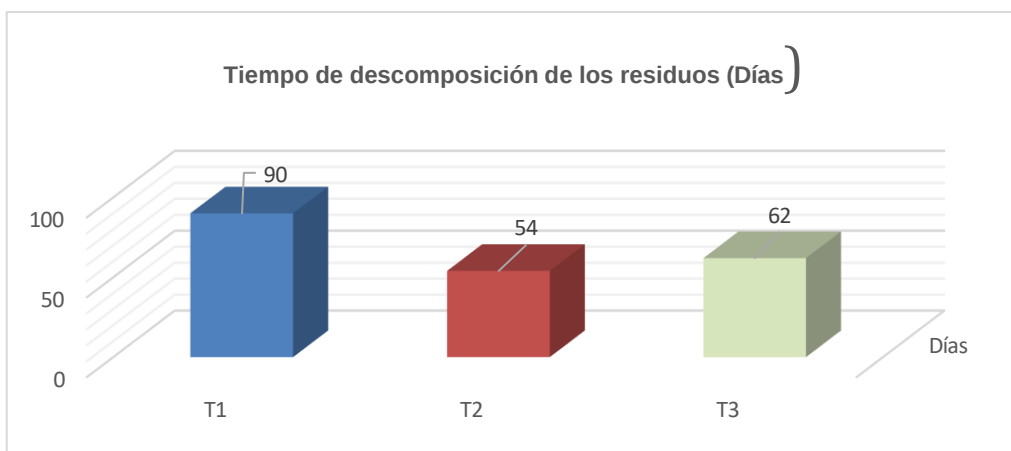
Análisis descriptivo del tiempo de descomposición de los residuos (Días) de los diferentes tipos de residuo.

Tipo de residuo	N	(Días) Media	(Días) Mínimo	(Días) Máximo	Desv. Desviación	% de suma total
T1	3	90,00	89	91	1,000	43,7%
T2	3	54,00	53	55	1,000	26,2%
T3	3	62,00	61	63	1,000	30,1%
Total	9	68,67	53	91	16,394	100,0%

Nota: T1= Frass de restos de comida y de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

Figura 2

Diagrama de barras sobre el tiempo de descomposición de los residuos (Días) de los diferentes tipos de residuo.



Nota: T1= Restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Residuos de plátano y T3 = Residuos sangre de camal.

El análisis muestra el tiempo de descomposición de los residuos (Días) de residuos orgánicos procesados por las larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*), este resultado muestra la variación según el tipo de residuo. La obtención del frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo reportó el periodo mayor alcanzando 90 días como promedio, seguido del Frass de sangre de camal logrando la descomposición en 62 días y finalmente el Frass de residuos de plátano en 54 días, evidencia la mayor eficiencia en los residuos del plátano.

Tabla 3

Análisis de la varianza (ANOVA) para el tiempo de descomposición (días) de los diferentes residuos.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2144,000	2	1072,000	1072,000	,000
Dentro de grupos	6,000	6	1,000		
Total	2150,000	8			

Nota: Elaboración propia.

El análisis de varianza muestra diferencias altamente significativas en los tiempos de descomposición de los residuos orgánicos examinados ($F(2,6) = 1072$, $p < 0.001$). Tanto la elevada estadística F como el valor de p cercano a cero sugieren que la variabilidad observada entre los tratamientos es mayor a la que se registra dentro de cada uno. Por tanto, el análisis muestra la diferencia significativa de descomposición de los residuos (Días) de los residuos orgánicos descompuestos por las larvas de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) parece determinar, de forma clara, la velocidad con que estos materiales se degradan. Además, la suma de cuadrados entre grupos, que asciende a 2144, supera en un orden de magnitud a la suma de cuadrados dentro de grupos, valor que solo llega a 6, lo que respalda la existencia de diferencias notablemente significativas entre los tratamientos aplicados.

Tabla 4

Análisis estadístico de post-hoc de tukey para el tiempo de descomposición (días) de los diferentes residuos.

Tipo de residuo	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T2	3	54,00		
T3	3		62,00	
T1	3			90,00
Sig.		,000	,000	,000

Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

El análisis HSD de Tukey evidencia diferencias muy marcadas ($p < 0.001$) entre todos los tratamientos en cuanto al tiempo de descomposición. Las tres clases de residuos forman grupos distintos, mostrando diferencia entre tratamientos, lo que reafirma que sus velocidades de degradación son estadísticamente distintas. El frass producido con restos de comida y residuos de extracto de jugo se descompone a un ritmo más lento, que el obtenido con residuo de sangre de camal y con residuos de plátano. Además, presenta un tiempo de descomposición superior al de.

5.1.1.2. Análisis de la cantidad de frass (Kilógramos) de los diferentes tipos de residuo

Tabla 5

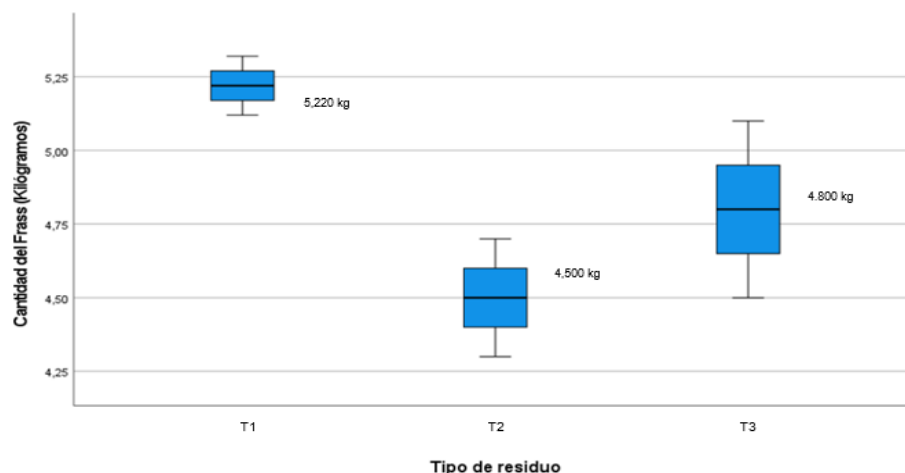
Análisis descriptivo de la cantidad de frass (Kilógramos) de los diferentes tipos de residuo.

Tipo de residuo	N	(Kg) Media	(Kg) Mínimo	(Kg) Máximo	Desv. Desviación	% de suma total
T1	3	5,220	5,1	5,3	,1000	36,0%
T2	3	4,500	4,3	4,7	,2000	31,0%
T3	3	4,800	4,5	5,1	,3000	33,1%
Total	9	4,840	4,3	5,3	,3648	100,0%

Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

Figura 3

Diagrama de cajas sobre la cantidad de frass (Kilógramos) de los diferentes tipos de residuo.



Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

La Tabla 5 presenta un análisis descriptivo sobre la cantidad de frass producido (Kg), a partir de diferentes tipos de residuos orgánicos. Los datos revelan que el conjunto de restos de alimentos y residuos provenientes de extracto de jugo (T1) presenta la mayor media, alcanzando 5.220 kg, lo cual sugiere un notable aumento en la producción. En segundo lugar, se sitúa el frass obtenido de sangre de camal (T3), cuyo promedio se establece en 4.800 kg, mientras que los residuos de plátano (T2) generan el promedio más bajo, de 4.500 kg. Estos

resultados ponen de manifiesto que la composición específica de los residuos influye determinantemente en la cantidad de frass generada.

Tabla 6

Análisis de la varianza (ANOVA) para la cantidad de frass (Kilógramos) de los diferentes residuos.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,785	2	,392	8,409	,018
Dentro de grupos	,280	6	,047		
Total	1,065	8			

Nota. Elaboración propia.

El análisis de varianza (ANOVA) realizado sobre la producción de frass (kg) revela diferencias estadísticamente significativas entre los tres tipos de residuo considerados ($F(2,6) = 8.409$; $p = 0.018$). Un valor de p inferior a 0.05 permite rechazar la hipótesis nula que postulaba igual media para los grupos observados. La suma de cuadrados entre grupos, cifrada en 0.785, supera claramente a la suma de cuadrados dentro de los grupos (0.280), lo que sugiere varianza considerable en la producción de frass según el tipo de residuo presentado.

Tabla 7

Análisis estadístico de post-hoc de tukey para la cantidad de frass (Kilógramos) de los diferentes residuos.

Tipo de residuo	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T1	3	4,500	
T2	3	4,800	4,800
T3	3		5,220
Sig.		,280	,119

Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

La prueba de Tukey para comparaciones múltiples ordena los tratamientos en grupos que presentan niveles similares de frass (kg). Con esta prueba, los tratamientos T1 (frass de

comida y residuos de extracto de jugo) y T3 (frass de sangre de camal) pertenecen al mismo grupo, porque su diferencia no es significativa ($p = 0.119$) y ambos producen cantidades parecidas, es decir, 5.22 kg y 4.80 kg. El tratamiento T2 (frass de plátano) con 5.22 kg y frass de sangre (T3) también pertenece al mismo grupo evidenciando que estadísticamente no presentan diferencia significativa, pues el p -valor asociada es de 0.280.

5.1.2. Análisis de los parámetros químicos del frass de los residuos orgánicos

5.1.2.1. Análisis de los macroelementos presentes en el frass, obtenidos a partir de diferentes tipos de residuos orgánicos

Tabla 8

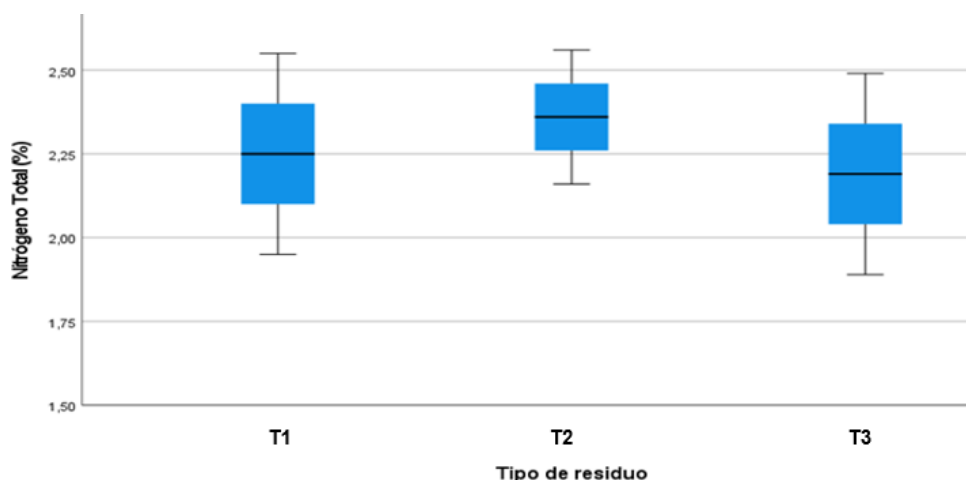
Contenido de Nitrógeno (%) en los tres tipos de sustrato.

Tipo de residuo	Media	N	Desv.	Mínimo	Máximo	% de suma total
T1	2,2500	3	,30000	1,95	2,55	33,1%
T2	2,3600	3	,20000	2,16	2,56	34,7%
T3	2,1900	3	,30000	1,89	2,49	32,2%
Total	2,2667	9	,24612	1,89	2,56	100,0%

Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

Figura 4

Diagrama de cajas del contenido de nitrógeno (%) en el frass de los distintos tipos de residuo.



Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

La Tabla 8 muestra el porcentaje de nitrógeno total en los tres tipos de frass analizados. Las tres muestras tienen concentraciones de nitrógeno relativamente parecidas: el T2 (frass de residuos de plátano) promedia 2,36% (34,7% del total), el T1 (frass de sobras de alimentos y residuos de jugo) llega a 2,25% (33,1%) y el T3 (frass de sangre del camal) queda en 2,19% (32,2%). Las desviaciones estándar son bajas y similares, lo que indica poca variabilidad dentro de cada grupo. Por consiguiente, los resultados sugieren que no hay diferencias en el contenido total de nitrógeno entre los tres tipos de frass estudiados.

Tabla 9

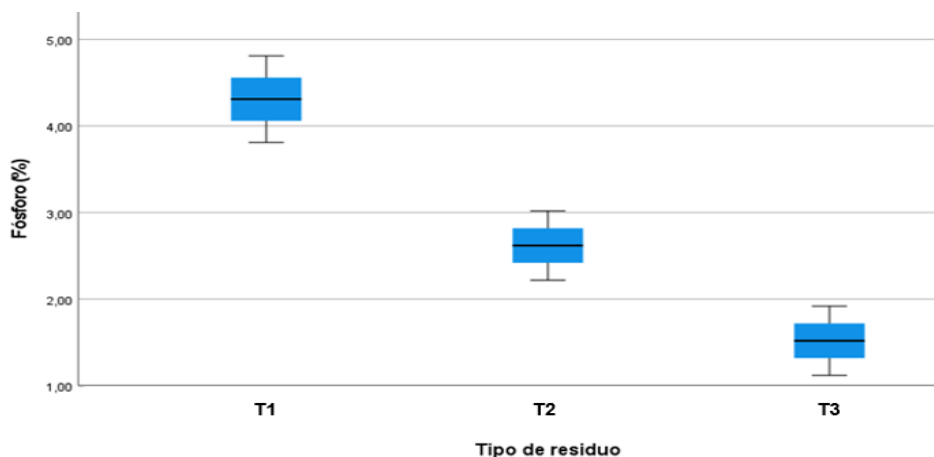
Contenido de fósforo (%) en los tres tipos de sustrato.

Tipo de residuo	Media	N	Desv.	Mínimo	Máximo	% de suma total
T1	4,3100	3	,50000	3,81	4,81	51,0%
T2	2,6200	3	,40000	2,22	3,02	31,0%
T3	1,5200	3	,40000	1,12	1,92	18,0%
Total	2,8167	9	1,27427	1,12	4,81	100,0%

Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

Figura 5

Diagrama de cajas del contenido de fósforo (%) en el frass de los distintos tipos de residuo.



Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

La Tabla 9 revela que el frass generado a partir de restos de comida y residuos de extracto de jugo (T1) presenta la concentración más elevada de fósforo, alcanzando 4,31% y

representando así el 51% del fósforo total en la muestra. El frass obtenido de plátano (T2) contiene un 2,62%, mientras que el de sangre de camal (T3) muestra el contenido más bajo, 1,52%. T1 también exhibe la desviación estándar más alta, lo que sugiere que la cantidad de fósforo en ese frass varía más entre repeticiones. En síntesis, las larvas de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) tienden a concentrar más fósforo cuando se alimentan de restos de comida y jugo.

Tabla 10

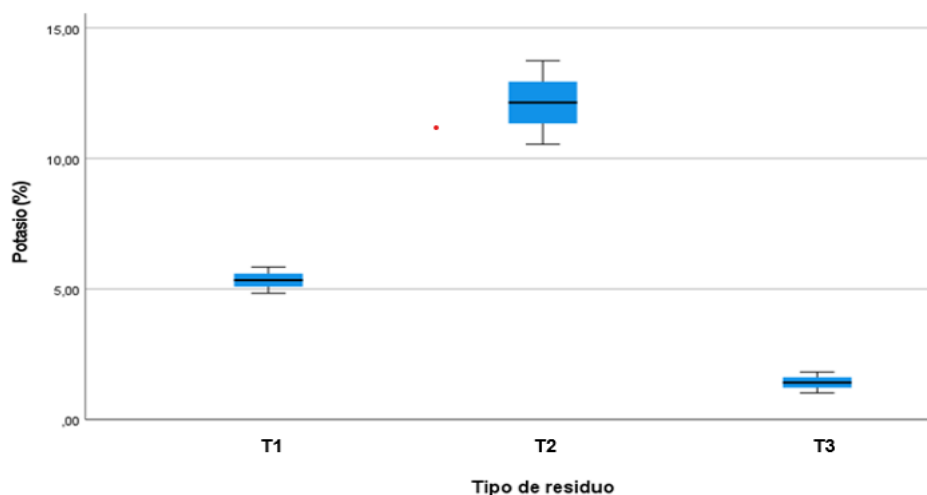
Contenido de potasio (%) en los tres tipos de sustrato.

Tipo de residuo	Media	N	Desv.	Mínimo	Máximo	% de suma total
T1	5,3400	3	,50000	4,84	5,84	28,3%
T2	12,1400	3	1,60000	10,54	13,74	64,2%
T3	1,4200	3	,40000	1,02	1,82	7,5%
Total	6,3000	9	4,77578	1,02	13,74	100,0%

Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

Figura 6

Diagrama de cajas del contenido de potasio (%) en el frass de los distintos tipos de residuo



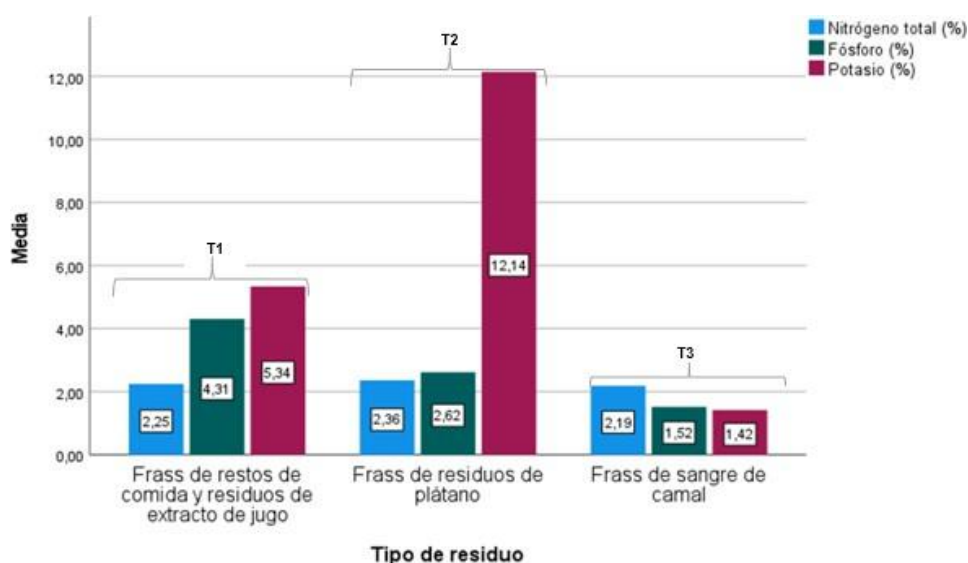
Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

La Tabla 10 indica que el frass producido a partir de residuos de plátano (T2) presenta la mayor media de potasio, alcanzando 12,14 %; esto significa que dicho nutriente representa el 64,2 % del contenido total, y la concentración muestra una variabilidad relativamente baja,

con una desviación estándar de 1,6 %. Por lo tanto, el frass procedente de restos de comida y residuos de extracto de jugo (T1) tiene un nivel inferior, 5,34 % que equivale al 28,3 % del total, mientras que el frass elaborado con sangre de camal (T3) resulta ser el menos rico en nutrientes, con solo 1,42 %, o el 7,5 % de la suma. En resumen, las larvas de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) demuestran una clara preferencia por acumular potasio en el frass que se origina en los desechos de plátano.

Figura 7

Barras agrupadas del contenido promedio de nitrógeno (%), fósforo (%) y potasio (%) de los tres tipos de frass .



Nota: Elaboración propia.

La figura muestra el frass de los tres tipos de residuos, considerando frass de plátano que destaca por tener el mayor contenido de potasio (K) con un valor de 12.14%. La diferencia es mucho mayor que las otras muestras. Con respecto al fósforo (P), el frass de restos de comida y desechos de extracto de jugo tienen el más alto de 4.31% y su valor supera al frass de plátano que se sitúa en 2.62% por 1.69 puntos y está muy por encima del de sangre de camal en 1.52% por 2.79 puntos. Los tres tipos de muestra de frass recolectados tuvieron resultados similares para el nitrógeno (N). Los frass recolectados de plátano (2.36%) y sangre de camal (2.19%) tienen resultados similares. Por otro lado, el frass producido a partir de

residuos de comida combinado con extracto de jugo presenta un valor ligeramente inferior, alcanzando el 2,25 %. Esto significa que, con las condiciones de obtención del frass con larvas de la mosca soldado, el producto final (frass) presenta nutrientes diversificados, siendo el frass de plátano el que presenta la mayor concentración de potasio y el de residuos de comida, la mayor concentración de fósforo.

5.1.2.2. Análisis de los microelementos presentes en el frass, obtenidos a partir de diferentes tipos de residuos orgánicos

Sabiendo que el tratamiento 1 (T1) corresponde al Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, el tratamiento 2 (T2) corresponde al Frass de residuos de plátano el tratamiento 3 (T3), corresponde al Frass de sangre de camal, se tiene los siguientes resultados:

Tabla 11

Contenido de azufre (%) en los tres tipos de sustrato.

Tipo de residuo	Media	N	Desv.	Mínimo	Máximo	% de suma total
T1	,2300	3	,05000	,18	,28	44,2%
T2	,1400	3	,05000	,09	,19	26,9%
T3	,1500	3	,10000	,05	,25	28,8%
Total	,1733	9	,07467	,05	,28	100,0%

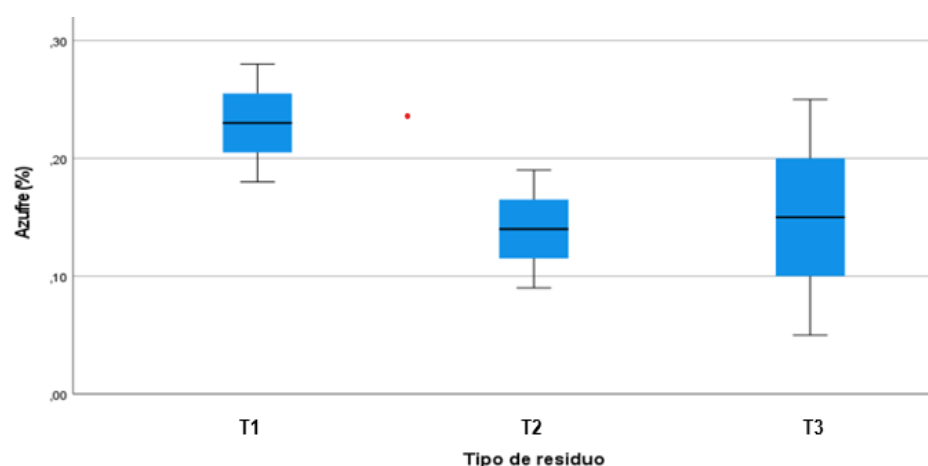
Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

La Tabla 11 ofrece datos comparativos sobre el contenido de azufre (%) en tres tipos de residuos orgánicos. La fracción correspondiente a los restos de comida, identificada como T1, muestra la concentración más elevada, con un 0,23 % de azufre, seguida por el frass producido por la sangre de camal (T3, 0,15 %) y el frass de plátano (T2, 0,14 %). Las desviaciones estándar son pequeñas en T1 y T2, fijadas en 0,05, lo que sugiere que las concentraciones de ambos tipos de frass son bastante uniformes. Por su parte, T3 presenta una desviación estándar más alta, de 0,10, indicando una dispersión más notable en sus

medidas. El intervalo de valores de azufre también es más amplio en T3, donde fluctúa entre 0,05 y 0,25, en contraste con los rangos más estrechos de T1 (0,18-0,28) y T2 (0,09-0,19).

Figura 8

Diagrama de cajas de la concentración de azufre (%) en el frass de los distintos tipos de residuo.



Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

La figura ilustra la capacidad de larvas de mosca soldado negro para descomponer los tres tipos de residuos orgánicos, evaluada para la concentración de azufre (%). Los restos de comida más el extracto de jugos (T1) presentan la mayor concentración de azufre residual, 0,23%, lo que sugiere que las larvas resultan menos eficientes sobre esta mezcla. Además, los residuos de plátano (T2) reporta una concentración menor 0,14% de nutrientes y los restos de sangre de camal (T3) muestran un valor intermedio, 0,15%, que implica una descomposición de rango moderado. Si bien la figura concede una representación clara de los datos, centrarse solamente en las medias oculta la variabilidad interna de cada grupo.

Tabla 12

Contenido de boro (mg/Kg) en los tres tipos de sustrato.

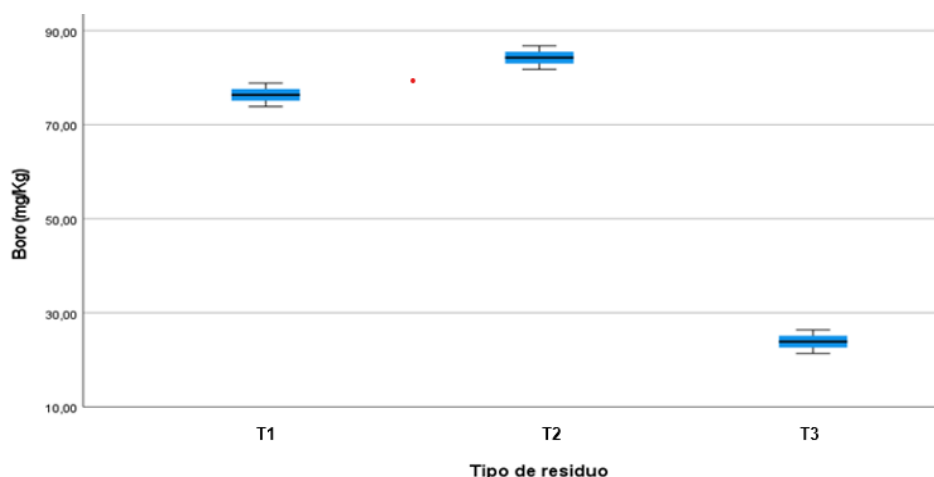
Tipo de residuo	Media	N	Desv.	Mínimo	Máximo	% de suma total
T1	76,3700	3	2,50000	73,87	78,87	41,4%
T2	84,2900	3	2,50000	81,79	86,79	45,7%
T3	23,8700	3	2,50000	21,37	26,37	12,9%
Total	61,5100	9	28,51985	21,37	86,79	100,0%

Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

La tabla 12 contempla los resultados sobre el contenido del boro (mg/Kg) en los tres tipos de sustrato establecidos como T1 (Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo), T2 (Frass de residuos de plátano) y T3 (Frass de sangre de camal). El promedio del porcentaje del boro (mg/Kg) reporta un porcentaje mayor en el T2 (Frass de residuos de plátano) con 84.29%; T1 y T3 registra porcentajes de 76.37% y 23.87% respectivamente. La media del nitrógeno reporta un poco más alta en T2, con 2.36%; T1 y T3, por su parte, quedan en 2.25% y 2.19%, respectivamente.

Figura 9

Diagrama de cajas de la concentración de boro (mg/Kg) en el frass de los distintos tipos de residuo.



Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

El diagrama de cajas presenta la distribución de boro (mg/Kg) en tres tipos de residuos. El frass procedente de restos de comida y de la pulpa de jugo muestra una mediana cercana a 76 mg/kg y poca dispersión. El frass de plátano presenta una mediana algo superior a 84 mg/kg, igualmente con baja dispersión. En cambio, el frass de sangre de camal tiene la mediana más baja, alrededor de 23 mg/kg, y muestra una variabilidad notable. De modo general, el frass de residuos de plátano contiene la mayor concentración de boro, seguido por el de restos de comida; el de sangre de camal queda en el último lugar.

Tabla 13

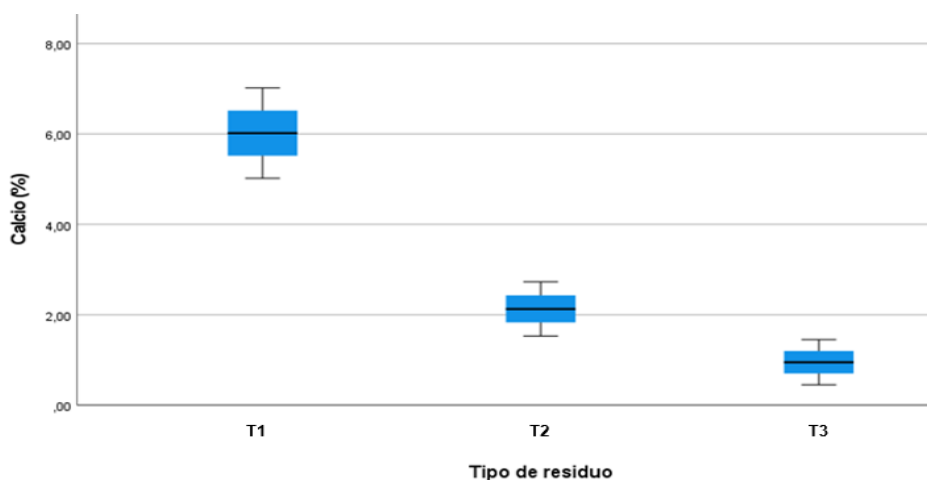
Contenido de calcio (%) en los tres tipos de sustrato.

Tipo de residuo	Media	N	Desv.	Mínimo	Máximo	% de suma
						total
T1	6,0200	3	1,00000	5,02	7,02	66,2%
T2	2,1300	3	,60000	1,53	2,73	23,4%
T3	,9500	3	,50000	,45	1,45	10,4%
Total	3,0333	9	2,38352	,45	7,02	100,0%

Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

Figura 10

Diagrama de cajas del contenido de calcio (%) en el frass de los distintos tipos de residuo.



Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

La Tabla 13 muestra el porcentaje de calcio en tres tipos de residuos (T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal) tratados por las larvas de mosca soldado negro. Al comparar los sustratos, se observa una marcada diferencia en el contenido de calcio. El tratamiento T1 presenta la mayor concentración de calcio 6.02%, que equivale al 66.2% de todo el calcio recuperado. Ese resultado sugiere que el Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo almacena más calcio tras la acción de las larvas. De la misma manera, el sustrato del frass de residuos de plátano muestra una media inferior de 2.13%, que representa el 23.4%. El T3 (Frass de sangre de camal) arroja el dato más bajo, 0.95%, equivalente solo al 10.4% del total. La desviación estándar confirma que la variabilidad en T1 es moderada. Por lo tanto, se puede afirmar que la eficiencia larval para fijar calcio al frass depende del tipo de materia orgánica, siendo más alta en residuos de comida y jugo extraído.

Tabla 14

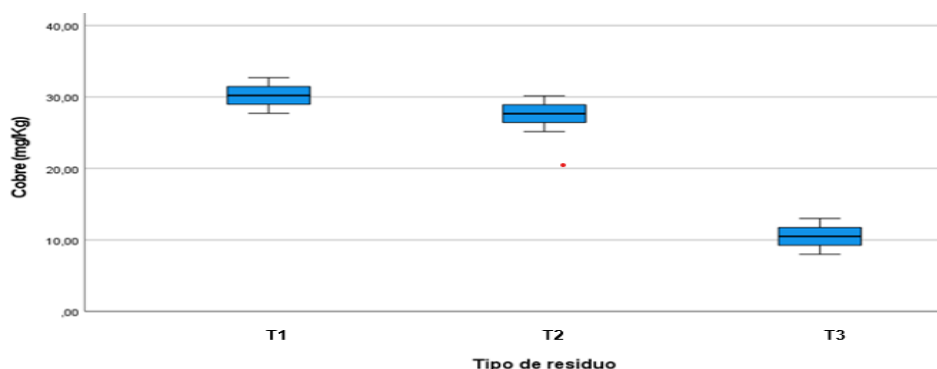
Contenido de cobre (mg/Kg) en los tres tipos de sustrato.

Tipo de residuo	Media	N	Desv.	Mínimo	Máximo	% de suma
			Desviación			total
T1	30,2200	3	2,50000	27,72	32,72	44,2%
T2	27,6700	3	2,50000	25,17	30,17	40,5%
T3	10,5000	3	2,50000	8,00	13,00	15,4%
Total	22,7967	9	9,53736	8,00	32,72	100,0%

Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

Figura 11

Diagrama de cajas del contenido de cobre (mg/Kg) en el frass de los distintos tipos de residuo.



Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

La Tabla 14 recoge los niveles de cobre (mg/kg) hallados en tres sustratos tras el tratamiento con larvas de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*). En el sustrato T1 se registró la cifra más alta, 30,22 mg/kg, que equivale al 44,2% del total. El sustrato T2, elaborado con frass de plátano, presentó 27,67 mg/kg y aportó el 40,5% del total. El T3, compuesto por frass de sangre de camal, mostró el valor más bajo, 10,50 mg/kg, es decir, solo el 15,4%. La desviación estándar fue similar en los tres grupos, 2,5 mg/kg, lo que sugiere una variación comparable entre ellos. Los residuos de comida y de plátano retuvieron más el metal cobre que los de sangre proveniente del camal municipal de Abancay luego de proceso de degradación de las larvas de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*).

Tabla 15

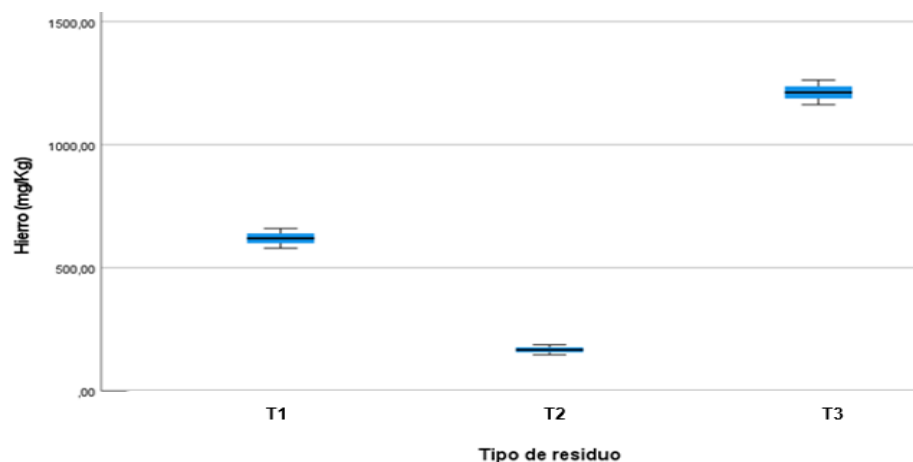
Contenido de Hierro (mg/Kg) en los tres tipos de sustrato.

Tipo de residuo	Media	N	Desv.	Mínimo	Máximo	% de suma total
T1	619,6900	3	40,00000	579,69	659,69	31,0%
T2	166,9000	3	20,00000	146,90	186,90	8,3%
T3	1212,5300	3	50,00000	1162,53	1262,53	60,7%
Total	666,3733	9	455,35977	146,90	1262,53	100,0%

Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

Figura 12

Diagrama de cajas del contenido de hierro (mg/Kg) en el frass de los distintos tipos de residuo.



Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal

La Tabla 15 muestra la concentración del mineral como el hierro (mg/kg) medida en los tres sustratos, analizados después del tratamiento con las larvas de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*). A diferencia de los resultados obtenidos para cobre y calcio, el sustrato T3 - que consiste en frass de sangre de camal - presenta la mayor media de hierro, con 1212.53 mg/kg y el 60.7% del total registrado. Este dato indica que, tras la descomposición, el residuo de sangre acumula cantidades apreciables de hierro. El sustrato T1, formado por restos de comida y residuos de extracción de jugo, muestra un promedio notablemente más bajo, 619.69 mg/kg, que equivale a 31.0% del total. En cambio, el tratamiento T2, elaborado a partir de residuos de plátano procesados en forma de frass, tiene la concentración más reducida, 166.90 mg/kg, es decir, sólo el 8.3% del hierro global. La desviación estándar observada en T3 es superior a la de los otros grupos, lo que señala que en ese sustrato la distribución de hierro es menos homogénea. En resumen, el frass acumulado por las larvas retiene hierro de forma variable y su eficacia depende claramente del tipo de residuo inicial, destacando el frass de sangre del matadero como la fuente más rica en minerales como el hierro.

Tabla 16

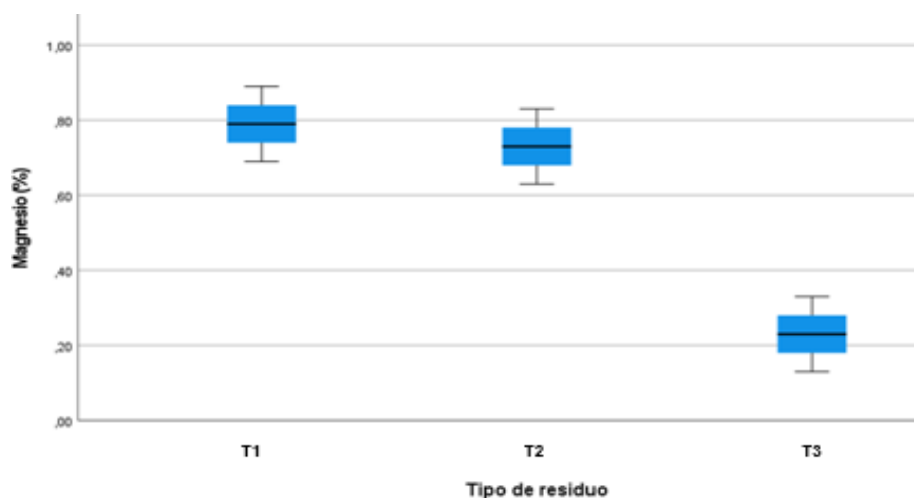
Contenido de Magnesio (%) en los tres tipos de sustrato.

Tipo de residuo	Media	N	Desv.	Mínimo	Máximo	% de suma total
			Desviación			
T1	,7900	3	,10000	,69	,89	45,1%
T2	,7300	3	,10000	,63	,83	41,7%
T3	,2300	3	,10000	,13	,33	13,1%
Total	,5833	9	,28000	,13	,89	100,0%

Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

Figura 13

Diagrama de cajas del contenido de magnesio (%) en el frass de los distintos tipos de residuo.



Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

La tabla 17 recoge la concentración de magnesio en los tres sustratos después de la bioconversión mediante larvas de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*). Los tratamientos T1 (frass de comida) y T2 (frass de plátano) presentaron contenidos muy parecidos, 0,79% y 0,73% respectivamente, que equivalen a 45,1 y 41,7 del total analizado. En cambio, el T3 (frass procedente de sangre de camal) sólo alcanzó 0,23, de modo que su aportación representa apenas el 13,1% del total. La desviación estándar se mantuvo baja y uniforme en todos los grupos, alrededor de 0,1, lo que sugiere que no hubo variabilidad notable entre réplicas.

Tabla 17

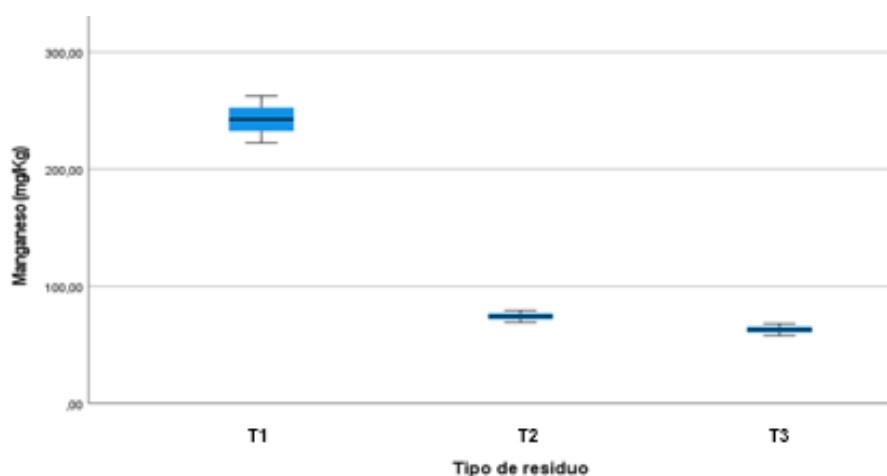
Contenido de Manganeso (mg/Kg) en los tres tipos de sustrato.

Tipo de residuo	Media	N	Desv.	Mínimo	Máximo	% de suma total
T1	242,4900	3	20,00000	222,49	262,49	63,8%
T2	74,3100	3	5,00000	69,31	79,31	19,6%
T3	63,0100	3	5,00000	58,01	68,01	16,6%
Total	126,6033	9	87,69640	58,01	262,49	100,0%

Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

Figura 14

Diagrama de cajas del contenido de manganeso (mg/Kg) en el frass de los distintos tipos de residuo.



Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

La Tabla 18 presenta el contenido de manganeso (mg/kg) en tres tipos de sustrato que se procesaron con larvas de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*). El sustrato T1, compuesto por Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, muestra el nivel más alto, 242,49 mg/kg, que equivale al 63,8% del total. Este resultado sugiere que en ese residuo se acumula más manganeso durante el proceso de descomposición. En cambio, los sustratos T2 y T3 tienen concentraciones inferiores, 74,31 mg/kg y 63,01 mg/kg, y representan el 19,6% y el 16,6% del total, respectivamente. Además, la desviación estándar en T1 es mayor, lo que refleja una variabilidad más amplia en su contenido de manganeso en comparación con T2 y T3. Las larvas de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) parecen ser más eficaces en

concentrar manganeso en los frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo que en los frass de residuos de plátano y frass de sangre de camal.

Tabla 18

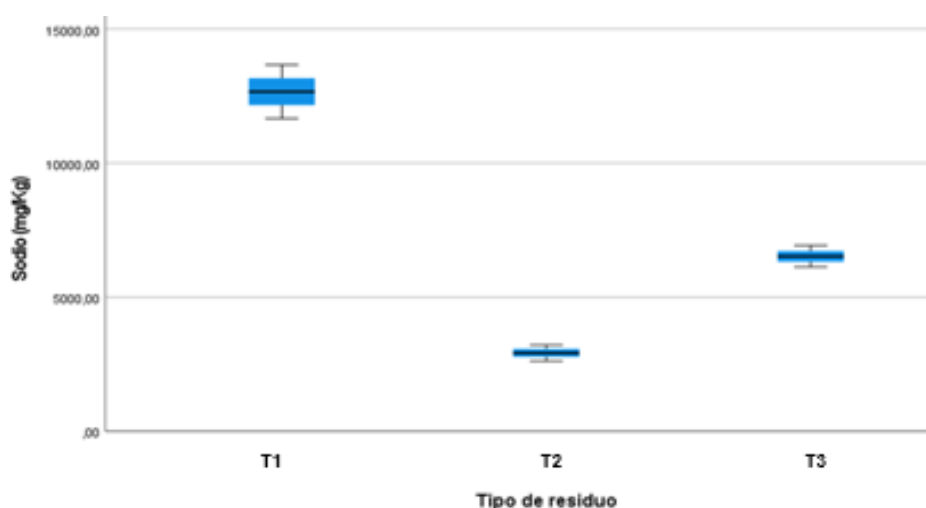
Contenido de Sodio (mg/Kg) en los tres tipos de sustrato.

Tipo de residuo	Media	N	Desv.	Mínimo	Máximo	% de suma total
T1	12664,1900	3	1000,00000	11664,19	13664,19	57,3%
T2	2919,6600	3	300,00000	2619,66	3219,66	13,2%
T3	6524,2500	3	400,00000	6124,25	6924,25	29,5%
Total	7369,3667	9	4303,30973	2619,66	13664,19	100,0%

Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

Figura 15

Diagrama de cajas del contenido de sodio (mg/Kg) en el frass de los distintos tipos de residuo.



Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

La Tabla 19 muestra que el frass originado de restos de cocina y desperdicios de extracto de jugo (T1) tiene la concentración media de sodio (mg/kg) más alta, alcanzando 12664,19 mg/kg, cifra que representa el 57,3% del total. Le sigue el frass recolectado de la sangre de camal (T3), con 6524,25 mg/kg, lo que equivale al 29,5%. En tercer lugar, aparece el frass procedente de residuos de plátano (T2), cuya concentración asciende a 2919,66 mg/kg y cubre el 13,2% restante. La elevada desviación estándar observada en T1, cercana a 1000 mg/kg, indica una mezcla menos uniforme de este elemento en ese tratamiento. Las larvas de

mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) tienden a acumular mucho más sodio cuando se alimentan de restos de comida y residuos de extracto de jugo.

Tabla 19

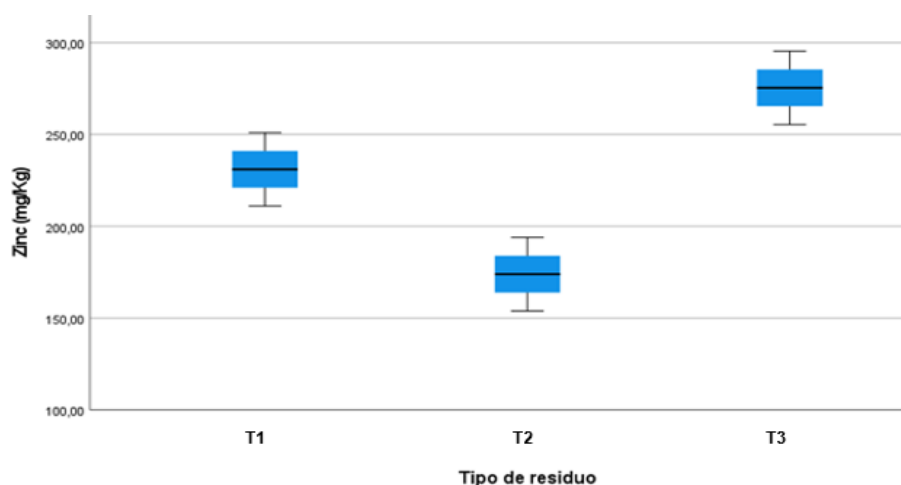
Contenido de Zinc (mg/Kg) en los tres tipos de sustrato.

Tipo de residuo	Media	N	Desv.	Mínimo	Máximo	% de suma total
T1	231,0400	3	20,00000	211,04	251,04	34,0%
T2	173,9100	3	20,00000	153,91	193,91	25,6%
T3	275,4400	3	20,00000	255,44	295,44	40,5%
Total	226,7967	9	47,35971	153,91	295,44	100,0%

Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

Figura 16

Diagrama de cajas del contenido de Zinc (mg/Kg) en el frass de los distintos tipos de residuo.



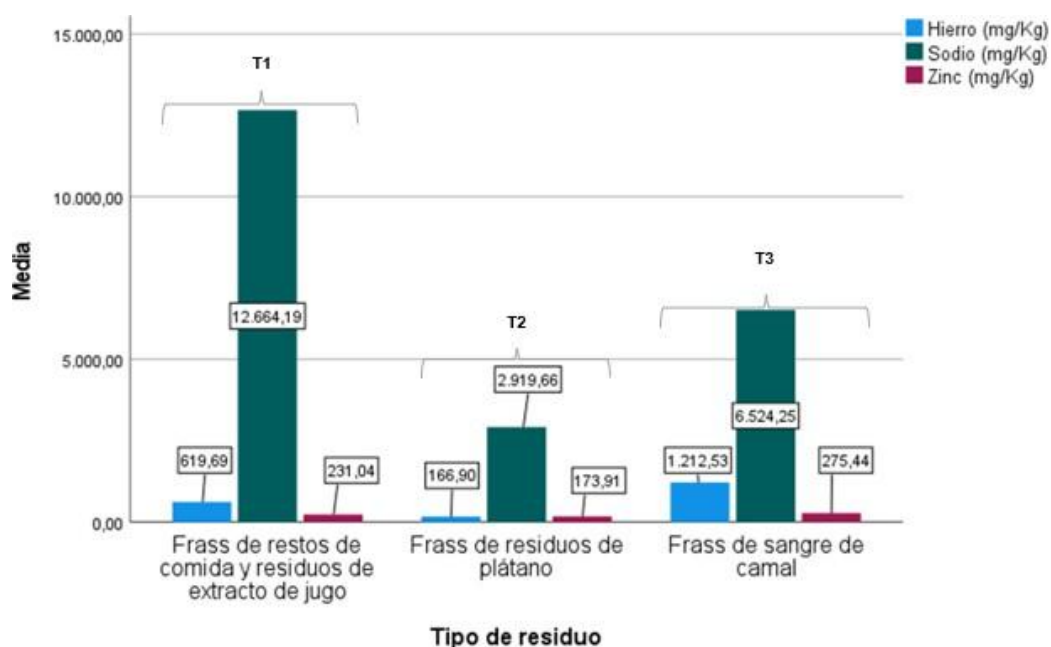
Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

La Tabla 20 muestra el contenido de zinc (mg/kg) presente en cada uno de los tres tipos de frass analizados. El frass producido a partir de sangre de camal (T3) presenta la media más alta, con 275,44 mg/kg, cantidad que se traduce en el 40,5% del zinc total obtenido. A esta muestra le sigue el frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo (T1), que da una concentración de 231,04 mg/kg y representa el 34%. El frass elaborado a partir de residuos de plátano (T2) queda en tercer lugar, con 173,91 mg/kg y un aporte del 25,6%. La

desviación estándar es semejante en los tres tipos, alrededor de 20 mg/kg, lo que indica una variabilidad parecida en las mediciones. Por lo tanto, los resultados sugieren que el sistema de larvas de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) es más eficiente para acumular zinc en el residuo producido con sangre de camal.

Figura 17

Barras agrupadas del contenido promedio de Hierro (mg/Kg), Sodio (mg/Kg) y zinc (mg/Kg) de los tres tipos de frass .



Nota: Elaboración propia.

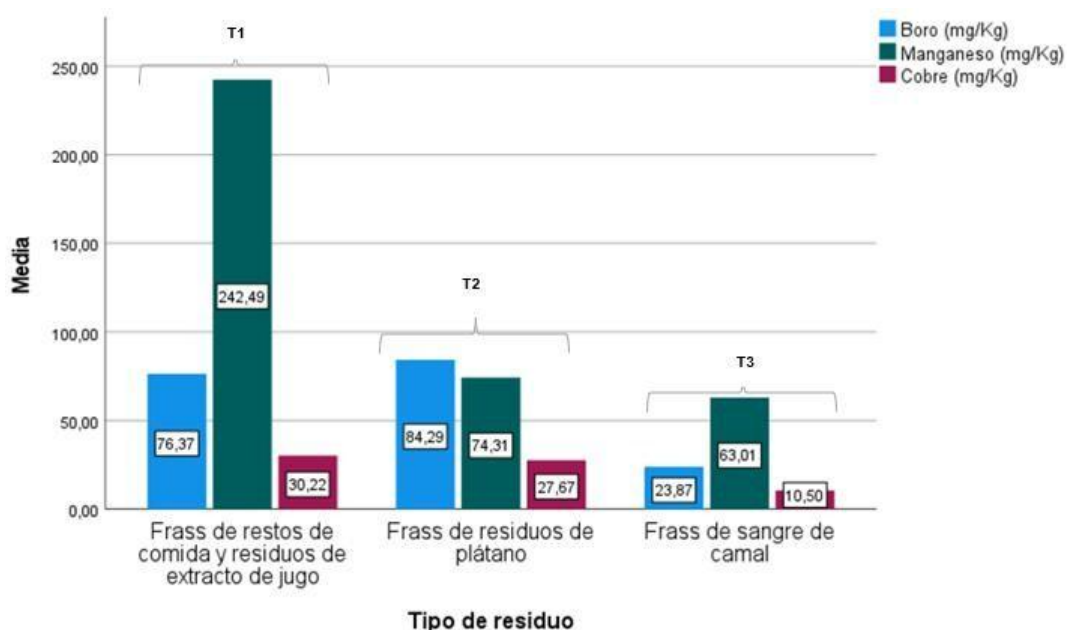
El análisis comparativo de los micronutrientes presentes en los diferentes tipos de frass indica que existen diferencias significativas, especialmente en el contenido de sodio. Los frass generados a partir de residuos de comida y concentrados de jugo presentan la mayor concentración de sodio (Na), con 12 664,19 mg/kg.

Esta cantidad es 4,34 veces mayor que la registrada en el frass de sangre de camal cuya concentración es de 6.524,25 mg/Kg, y también es mucho mayor que el frass de residuos de cáscara de plátano que tiene el contenido de sodio más bajo de 2.919,66 mg/Kg. Por lo tanto, la concentración media de frass de sangre de camal es mucho más alta en hierro, alcanzando 1.212,53 mg/Kg, un aumento del 95,66% frente al excremento de restos de comida

y extracto de jugo que es de 619,69 mg/Kg. La disparidad es tan pronunciada que sugiere que la materia prima inicial (desechos de cocina, desechos de cáscara de plátano o sangre de camal) tiene un impacto sustancial en la composición final del excremento cuando se aplica como fertilizante.

Figura 18

Barras agrupadas del contenido promedio de Boro (mg/Kg), Manganese (mg/Kg) y Cobre (mg/Kg) de los tres tipos de frass .

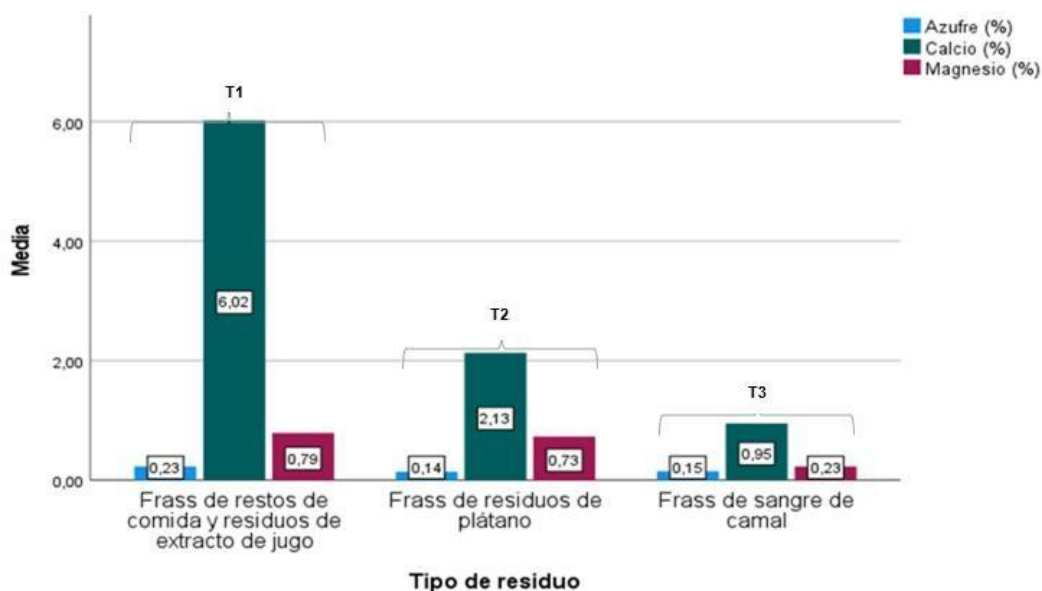


Nota: Elaboración propia.

La figura Los resultados muestran diferencias en la concentración de micronutrientes (Boro, Manganese y Cobre) en el frass generado por larvas de *Hermetia illucens* según el tipo de sustrato. El frass proveniente de restos de comida y jugo presentó las mayores concentraciones de Manganese (242.49 mg/kg) y Cobre (30.22 mg/kg), superando ampliamente a los otros tratamientos. En cambio, el frass de plátano destacó por su mayor contenido de Boro (84.29 mg/kg). El frass derivado de residuos de sangre mostró las concentraciones más bajas en general.

Figura 19

Barras agrupadas del contenido promedio de Azufre (%), calcio (%) y Magnesio de los tres tipos de frass .



Nota: Elaboración propia.

La figura muestra el frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo que tiene valor de 6,02% de calcio, casi tres veces el calcio del frass de residuo de plátano (2,13%) y más de seis veces el frass de sangre de camal (0,95%). El frass de restos de comida y extracto de jugo tienen el mayor contenido de magnesio con 0,79% de magnesio, seguidos por el frass de cáscaras de plátano (0,73%), y el frass de sangre de camal son los más bajos con 0,23%. El frass de sangre de camal (0,15%) y el frass de cáscaras de plátano (0,14%) tienen concentraciones bajas y similares de azufre, mientras que el frass de restos de comida y extracto de jugo tienen una concentración ligeramente superior (0,23%). En general, el frass de restos de comida y extracto de jugo son una buena fuente de calcio necesario para el crecimiento de las plantas.

Prueba de hipótesis

Tabla 20

Análisis de varianza (ANOVA) para los macro y microelementos de nitrógeno (%) y azufre (%).

		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Nitrógeno (%)	Entre grupos	,045	2	,022	2,230	,189
	Dentro de grupos	,060	6	,010		
	Total	,105	8			
Azufre (%)	Entre grupos	,015	2	,007	1,460	,304
	Dentro de grupos	,030	6	,005		
	Total	,045	8			

Nota: Elaboración propio.

La Tabla 20 presenta los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el nitrógeno y el azufre. En el caso del nitrógeno, el análisis no evidenció diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0.189$), ya que este valor es mayor al nivel de significancia establecido (0.05). De manera similar, para el azufre expresado en porcentaje, tampoco se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0.304$). En ambos casos, los resultados indican que no existen diferencias estadísticas en las concentraciones de nitrógeno y azufre entre los tratamientos evaluados: T1 (frass de restos de comida y residuos de jugo), T2 (frass de residuos de plátano) y T3 (frass de sangre de camal). Por lo tanto, se concluye que los valores obtenidos son estadísticamente similares bajo un nivel de confianza del 95% en el frass producido por larvas de *Hermetia illucens*.

Tabla 21

Análisis de varianza (ANOVA) para los micro elementos de Boro (mg/Kg), Calcio (%), Cobre (mg/Kg), Hierro (mg/Kg), Magnesio (%), Manganeso (mg/Kg), Sodio (mg/Kg) y Zinc (mg/Kg).

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Boro (mg/Kg)	Entre grupos	6469,553	2	3234,776	517,564	,000
	Dentro de grupos	37,500	6	6,250		
	Total	6507,053	8			
Calcio (%)	Entre grupos	42,229	2	21,115	39,344	,000
	Dentro de grupos	3,220	6	,537		
	Total	45,449	8			
Cobre (mg/Kg)	Entre grupos	690,190	2	345,095	55,215	,000
	Dentro de grupos	37,500	6	6,250		
	Total	727,690	8			
Hierro (mg/Kg)	Entre grupos	1649820,147	2	824910,073	549,940	,000
	Dentro de grupos	9000,000	6	1500,000		
	Total	1658820,147	8			
Magnesio (%)	Entre grupos	,567	2	,284	28,360	,001
	Dentro de grupos	,060	6	,010		
	Total	,627	8			
Manganeso (mg/Kg)	Entre grupos	60625,273	2	30312,636	202,084	,000
	Dentro de grupos	900,000	6	150,000		
	Total	61525,273	8			
Sodio (mg/Kg)	Entre grupos	145647797,19 3	2	72823898,596	174,777	,000
	Dentro de grupos	2500000,000	6	416666,667		
	Total	148147797,19 3	8			
Zinc (mg/Kg)	Entre grupos	15543,538	2	7771,769	19,429	,002
	Dentro de grupos	2400,000	6	400,000		
	Total	17943,538	8			

Nota: Elaboración propio.

El análisis de varianza (ANOVA) demuestra que los niveles de boro (mg/Kg), calcio (%), cobre (mg/Kg), hierro (mg/Kg), magnesio (%), manganeso (mg/Kg), sodio (mg/Kg) y zinc (mg/Kg) muestran diferencias estadísticamente significativas entre los grupos examinados ($p < 0.05$). Como dicho valor p es inferior al valor de $\alpha = 0.05$, rechazamos la hipótesis nula que sostenía la ausencia de variabilidad entre los grupos para cada uno de estos nutrientes. Este

resultado, respaldado por un intervalo de confianza del 95%, permite concluir que la actividad de las larvas de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) influye de forma favorable y significativa en la concentración de dichos elementos en los distintos tratamientos T1 (Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo), T2 (Frass de residuos de plátano) y T3 (Frass de sangre de camal) que fueron expuestas. La extensión de las discrepancias queda reflejada tanto en los valores de la desviación estándar como en el estadístico F de Fisher, siendo el hierro el mineral que presenta la variabilidad más pronunciada entre los tratamientos analizados.

Tabla 22

Análisis de varianza (ANOVA) para los macro elementos como el Nitrógeno (%), Fósforo (%) y Potasio (%).

		Suma de		Media		
		cuadrados	gl	cuadrática	F	Sig.
Nitrógeno (%)	Entre grupos	,045	2	,022	,304	,749
	Dentro de grupos	,440	6	,073		
	Total	,485	8			
Fósforo (%)	Entre grupos	11,850	2	5,925	31,185	,001
	Dentro de grupos	1,140	6	,190		
	Total	12,990	8			
Potasio (%)	Entre grupos	176,525	2	88,262	89,154	,000
	Dentro de grupos	5,940	6	,990		
	Total	182,465	8			

Nota: Elaboración propio.

Los análisis de varianza realizados muestran que los porcentajes de fósforo (%) y potasio (%) presentan diferencias estadísticamente significativas entre los grupos evaluados ($p < 0,05$); en cambio, el contenido de nitrógeno total (%) no revela variaciones similares ($p > 0,05$). Al aceptar un nivel de confianza del 95 % ($\alpha = 0,05$), la hipótesis nula que sostiene que no existen disparidades en las concentraciones de fósforo (%) y potasio (%) es rechazada, lo que indica que la actividad de las larvas de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) afecta significativamente en esos nutrientes. Por otro lado, como se mantiene la hipótesis nula para

el nitrógeno total, puede concluirse que las larvas no modifican de manera notable su concentración en los residuos analizados. Por consiguiente, la actividad larval incrementa la disponibilidad de fósforo (%) y potasio (%), pero no altera la cantidad total de nitrógeno total (%) presente en los distintos tratamientos T1 (Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo), T2 (Frass de residuos de plátano) y T3 (Frass de sangre de camal) que fueron expuestas.

Tabla 23

Análisis post-hoc de Tukey para los micro elementos de Boro (mg/Kg), Calcio (%), Cobre (mg/Kg) y Hierro (mg/Kg).

Variable dependiente	(I) Tipo de residuo	(J) Tipo de residuo	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Boro (mg/Kg)	T1	T2	-7,92000*	2,04124	,019
		T3	52,50000*	2,04124	,000
	T2	T1	7,92000*	2,04124	,019
		T3	60,42000*	2,04124	,000
	T3	T1	-52,50000*	2,04124	,000
		T2	-60,42000*	2,04124	,000
Calcio (%)	T1	T2	3,89000*	,59815	,002
		T3	5,07000*	,59815	,000
	T2	T1	-3,89000*	,59815	,002
		T3	1,18000	,59815	,200
	T3	T1	-5,07000*	,59815	,000
		T2	-1,18000	,59815	,200
Cobre (mg/Kg)	T1	T2	2,55000	2,04124	,470
		T3	19,72000*	2,04124	,000
	T2	T1	-2,55000	2,04124	,470
		T3	17,17000*	2,04124	,000
	T3	T1	-19,72000*	2,04124	,000
		T2	-17,17000*	2,04124	,000
Hierro (mg/Kg)	T1	T2	452,79000*	31,62278	,000
		T3	-592,84000*	31,62278	,000
	T2	T1	-452,79000*	31,62278	,000
		T3	-1045,63000*	31,62278	,000
	T3	T1	592,84000*	31,62278	,000
		T2	1045,63000*	31,62278	,000

Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

El análisis post-hoc de Tukey revela que, a un nivel de significancia de $p < 0.05$, las larvas de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) alimentadas con diferentes residuos T1 (Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo), T2 (Frass de residuos de plátano) y T3 (Frass de sangre de camal) presentan concentraciones significativamente distintas de varios elementos en el frass. Específicamente, se observaron diferencias en boro (mg/kg) entre todos los tratamientos, en calcio (%) entre T1, T2 y T1, T3, en cobre (mg/kg) solo entre T1, T3 y T2, T3 y en hierro (mg/kg) entre los tres grupos. Estos resultados apuntan a que la composición del material orgánico influye directamente en la riqueza mineral del excremento larval. Por ejemplo, la mayor diferencia en boro se da entre T1 y T3, sugiriendo que el residuo de T3 propicia una carga bórica más alta en el frass. Similarmente, los efectos diferenciados en Calcio (%), Cobre (mg/Kg) y Hierro (mg/Kg) pueden atribuirse a las características particulares de cada fuente de materia orgánica. En conjunto, el valor de $p < 0.05$ confiere un 95% de confianza a estas observaciones, reforzando su validez científica.

Tabla 24

Análisis post-hoc de Tukey para los micro elementos de Magnesio (%), Manganeso (mg/Kg), Sodio (mg/Kg) y Zinc (mg/Kg).

Variable dependiente	(I) Tipo de residuo	(J) Tipo de residuo	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.
Magnesio (%)	T1	T2	,0600	,08165	,753
		T3	,5600*	,08165	,001
	T2	T1	-,0600	,08165	,753
		T3	,5000*	,08165	,002
	T3	T1	-,5600*	,08165	,001
		T2	-,5000*	,08165	,002
Manganeso (mg/Kg)	T1	T2	168,1800*	10,00000	,000
		T3	179,4800*	10,00000	,000
	T2	T1	-168,1800*	10,00000	,000
		T3	11,3000	10,00000	,532
	T3	T1	-179,4800*	10,00000	,000
		T2	-11,3000	10,00000	,532
Sodio (mg/Kg)	T1	T2	9744,5300*	527,04628	,000
		T3	6139,9400*	527,04628	,000
	T2	T1	-9744,5300*	527,04628	,000
		T3	-3604,5900*	527,04628	,001
	T3	T1	-6139,9400*	527,04628	,000
		T2	3604,5900*	527,04628	,001
Zinc (mg/Kg)	T1	T2	57,1300*	16,32993	,030
		T3	-44,4000	16,32993	,077
	T2	T1	-57,1300*	16,32993	,030
		T3	-101,5300*	16,32993	,002
	T3	T1	44,4000	16,32993	,077
		T2	101,5300*	16,32993	,002

Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

Un análisis post-hoc de Tukey muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) en la concentración mineral del frass de las larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*), dependiendo del residuo orgánico que se utilice. En particular, el tratamiento T3, compuesto por sangre de camal, presenta un contenido de magnesio (mg/Kg) que es notablemente más alto ($p < 0.05$) que el de T1, que contiene residuos de alimentos y extracto de jugo, y que el de T2, que incluye solamente residuos de plátano. Por su lado, el nivel de manganeso (mg/Kg)

se encuentra en T1 a un valor marcadamente inferior ($p < 0.05$) con respecto a T2 y a T3. El sodio (mg/Kg) presenta también diferencias significativas ($p < 0.05$) entre todos los tratamientos examinados, siendo T1 el que muestra la mayor concentración, seguido de T3 y, por último, de T2. En cuanto al zinc (mg/Kg), su cantidad en T2 supera claramente ($p < 0.05$) la observada en T1 y T3, mientras que entre T1 y T3 no hay diferencias relevantes. Estos hallazgos indican que la composición del residuo orgánico influye de manera significativa en la mineralización del frass.

Tabla 25

Análisis post-hoc de Tukey para los macro elementos de fósforo (%) y potasio (%) .

Variable dependiente	(I) Tipo de residuo	(J) Tipo de residuo	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.
Fósforo (%)	T1	T2	1,6900*	,35590	,008
		T3	2,7900*	,35590	,001
	T2	T1	-1,6900*	,35590	,008
		T3	1,1000*	,35590	,049
	T3	T1	-2,7900*	,35590	,001
		T2	-1,1000*	,35590	,049
Potasio (%)	T1	T2	-6,8000*	,81240	,000
		T3	3,9200*	,81240	,007
	T2	T1	6,8000*	,81240	,000
		T3	10,7200*	,81240	,000
	T3	T1	-3,9200*	,81240	,007
		T2	-10,7200*	,81240	,000

Nota: T1= Frass de restos de comida y residuos de extracto de jugo, T2 = Frass de residuos de plátano y T3 = Frass de sangre de camal.

El análisis post-hoc de Tukey del contenido de fósforo (%) y potasio (%) en el frass de larvas de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) revela diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre todos los tratamientos considerados. En cuanto al fósforo (%), el grupo alimentado con sangre de camal (T3) presenta una concentración notablemente más alta que el grupo que recibió restos de comida y extracto de jugo (T1) y el que fue alimentado con residuos de plátano (T2). De forma paralela, la concentración de fósforo (%) en T2 resulta ser también mayor que en T1. Si se observa ahora el potasio (%), el tratamiento T2 muestra

una cantidad significativamente superior a la encontrada en T1 y T3, mientras que T3 contiene más potasio que T1. Por lo tanto, el frass de larvas que consumieron sangre de camal tiene más fósforo, a la vez que el de larvas que se alimentaron de residuos de plátano acumula más potasio.

5.2. Discusión

En esta investigación se determinó que el frass de (*Hermetia illucens*) alcanzó valores de 2,25–2,36 % de N, 1,52–4,31 % de P y 1,42–12,14 % de K, con microelementos variables como Ca (5,07 % en sangre de camal), B (84,29 mg/kg en plátano), Zn y Cu (19,72 mg/kg), siendo el plátano el residuo más eficiente tanto en la concentración de potasio como en la reducción del tiempo de descomposición (54 días). Estos resultados guardan relación con lo señalado por (Magee et al., 2021) quienes al trabajar con residuos de panadería, frutas, vegetales y granos de cerveza reportaron frass con valores de 4,9-2,6-1,7 % (N-P-K) en panadería y 3,7-1,8-2,2 % en frutas y vegetales, confirmando que el sustrato determina la concentración de nutrientes, aunque en este estudio los niveles de potasio superaron ampliamente los reportados. De manera similar, (Romano et al., 2023) encontraron que el frass de cáscara de banana presentó 2,74 % de K y 1,15 % de Ca, cifras menores a las obtenidas aquí con plátano y sangre de camal, lo que evidencia una mayor acumulación mineral en condiciones locales. Asimismo, los valores de microelementos como Zn y Cu coinciden parcialmente con lo indicado por Romano, quien reportó hasta 190 mg/kg de (Romano et al., 2023)Zn y 42 mg/kg de Cu, destacando que la variabilidad responde a la biodisponibilidad del sustrato. Estos hallazgos también se sustentan en lo planteado por (Newton, 2005) y, (Lalander et al., 2022) quienes señalan que las larvas de mosca soldado negro son capaces de acelerar la descomposición de residuos y concentrar macro y micronutrientes, validando así que su empleo constituye una estrategia sostenible para la valorización de residuos orgánicos.

En el presente estudio, los resultados del análisis químico del frass revelaron que el nitrógeno total (2,19–2,36 %) no presentó diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0,05$), lo que coincide con lo señalado por (Lucia, 2023) en Arequipa, quien obtuvo 2,41 % de N en frass de residuos orgánicos, y con los hallazgos de (Romano et al., 2023) en Italia, que reportaron valores estables de nitrógeno en frass de cáscara de banana y naranja. Esto

demuestra que este macronutriente tiende a mantenerse constante independientemente del sustrato, respaldando lo expuesto en la teoría por (Newton, 2005) quienes afirmaron que el contenido de nitrógeno en el frass presenta menor variación en comparación con otros nutrientes, siendo más dependiente de la tasa metabólica de la larva que de la naturaleza del residuo.

En cambio, el fósforo presentó diferencias significativas ($p < 0,05$), siendo mayor en residuos de comida con 4,31 %, valor muy superior al 1,28 % reportado por (Lucia, 2023) y al 1,9 % encontrado por (Vera Marmanillo et al., 2023) en residuos humanos tratados con larvas de *Hermetia illucens*. De manera similar, (Magee et al., 2021) obtuvieron valores de fósforo de 1,2–2,6 % en frass de residuos panaderos y frutales, claramente inferiores a los de este estudio. Estas diferencias evidencian que la composición inicial del sustrato influye determinantemente en la acumulación de fósforo, coincidiendo con lo señalado por (Lalander et al., 2022) quienes destacaron la capacidad del frass para concentrar nutrientes en función del tipo de desecho utilizado.

En el caso del potasio, los resultados también mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$), con el mayor valor en residuos de plátano (12,14 %), superando ampliamente lo descrito por (Romano et al., 2023) en Italia (2,74 %) y lo informado por (Lucia, 2023) en Arequipa (2,62 %). Esta alta concentración confirma la afirmación de (Segura Cazorla, 2014), quien indicó que la mosca soldado negro presenta un perfil composicional atractivo y que el potasio es altamente sensible al tipo de sustrato. Asimismo, la mayor rapidez en la descomposición del plátano (54 días) coincide, donde los residuos de mercado con alta humedad mostraron mayor eficiencia de bioconversión. En este sentido, el análisis ANOVA permitió demostrar que el potasio fue el nutriente más influenciado por el tipo de residuo, con diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

Respecto a los microelementos, se evidenció que el calcio alcanzó 5,07 % en sangre de camal, mientras que el boro (84,29 mg/kg) y el zinc se concentraron en residuos de plátano, lo que concuerda parcialmente con (Romano et al., 2023), quienes reportaron 1,15 % de Ca en banana y hasta 190 mg/kg de Zn en residuos de naranja. Estos resultados confirman la influencia del sustrato en la composición mineral del frass, como también lo señalaron (Panchana & Ramírez, 2023) en Ecuador, al observar que la combinación de organismos aumentó la tasa de reducción de residuos y modificó la composición del sustrato final. Finalmente, el ANOVA aplicado a los microelementos mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) en elementos como calcio, zinc y cobre, lo que refuerza la conclusión de que la variabilidad en los residuos condiciona tanto la cantidad como la calidad del frass producido.

VI. Conclusiones

- ✓ El estudio confirmó que las larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) son eficientes en la descomposición de residuos orgánicos en Abancay, logrando degradar significativamente los tres tipos de residuos evaluados y generando frass con variaciones en macro y microelementos. Estos resultados evidencian que constituyen una alternativa sostenible para el manejo de residuos orgánicos y la producción de un subproducto con potencial agronómico.
- ✓ El análisis confirmó que las larvas de la (*Hermetia illucens*), influyen directamente en la reducción de los residuos orgánicos. En el tratamiento de 20 kg de restos de comida y residuos de extracto de jugo se obtuvo 5.220 kg de frass, equivalente a una reducción del 73.9%; en 20 kg de residuos de plátano se obtuvo 4.500 kg de frass, con una reducción del 77.5%; y en 20 kg de restos de sangre de camal se obtuvo 4.840 kg de frass, representando una reducción del 75.8%. Estos resultados evidencian una alta eficiencia en la descomposición de residuos bajo condiciones ambientales de Abancay.
- ✓ El estudio demostró que las larvas de (*Hermetia illucens*) influyen significativamente en los macroelementos del frass obtenido en Abancay. Se evidenció un incremento diferenciado en fósforo y potasio entre los residuos evaluados (20 kg de plátano, comida, jugo y sangre de camal), mientras que el nitrógeno total no mostró variación ($p > 0,05$).
- ✓ El análisis evidenció que las larvas de la (*Hermetia illucens*) generan variaciones significativas en la composición de microelementos del frass, registrándose diferencias estadísticas ($p < 0,05$) en boro, calcio, cobre, hierro, magnesio, manganeso, sodio y zinc entre tratamientos, lo que confirma la influencia del tipo de residuo en su composición mineral. En contraste, el azufre no presentó diferencias significativas ($p > 0,05$). Estos resultados demuestran que el frass obtenido presenta una composición diferenciada con potencial como biofertilizante para enriquecer los suelos agrícolas de la región.

VII. Recomendaciones

- ✓ Se recomienda que en futuros estudios se tome en cuenta con mayor detalle la influencia del clima de Abancay, ya que las variaciones de temperatura y humedad dificultan que las larvas de mosca soldado negro completen su ciclo de manera adecuada. Incorporar controles o registros más rigurosos de estas condiciones permitirá obtener resultados más consistentes sobre su eficiencia en la descomposición de residuos orgánicos.
- ✓ Asimismo, se sugiere ampliar el estudio de los macro y microelementos presentes en el “frass” producto de la acción de las larvas, considerando distintos tipos de residuos y un mayor número de ensayos experimentales. Con ello se podrá generar información más sólida que respalde el uso de esta especie como alternativa sostenible en la gestión de residuos y como fuente potencial de biofertilizantes en la región.
- ✓ Se recomienda que los residuos orgánicos que se utilicen como sustrato contengan una proporción equilibrada de proteínas y carbohidratos, y que presenten una textura homogénea, caracterizada por partículas de tamaño reducido que faciliten el acceso de los organismos. La homogeneidad del sustrato garantiza que cada una de las larvas disponga de una misma cantidad de elementos nutritivos, lo que propicia tasas de crecimiento aditivas y, en consecuencia, la madurez de individuos con características fenotípicas más uniformes.

VIII. Referencias

- Amores, D. (2021). *La larva de mosca soldado negra (Bioconversor de residuos orgánicos)*. Universidad Católica de Murcia (UCAM).
- Arias Ondón, F. G. (2012). *El proyecto de investigación* (6 Edición).
- Ayquipa Huillca, E. M. (2022). Producción de harina de larvas de mosca doméstica (*Musca domestica linnaeus*) según el tipo de estiércol. In *Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac* (Issue 8.5.2017). Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.
- Bondari, K., & Sheppard, D. (1987). *Larvae as feed for channel catfish, Ictalurus punctatus (Rafinesque), and blue tilapia, Oreochromis aureus (Steindachner)*. University of Georgia, Tifton, USA.
- Cabrera, D., & Lopez, A. L. (2021). Evaluación de la larva de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) como alternativa para la degradación de residuos sólidos urbanos. *Fundación Universidad de América*, 124.
- Casanovas-Cosío, E., Reyna-Reyes, R., Valladares-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*.
- Cayra Valencia, K. O. (2023). *Evaluación de la tasa de crecimiento, producción y composición nutricional de larvas de hermetia illucens alimentadas con diferentes sustratos, para su uso como pienso en la alimentación animal*. Majes, Caylloma-Arequipa. Universidad Católica de Santa María.
- Cheng, J. Y., Chiu, S. L., & Lo, I. M. (2017). *Efectos del contenido de humedad de los*

desechos de alimentos sobre la separación de residuos, el crecimiento larvario y la supervivencia larvaria en la bioconversión de la mosca soldado negra.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.046>

Decreto Legislativo N° 1278. (2017). *Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM .- Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos*. 14.

Dortmans, B., Diener, S., Verstappen, B., & Zurbrügg, C. (2021). *Black Soldier Fly Biological Waste Processing A Step-by-Step Guide*. Dubendorf Suiza: Überlandstrasse 133, 8600 Dübendorf, Suiza.

Dortmans, B., Egger, J., Diener, S., & Zurbrügg, C. (2021). *Black Soldier Fly Biowaste Processing*. <https://doi.org/10.1117/12.464354>

Gobbi, F. (2012). *Biología reproductiva y caracterización morfológica de los estadios larvarios de Hermetia illucens. Bases para su producción masiva en Europa*. Universidad de Alicante. Alicante: Universidad de Alicante.

Gold, M., Tomberlin, J. K., Diener, S., Zurbrügg, C., & Mathys, A. (2018). Descomposición de macronutrientes, microbios y sustancias químicas de los biorresiduos en el tratamiento de larvas de mosca soldado negra: una revisión. *Waste Management*, 82, 302–318. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.022>

Guo, H., Jiang, C., Zhang, Z., & Lu, W. (2020). Análisis del flujo de materiales y evaluación del ciclo de vida de la bioconversión de residuos de alimentos por larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*L.). *Science of The Total Environment*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141656>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de*

la Investigación.

Huaripata Pachamango, J., & Carrasco Alcalde, A. R. (2022). Eficiencia de la larva de mosca soldado negro (*hermetia illucens*) para aprovechar los residuos orgánicos municipales - Cajamarca 2021. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo Facultad.

Lalander, C., Lopes, I. G., & Yong, J. W. (2022). Frass derived from black soldier fly larvae treatment of biodegradable wastes. A critical review and future perspectives. *Waste Management*, 142(February), 65–76. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.02.007>

Lerma González, H. D. (2009). *Metodología de la investigación. Propuesta, anteproyecto y proyecto* (Eco edicio).

López, J. (2023). Revalorización de residuos restauranteros mediante el uso de larva de mosca soldado negro. *Universidad Autónoma de Querétaro*, 77. <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/8296/1/RI007445.pdf>

Lucia, R. Z. D. (2023). *CARACTERIZACIÓN DE RESIDUO ORGÁNICO Y BIOFERTILIZANTE DERIVADOS DE Hermetia illucens Y SU RESPUESTA EN FRIJOL (Phaseolus vulgaris) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN HUASACACHE-AREQUIPA*. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstreams/33bed4fc-91af-42bf-b7dc-6708715824bd/download>

Magee, K., Halstead, J., Small, R., & Young, I. (2021). Valorisation of organicwaste by-products using black soldier fly (*Hermetia illucens*) as a bio-converto. *Sustainability (Switzerland)*, 13(15), 1–17. <https://doi.org/10.3390/su13158345>

Martínez Sánchez, A. (2011). *Primer registro de Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae) en cadáveres humanos en la Península Ibérica*. Universidad de Alicante, Alicante .

Ministerio de Agricultura. (2014). *Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico*.

Obtenido de.

Muñoz, L., & Parada, M. (2022). *Definición de las condiciones de operación para la producción de larva de Mosca Soldado Negra (Hermetia Illucens)*. 9–25.

Newton, S. W. (2005). *Usando la mosca del soldado negro, Hermetia illucens, como valor añadido herramienta para la gestión de estiércol de porcino*. Universidad Estatal de Carolina del Norte, Raleigh, NC, Carolina del Norte.

OEFA. (2014). *Fiscalización Ambiental en Residuos Sólidos de gestión municipal provincial*. Lima: Biblioteca Nacional Del Perú.

Ospina, K., & Carrejo, N. (2021). Efficiency of Bioconversion of Coffee Pulp using *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) Larvae. *Revista J. Trop. Agrícola Ciencia* 44 (1): 237-254.

Panchana Matute, G. A., & Ramírez Velasco, O. J. (2023). *Bioconversión de desechos vegetales de mercados pertenecientes a la red municipal de guayaquil mediante la sinergia de la mosca soldado-negra (Hermetia illucens) y la lombriz californiana (Eisenia foetida)*.

Park, H. H. (2016). *Black Soldier Fly Larvae Manual*. University of Massachusetts - Amherst. *Sustainable UMass*, 14(2016), 1–13.
http://scholarworks.umass.edu/sustainableumass_studentshowsocase/14

Ramírez, V., Peñuela, L., & Pérez, M. (2017). Los residuos orgánicos como alternativa para la alimentación en porcinos. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 34(2), 107–124.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22267/rcia.173402.76>

Rehman, K. ur, Rehman, A., Cai, M., Zheng, L., Xiao, X., Somroo, A. A., Wang, H., Li, W.,

- Yu, Z., & Zhang, J. (2017). Conversion of mixtures of dairy manure and soybean curd residue by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.). *Journal of Cleaner Production*, 154, 366–373. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.019>
- Romano, N., Sinha, A., Powell, A., & yH. Fischer. (2023). Composición mineral de las larvas de la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) y de los excrementos resultantes de la fruta y sus cáscaras. 27. https://brill.com/view/journals/jiff/9/1/article-p43_5.xml
- Segura Cazorla, M. (2014). *Composición bromatológica Hermetia illucens*. Universidad de América , Almeira.
- Sheppard, D. C., Tomberlin, J. K., Joyce, J. A., Kiser, B. C., & Sumner, S. M. (2002). *Rearing Methods for the Black Soldier Fly (Diptera : Stratiomyidae)*. 1926, 695–698.
- Singh, A., & Kumari, K. (2019). An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review. *Journal of Environmental Management*, 251(April), 109569. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109569>
- Suyón, E. (2022). *Diseño de un sistema de tratamiento de residuos sólidos del Mercado Moshoqueque a fin de reducir la contaminación ambiental*. Tesis presentada para optar el título de Ingeniero industrial. Facultad de Ingeniería. Universidad Santo Toribio de Mogrovejo.
- Tomberlin, J. (2018). *Taxonomía de la mosca soldado negro*. Universidad Católica de Santa María.
- Tomberlin, J., Adler, P., & Myers, H. (2009). Development of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) in relation to temperature. *Environ Entomol. Jun*;38(3):930-4. <https://doi.org/10.1603/022.038.0347>. PMID: 19508804.
- Torres Monteza, W. D. (2023). *Aprovechamiento de residuos de cacao para la producción de*

harina de larvas de Hermetia illucens como insumo para alimento balanceado.

Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.

Vera Marmanillo, V. I., Rado Arenas, D. E., Quiñones Loaiza, R. R., & Jiménez Morveli, A.

(2023). Efectividad de la larva *Hermetia illucens* como organismo bioconversor de excretas humanas en condiciones de laboratorio. *Manglar*, 20(2), 169–176.

<https://doi.org/10.57188/manglar.2023.019>

AEFA. (2022, 3 de noviembre). Elementos mayores o macroelementos. Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes, <https://aeфа-agronutrientes.org/elementos-mayores-o-macroelementos>.

Trujillo Melchor, J., García López, J. I., Ruiz Torres, N. A., & Sánchez Ramírez, F. J. (2022).

Absorción de nutrientes en las plantas y métodos de aplicación de fertilizantes comerciales: zinc (Zn), cobre (Cu) y fierro (Fe) [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/48509>].

Purnamasari, L., & Khasanah, H. (2022). Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as a Potential Agent of Organic Waste Bioconversion. *ASEAN Journal on Science and Technology for Development*, 39(2). <https://doi.org/10.29037/ajstd.780>.

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes