

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Profesional del Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos

TESIS

EFICIENCIA DE LA LARVA DE MOSCA SOLDADO NEGRO (*Hermetia Illucens*) PARA APROVECHAR LOS RESIDUOS ORGÁNICOS MUNICIPALES - CAJAMARCA 2021.

Tesista:

Bach. Huaripata Pachamango, Juver

Bach. Carrasco Alcalde, Arnold Roy

Asesor:

Dr. Miguel Ángel Arango Llantoy

Cajamarca – Perú

Enero– 2022

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Profesional del Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos

TESIS

**EFICIENCIA DE LA LARVA DE MOSCA SOLDADO NEGRO (Hermetia
Illucens) PARA APROVECHAR LOS RESIDUOS ORGÁNICOS
MUNICIPALES - CAJAMARCA 2021.**

Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar el Título
Profesional de Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos

Tesista:

Bach. Huaripata Pachamango, Juver

Bach. Carrasco Alcalde, Arnold Roy

Asesor:

Dr. Miguel Ángel Arango Llantoy

Cajamarca – Perú

Enero– 2022

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERÍA

***ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN
DE RIESGOS***

APROBACION DE TESIS PARA OPTAR TITULO PROFESIONAL

EFICIENCIA DE LA LARVA DE MOSCA SOLDADO NEGRO (*Hermetia*

***Illucens*) PARA APROVECHAR LOS RESIDUOS ORGÁNICOS**

MUNICIPALES - CAJAMARCA 2021

Presidente: _____

Secretario: _____

Vocal: _____

Asesor: _____

COPYRIGHT © 2022 by

JUVER HUARIPATA PACHAMANGO

ROARNOLD ROY CARRASCO ALCALDE

Todos los derechos reservados

DEDICATORIA

Juver Huaripata Pachamango

Dedico esta tesis principalmente a mi madre, pues sin ella no lo hubiera logrado, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, por bríndame ese apoyo incondicional en todo momento y por creer en mí y motivarme constantemente para conseguir mis anhelos.

A mi familia quienes sentaron en mí las bases de responsabilidad y deseos de superación, a ellos que me formaron con mucha paciencia y dedicación e inculcarme valores, principios y el coraje para conseguir mis objetivos.

Arnold Roy Carrasco Alcalde

Dedico esta tesis a mi madre Nora Alcalde Tasilla, que siempre me apoyo incondicionalmente en la parte moral y económica para concluir con satisfacción esté presente trabajo y poder formarme como futuro profesional capacitado.

AGRADECIMIENTO

Juver Huaripata Pachamango

Primeramente, agradezco a Dios por su amor y su bondad, guiarme a lo largo de mi vida, por brindarme esa fortaleza ante las adversidades y por permitirme sonreír ante todos mis logros.

A mi madre Flor Pachamango Portal, por su apoyo a largo de toda mi vida, su comprensión, sus consejos para formarme como soy y sobre todo por ese esfuerzo para verme triunfar.

A mi familia, amigos y personas importantes en mi vida que me ayudaron con sus palabras de aliento y que de una forma u otra animándome a que siga adelante y que luche para alcanzar mis metas.

A nuestro asesor Dr. Miguel Ángel Arango Llantoy por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento, así como también haber tenido toda la paciencia para guiarnos durante todo el desarrollo de la tesis.

Y por último a la Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas para realizar mi formación profesional, así como también a los diferentes docentes que me brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.

Arnold Roy Carrasco Alcalde

A Dios por darme la vida y estar siempre a mi lado apoyándome, a mis hermanos y demás familia en general por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso de cada año de mi carrera universitaria.

ÍNDICE

<i>DEDICATORIA</i>	<i>i</i>
<i>AGRADECIMIENTO</i>	<i>ii</i>
<i>ÍNDICE</i>	<i>iii</i>
<i>LISTA DE FIGURAS</i>	<i>vii</i>
<i>LISTA DE TABLAS</i>	<i>ix</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>xiii</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>xv</i>
<i>CAPITULO I: INTRODUCCIÓN</i>	<i>1</i>
<i>1.Planteamiento del problema</i>	<i>1</i>
<i>1.1.Descripción del problema</i>	<i>1</i>
<i>1.2.Formulación del problema</i>	<i>3</i>
<i>1.3.Objetivos</i>	<i>3</i>
<i>1.3.1. Objetivo General</i>	<i>3</i>
<i>1.3.2.Objetivos Específicos</i>	<i>3</i>
<i>1.4.Justificación</i>	<i>4</i>
<i>1.5.Limitaciones</i>	<i>5</i>
<i>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</i>	<i>6</i>
<i>2. Fundamentos teóricos de la investigación</i>	<i>6</i>
<i>2.1. Antecedentes Teóricos</i>	<i>6</i>
<i>2.2. Marco Teórico</i>	<i>14</i>

2.2.1. Residuos Orgánicos.....	14
2.2.2. Clasificación de los residuos orgánicos	15
2.2.3. Generación de los residuos orgánicos Municipales.....	16
2.2.4. Sistemas de tratamiento de los residuos orgánicos.....	18
2.2.5. Bioconversión.....	19
2.2.6. Insectos para la bioconversión de residuos orgánicos.....	19
2.2.7. Beneficios por la bioconversión de residuos a través de insectos	20
2.2.8. Tipos de Especies de insectos consumibles.....	22
2.2.9. Productos generados por la bioconversión de residuos.....	22
2.2.10. Bio – Valorización de residuos orgánicos	23
2.2.11. La larva de mosca soldado negra (Bioconversor de residuos orgánicos).....	25
2.2.12. Mosca Soldado Negra (Hermetia Illucens).....	25
2.2.13. Clasificación Taxonómica.....	27
2.2.14. Ciclo Biológico.....	28
2.2.15. Condiciones de Desarrollo.....	33
2.2.16. Tratamiento de la Mosca Soldado Negro	35
2.2.17. Cálculo de la eficiencia de reducción de Residuos y desarrollo de larvas MSN.....	42
2.3. Marco Legal.....	44
2.4. Marco conceptual.....	45
2.5. Hipótesis de la investigación.....	47
2.5.1. Operacionalización de variables.....	48

<i>CAPITULO III: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN</i>	49
<i>3. Metodología</i>	49
<i>3.1. Tipo de investigación</i>	49
<i>3.1.1. tipo de investigación según el tiempo</i>	49
<i>3.2. Diseño de investigación</i>	49
<i>3.3. Área de investigación</i>	50
<i>3.3.1. Ubicación</i>	50
<i>3.4. Población</i>	52
<i>3.5. Muestra</i>	52
<i>3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos</i>	52
<i>3.6.1. Construcción del sistema de crianza de la larva de mosca soldado negro (Hermetia Illucens)</i>	53
<i>3.7. Materiales</i>	53
<i>3.8. Procedimiento</i>	54
<i>3.8.1. Cálculo de reducción en masa de los residuos orgánicos con intervención de la larva de mosca soldado negro (Hermetia Illucens)</i>	56
<i>3.9. Técnicas de análisis y procesamiento de datos</i>	59
<i>3.9.1. Estadística descriptiva</i>	59
<i>3.9.2. Estadística inferencial</i>	59
<i>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	61
<i>4.1. Resultados de la eficiencia de aprovechamiento de los residuos orgánicos (%) a través de la larva de mosca soldado negro (Hermetia Illucens)</i>	61

4.2. Monitoreo del desarrollo de las larvas alimentadas por residuos orgánicos	62
4.3. Degradación de los residuos sólidos por ingesta de las larvas.....	64
4.3.1. Cálculo de la eficiencia de las larvas MSN	65
4.3.2. Cálculo de datos estadísticos	67
4.4. Comprobación de hipótesis: eficiencia de la larva para aprovechar residuos orgánicos	67
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	73
5.1. Conclusiones	73
5.2. Recomendaciones	75
REFERENCIAS.....	76
ANEXOS	81
ANEXO “FOTOGRAFÍAS”.....	81

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 Economía Circular: Bio-Valorización de residuos orgánicos.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 2. Mosca Soldado (Negra Hermetia Illucens).....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3. Área de distribución de la mosca soldado negra, Hermetia Illucens.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 4. Ciclo de vida de Hermetia Illucens.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 5. Diseño de una instalación de procesamiento de la Mosca Soldado Negro</i>	<i>35</i>
<i>Figura 6. Diferentes variantes de huevos: a) Bioballs, generalmente utilizadas como medio filtrante en acuarios o estanques, b) pila de láminas de madera con pequeño espacio entre ellas c) panal de cartón.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 7. Contenedor de la fuente de alimento para las larvas recién nacidas</i>	<i>37</i>
<i>Figura 8. Jaula oscura con contenedores de pupa apilados dentro.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 9. Mapa de ubicación del sistema de crianza de la larva de mosca soldado negro (Hermetia Illucens).....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 10. Plano General del sistema de crianza de la larva de Mosca Soldado Negro (Hermetia Illucens).....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 11. Proceso de desarrollo de los Huevos de Mosca Soldado Negro.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 12. Residuos orgánicos obtenidos domésticos y de restaurantes.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 13. Residuos orgánicos obtenidos domésticos y de restaurantes 1° Sustrato preparado de residuos orgánicos (5kg) y colocación y distribución de las larvas MSN en el sustrato.</i>	<i>57</i>
<i>Figura 14. Gráfico de dispersión de puntos de la incidencia del tamaño de la larva en la masa consumida.....</i>	<i>68</i>

*Figura 15. Gráfico de dispersión de puntos de la incidencia del peso de la larva en la
masa consumida..... 69*

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Clasificación taxonómica larva MSN.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 2. Marco Normativo en torno al tratamiento y control de residuos sólidos. ..</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 3. Operacionalización de variables.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 4. Técnicas, instrumentos y procesamiento de datos</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 5. Datos de los parámetros requeridos para el diseño del sistema de crianza</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 6. Materiales</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 7. Resultados del ensayo de tratamiento de los residuos orgánicos por medio de las larvas MSN</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 8. Monitoreo del desarrollo de las larvas MSN.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 9. Monitoreo de la alimentación diaria de las larvas MSN con residuos orgánicos</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 10. Descriptivos del tamaño de la larva en centímetros</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 11. Descriptivos del peso de la larva en gramos</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 12. Evaluación de la reducción de los residuos orgánicos</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 13. Descriptivos de la masa consumida en kilogramos.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 14. Correlaciones totales de las variables y dimensiones</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 15. Resumen del modelo general (masa consumida*tamaño).....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 16. Resultados de ANOVA (masa consumida*tamaño)</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 17. Coeficientes totales (masa consumida*tamaño)</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 18. Resumen del modelo general (masa consumida*peso)</i>	<i>71</i>



*Tabla 19. Resultados de ANOVA (masa consumida*peso)..... 71*

*Tabla 20. Coeficientes totales (masa consumida*peso)..... 72*

LISTA DE FOTOGRAFIAS

<i>Fotografía 1: Recolección de los residuos orgánicos de la ciudad de Cajamarca a) Recolección de residuos orgánicos del mercado b) recolección de residuos orgánicos del camal.....</i>	<i>82</i>
<i>Fotografía 2: Estado actual del tratamiento de los residuos orgánicos de la ciudad de Cajamarca</i>	<i>83</i>
<i>Fotografía 3: Construcción del sistema de crianza de larva de mosca soldado negro (Hermetia Illucens).....</i>	<i>84</i>
<i>Fotografía 4: Impermeabilización del sistema de crianza de larva MSN.....</i>	<i>85</i>
<i>Fotografía 5: Equipamiento del sistema de crianza de larva MSN.....</i>	<i>86</i>
<i>Fotografía 6: Obtención del material Biológico: a) Residuos orgánicos b) Huevos de larva MSN.....</i>	<i>87</i>
<i>Fotografía 7: Selección y pesado de Huevos MSN para el ensayo de experimentación</i>	<i>88</i>
<i>Fotografía 8: Preparación del 1° sustrato para el ensayo de experimentación: a) Separación de residuos no correspondientes b) Trituración de los residuos orgánicos c) Medida del Ph d) Peso del 1°sustrato</i>	<i>89</i>
<i>Fotografía 9: Desarrollo de los Huevos de larva MSN: a y b) Eclosión de los huevos MSN c y d) Larvas de 5 días</i>	<i>90</i>
<i>Fotografía 10: Distribución de larvas MSN en el 1°sustrato del ensayo</i>	<i>91</i>
<i>Fotografía 11: Pesado de los sustratos de residuos orgánicos empleados en el ensayo (total de 10 kg): a) 1° sustrato de 5kg b) 2° sustrato de 3kg c) 3° sustrato de 1 kg d) 4° sustrato de 1 kg.....</i>	<i>92</i>

<i>Fotografía 12: Larvas en plena ingesta, degradando los residuos orgánicos.....</i>	<i>93</i>
<i>Fotografía 13: Cambio de recipiente por el incremento de tamaño y peso de las larvas MSN.....</i>	<i>94</i>
<i>Fotografía 14: Control de parámetros ambientales y químicos: a) Medida del Ph en el ensayo b) higrómetro medida de temperatura y humedad relativa c) Calefactor-control de temperaturas bajas</i>	<i>95</i>
<i>Fotografía 15: Monitoreo del desarrollo de las larvas MSN en tamaño y peso</i>	<i>96</i>
<i>Fotografía 16: Control de la reducción de residuos orgánicos por la larva MSN ...</i>	<i>97</i>
<i>Fotografía 17: Masa de residuos orgánicos restantes del ensayo de experimentación (3.57 kg).....</i>	<i>98</i>
<i>Fotografía 18: Masa de Prepupal (20,000 larvas) desarrolladas con residuos orgánicos (4.95 kg).....</i>	<i>99</i>
<i>Fotografía 19: Cosecha de larvas MSN y separación de residuo orgánico restante</i>	<i>100</i>
<i>Fotografía 20: Refinamiento de las larvas MSN para obtención del producto final: a) agua hervida b) larvas en agua hervida c) separación de las larvas d) larvas muertas (Producto final).....</i>	<i>101</i>
<i>Fotografía 21: Almacenamiento de larvas MSN muertas para su respectiva conservación</i>	<i>102</i>
<i>Fotografía 22: Gallinas siendo alimentadas por larvas MSN</i>	<i>103</i>

RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado “Eficiencia de la larva de mosca soldado negro (*Hermetia Illucens*) para aprovechar los residuos orgánicos municipales - Cajamarca 2021”, propone una solución ante un problema ambiental de nivel global, que es la generación de residuos orgánicos y desperdicio de alimentos que pueden ser aprovechados, mediante la larva de mosca soldado negra (MSN), es el organismo más eficiente en transformar los residuos orgánicos en alimentos, son consumidores de estos residuos y los transforma en proteína sustentable y de alto valor nutricional induciendo una economía circular ecológica.

En esta investigación se utilizó a la larva MSN como agente degradador de los residuos orgánicos generados en la ciudad de Cajamarca, estos residuos y restos de comida se obtuvieron de restaurantes y viviendas dentro de la ciudad. Se cultivó 20,000 larvas aproximadamente en un sustrato de 10 kg de residuo orgánico por un tiempo de 15 días en condiciones ambientales adecuadas en el sistema de crianza, ya que su desarrollo dependió de estos parámetros, principalmente de la temperatura y humedad relativa. Posteriormente se realizó una caracterización del desarrollo de la larva (*Hermetia Illucens*) mediante análisis, verificando que este tuvo un incremento considerablemente en tamaño y peso aprovechando a su vez los nutrientes y reduciendo la masa de los residuos orgánicos.

Los resultados mostraron un impacto positivo de la eficacia de larva MSN al degradar los residuos orgánicos ya que de los 10 kg empleados se logró reducir el 64.3 % de estas y se logró obtener una masa prepupal (20,000 larvas) de 4.97 kg conteniendo un alto valor de proteína y grasa, los datos se corroboraron de manera estadística al encontrar una correlación positiva significativa y un tamaño de efecto grande, a su

vez generando modelos de regresión lineal que predicen el consumo de los residuos en tamaño y peso de la larva, esta investigación muestra de esta manera una nueva técnica de reciclaje incentivando a cultivar proteína y valorizar residuos orgánicos, solucionando el problema de la basura y su gestión.

Palabras claves: Larva de Mosca soldado negro, *Hermetia Illucens*, biotransformación, residuos orgánicos, conversión de alimento, aprovechamiento de nutrientes, ciclo de vida.

ABSTRACT

This research work entitled "Efficiency of the black soldier fly larvae (*Hermetia Illucens*) to take advantage of municipal organic waste - Cajamarca 2021", proposes a solution to a global environmental problem, which is the generation of organic waste and waste of foods that can be used, through the larva of the black soldier fly (MSN), is the most efficient organism in transforming organic waste into food, they are consumers of these waste and those that can be transformed into sustainable protein with high nutritional value, inducing an economy ecological circular.

In this research, the MSN larva was used as a degrading agent for organic waste generated in the city of Cajamarca, these waste and food scraps were obtained from restaurants and homes within the city. Approximately 20,000 larvae were cultivated in a substrate of 10 kg of organic waste for a period of 15 days in suitable environmental conditions in the rearing system, since their development depends on these parameters, mainly on temperature and relative humidity. Subsequently, a characterization of the development of the larvae (*Hermetia Illucens*) was carried out through analysis, verifying that it had a considerable increase in size and weight, once taking advantage of the nutrients and reducing the mass of organic waste.

The results demonstrated a positive impact of the effectiveness of MSN larvae by degrading organic waste, since of the 10 kg used, 64.3% of these were reduced and a prepupal mass (20,000 larvae) of 4.97 kg was achieved, containing a high value. protein and fat, the data was statistically corroborated by finding a significant positive correlation and a large effect size, in turn generating linear regression models that predict the consumption of residues in size and weight of the larvae, this research in this way, it shows a new recycling technique encouraging the cultivation of protein

and valorization of organic waste, solving the problem of garbage and its management.

Key words: Black soldier fly larvae, *Hermetia Illucens*, biotransformation, organic waste, feed conversion, use of nutrients, life cycle.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1. Planteamiento del problema

1.1. Descripción del problema

Según Schrader King (2018) el gran problema ambiental que se muestra actualmente a nivel global es la inmensa generación de residuos, y según el banco mundial a través del informe “What a Waste 2.0 A Global Snapshot of Waste Management To 2050” indica que la generación mundial de residuos aumentara en un 70 % para el año 2050, impulsada por la rápida urbanización y el crecimiento de población, se espera que la generación anual de basura aumente a 3.400 millones de toneladas en los próximos 30 años, frente a los a los 2.010 millones de toneladas producidas en el 2016. Por su parte, los residuos orgánicos, incluido el desperdicio alimentario, representan el 44% de la generación mundial de residuos sólidos. El informe enfatiza que la gestión de los residuos generados es crítica para lograr una ciudad y comunidad sostenible, sin embargo, a menudo esto pasa por alto en los países de bajos ingresos. Además, cabe resaltar que solo un tercio de los residuos en los países desarrollados se recupera mediante el reciclaje y el compostaje.

Según Otálora Montenegro (2021) en una nueva investigación realizada por la ONU para el medio ambiente (PNUMA) “Estima que a nivel mundial 931 millones de toneladas de alimentos, el 17 % del total de alimentos para consumidores en 2019, fueron a contenedores de basura de hogares,

minoristas, restaurantes y otros servicios alimentarios” El número de desperdicio de alimentos es realmente impresionante especialmente con tanta pobreza en el mundo y además esto generaría un elevado costo a las ciudades y municipalidades en deshacerse de estos residuos.

Según Municipalidad Provincial De Cajamarca (2020) hoy en día nuestro país genera aproximadamente 19,000 toneladas de residuos al día, de los cuales el 52% son dispuestos a los 34 rellenos sanitarios existentes y el 48% restante en 1,585 botaderos. Esta situación va aumentando año tras año debido al crecimiento de la población que traen como consecuencia el incremento desmesurado de residuos sólidos, sumando a ello se evidencia un mal manejo de los residuos, cabe resaltar que, dado a los diferentes estudios de los residuos, indica que los residuos orgánicos es el agente de mayor contaminación ya que debido al proceso de descomposición generan gases de efecto invernadero como el metano, lixiviados con alta carga orgánica que afecta la calidad del agua, todo esto conlleva a un impacto negativo hacia el ambiente principalmente como consecuencia de la contaminación. Y de acuerdo con un informe presentado por la Municipalidad Provincial De Cajamarca, con la estadística de rellenos sanitarios, para el año 2019 se dispone un promedio de 150.02 ton/día de generación de residuos sólidos en la ciudad de Cajamarca, de los cuales el 56.95% corresponde a residuos orgánicos y se estima que al año se dispone 31,178 toneladas de residuos orgánicos recuperables. (pág. 4)

Actualmente en la ciudad de Cajamarca el problema de la generación de residuos no es ajena ya que cuenta con más del 50% de la producción de residuos que son orgánicos y que no cuentan con un tratamiento que reduzca la alta tasa de generación de estos residuos. Las larvas de la mosca soldado negro (*Hermetia Illucens*) pueden solucionar problemas en la generación de residuos orgánicos complementando simultáneamente en la producción de un producto con alto valor nutricional en forma saludable, destacando también su importancia para la gestión sostenible de residuos orgánicos.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la eficiencia de la larva “*Hermetia Illucens*” para aprovechar los residuos orgánicos municipales de la ciudad de Cajamarca, 2021?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar la eficiencia de la larva “*Hermetia Illucens*” para aprovechar los residuos orgánicos municipales de la ciudad de Cajamarca.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar el grado de degradación de los residuos orgánicos por ingesta de las larvas ‘*Hermetia Illucens*’.

- Monitorear el desarrollo de las larvas “*Hermetia Illucens*” en tamaño y peso al ser alimentadas por residuos orgánicos.
- Determinar el tiempo óptimo necesario en que las larvas se toman para desarrollarse y a la vez aprovechar por ingesta los residuos orgánicos.

1.4. Justificación

Esta investigación se desarrolló con el propósito de brindar una alternativa eficiente y sostenible, a través de las larvas “*Hermetia Illucens*” desarrollando una tecnología en la ciudad de Cajamarca a escala tamaño piloto, para cultivar proteína y valorizar a los residuos orgánicos, generando una alternativa a la gestión de residuos, que soluciona al mismo tiempo varios problemas relacionados al agotamiento de recursos y al cambio climático donde se implica el desperdicio de alimento y el alto índice de generación de residuos orgánicos en la ciudad, que equivale a 85.43 ton/día, esto corresponde al 56.95% de los 150.02 ton/día que es el total de los residuos sólidos a nivel de Cajamarca en el año 2019. Municipalidad Provincial De Cajamarca (2020)

De igual modo, esta investigación cumple un rol fundamental para un futuro sostenible enfrentando el problema de la inadecuada gestión de los residuos, que daña la salud humana y al medio ambiente, y al tiempo que aumenta el desafío del cambio climático, por estas razones surge la necesidad de considerar nuevas alternativas de aprovechamiento de los residuos de manera que puedan construir una economía circular donde los productos sean

optimizados para su reutilización, reciclaje y con valor añadido, de un proceso que sea amigable al ambiente y de bajo costo, las larvas MSN (*Hermetia Illucens*) son un maravilloso organismo que cuentan con la capacidad de aprovechar residuos orgánicos y a la vez generar proteína, siendo un método muy destacado para la solución de un gran problema medio ambiental.

1.5. Limitaciones

Uno de los factores limitantes más importantes en este proyecto fue la inexistencia de información bibliográfica local y regional con referencia a estudios con relación al uso de esta especie de larvas de MSN (*Hermetia Illucens*) en el tratamiento de residuos orgánicos en la ciudad de Cajamarca. Otro factor limitante es la escasez de esta especie de mosca soldado negro en la región, es una especie acostumbrada a climas cálidos, bastante calurosos y húmedos, para su desarrollo óptimo los parámetros de temperatura esta entre 21° a 27° C y humedad de 40 a 60 %, a esto le sumamos el otro factor limitante para la crianza de larvas MSN, la ciudad Cajamarca se caracteriza por tener un clima bastante variado de muy fríos a muy calurosos, el proyecto se desarrolló en la temporada de verano, los parámetros por el día la temperatura esta entre 20° a 27° C y humedad 30 a 50 % y por las noches la temperatura desciende a hasta los 14° a 7°C y humedad aumenta en hasta 50% a 60%.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2. Fundamentos teóricos de la investigación

2.1. Antecedentes Teóricos

En un estudio realizado por Shelomi (2020) titulado “Potencial de la producción de mosca soldado negra para los pequeños estados insulares en desarrollo del pacífico” nos da a conocer que la mosca soldado negra (*Hermetia Illucens*), cuyas larvas se encuentran colonizando desechos orgánicos en casi todo el mundo, cuentan con la capacidad digestiva que según investigaciones puede ser la más poderosa de cualquier insecto, capaces de digerir cualquier sustancia orgánica lo suficientemente suave como para masticar. Las larvas no acumulan pesticidas, compuestos farmacéuticos, micotoxinas o la mayoría de los metales pesados y en comparación otros tratamientos de compostaje, la bioconversión de larva MSN produce menos gases de efecto invernadero y tiene un menor potencial de calentamiento global. Las larvas son un producto muy deseable, no transmiten enfermedades, especialmente porque no bioacumulan toxinas, por lo tanto se pueden alimentar a otros animales enteros o como un producto molido, (harina de mosca soldado negra), es nutricionalmente comparable a la harina de pescado o la harina de soja, y los experimentos que utilizan la harina como reemplazo en la acuicultura y la avicultura no muestran efectos significativos en la salud o el desarrollo 70% y 80% para convertir los desechos orgánicos en alimentos para animales sustentables y baratos, y un punto muy importante de los productos relacionados con la

mosca soldado negra que se estudiado extensamente es la seguridad de los productos, varias naciones han legalizado el uso de las larvas en ciertos animales por ejemplo: EE.UU, para uso como alimento para aves de corral o peces salmónidos, la Unión europea, ha permitido que 7 insectos, incluido la larva MSN, se utilicen en alimentos para la acuicultura.

En un estudio realizado por Dortmans et al. (2017) titulado “Mosca soldado negra Procesamiento de residuos biológicos” describe el enfoque de la conversión de desechos biológicos utilizando la larva mosca soldado negra (*Hermetia Illucens*), indicando paso a paso para desarrollar una instalación de procesamiento de residuos con la larva MSN, desde su estado inicial que son la incubación de huevos, tratamiento, crianza, cosecha del producto, procedimiento de residuos y finalmente refinamiento de larvas. La instalación de tratamiento de MSN llega producir suficientes larvas en estado prepupa (Larvas de 5 días de eclosión) entre 6 a 14 millones de lavas para tratar entre 9 y 21 toneladas de residuos biológicos por semana. En el experimento de la investigación en escala de laboratorio utilizan 36 bandejas, donde se agregaron 10000 larvas en estado de prepupa y en cada bandeja se suministra 5 kg de residuos de fruta en descomposición y en las condiciones adecuadas, tamaño del alimento que no debe superar los 2 cm diámetro, entre 70 y 80 % de humedad para ser digerido por las larvas y la cual conlleva un mejor desarrollo. Esto se desarrolla en 12 días donde las larvas llegan su peso máximo, antes de ser cosechadas. El total de alimento es de 180 kg de residuos requerido en el desarrollo en los 36 recipientes esto se repetirá en 3 alimentaciones en los 12 días, los resultados demuestran que

la masa total en la cosecha es de 40.2 kg de larvas de los 367 kg de la masa total incluyendo los residuos. Después de la cosecha las larvas pueden venderse vivas como alimento para diferentes animales por su alto contenido en proteína 35 % y 30% en grasa cruda, o procesadas en harina que se asemeja a la harina de soja, que contiene 60 % de proteína y 10% de grasa respectivamente y, por lo tanto, ser un sustituto de la harina de pescado en alimentación animal.

En una investigación realizada por Zurbrügg et al. (2011) titulada “Larva mosca soldado negra para el tratamiento de residuos orgánicos- Perspectivas y Limitaciones” donde se desarrolló el experimento del tratamiento de pruebas piloto de la gestión de residuos orgánicos municipales y lodos fecales deshidratados. Los resultados en la investigación confirmaron el potencial de las larvas para reducir los desechos y producir proteína, los valores de reducción de residuos es de 40%, residuos domésticos podrían reducirse entre el 65% al 70%. El peso de la larva en estado de prepupa cultivada en desechos orgánicos municipales pesó 195 a 220 mg (peso húmedo). Lo que permite una compensación equilibrada entre el alto peso de la prepupa y la alta reducción de material. En cuanto al tratamiento de lodos fecales, las larvas de la mosca soldado negra no solo pudieron sobrevivir e incluso desarrollarse en lodos fecales puros, sino que fueron capaces de reducir significativamente la biomasa del lodo. No obstante, las larvas se desarrollan mucho más rápido cuando se agregaron desechos de mercado al lodo fecal para mejorar el valor nutritivo de la fuente de

alimentación, promete ser una buena combinación de producción de biomasa prepupal y reducción eficiente de residuos.

En una investigación realizada por Nasilele Mutafela (2015) titulada “Tratamiento de Residuos Orgánicos de alto valor a través de la Bioconversión de la Mosca Soldado Negra” demuestra la factibilidad del proceso de bioconversión de residuos a través de las larvas mosca soldado negra, y de tal manera agregar un valor a la cadena de gestión de residuos orgánicos, convirtiéndolo en un recurso sostenible. En este estudio, el proceso se probó en varios flujos de residuos (frutos, estiércol, rechazo de purines), se evaluó la conversión de la biomasa, el contenido de grasa y proteína de las larvas, los resultados del experimento indican que 1 tonelada de desperdicio como alimento por cada flujo indican que, las larvas alimentadas por frutas producirá 63 kg de larvas estado de prepupa; 23.8 kg de proteína y 26.3 kg de grasa; para el estiércol producirá 10.96 kg de larvas (prepupa), 4.5 kg de proteína y 1.4 kg de grasa; mientras que para el rechazo de purina producirá 73.24 kg de larvas (prepupa) 29.5kg de proteína y 22kg de grasa. Mostrando una diferencia significativa para los diferentes flujos destacando la alta producción de frutos y rechazo de purines, así mismo el autor también nos comenta que se ha descubierto que si todos los residuos orgánicos (13.000 toneladas) que llegan a la instalación de manipulación de residuos orgánicos se sometieran solo al proceso de larva MSN se generarían 275 toneladas de proteína y 208 toneladas de grasa por un valor superior a 7 MESK (7 millones de SEK moneda sueca) por año. Esta misma cantidad de desperdicio, se ha establecido, que se podría ahorrar al mundo

2 mil millones de litros de agua y muchas toneladas de pasto y granos utilizados en la producción de ganado, al reemplazar la fuente de proteína de los cultivos por proteína prepupal de larva MSN.

En una investigación realizada por Salomone et al. (2016) titulada ‘‘Impacto ambiental de la bioconversión de residuos de alimentos por insectos: aplicación de la evaluación del ciclo de vida al proceso utilizando (*Hermetia Illucens*)’’ indica que el proceso de bioconversión de desechos mediante (*Hermetia Illucens*) es una opción muy atractiva, considerando que soluciona a la vez dos problemas, la gestión de residuos de alimentos y la creciente demanda mundial de alimento (las larvas secas se pueden utilizar en la producción de alimentos para la acuicultura). Los resultados de esta investigación presentados se refieren a la evaluación de los impactos potenciales de una planta piloto de la larva (*Hermetia Illucens*) donde se emplea el tratamiento de residuos alimentarios, donde se muestra que 10 toneladas de residuos de alimentos se producen 300 kg de larvas secas y 3346 kg de compost. Se utilizó tres unidades funcionales para el análisis el insumo de proceso de producción: Reducción de residuos de alimentos, salida compuesta de larvas secas que cuenta alto contenido de proteínas (característica fundamental de las larvas) y el contenido de lípidos (pueden ser utilizados en la producción de biodiesel).

Según Priyom Bose (2020) en un estudio sobre el Reciclaje de residuos de alimentos con larvas de mosca soldado negra, evalúa la capacidad de la larva MSN (*Hermetia Illucens*) para convertir desechos orgánicos de bajo grado

en nutrientes para la producción a gran escala de alimentos, sus resultados en la investigación muestran que las larvas pueden convertir alrededor de 30 toneladas métricas de sustrato orgánico (residuos de alimentos) a 10 toneladas métricas de larvas y producir 930 kg de biomasa seca. El análisis del contenido muestra que el porcentaje de proteína cruda es significativamente alto. El autor también nos comenta que el alto contenido de proteínas de las larvas brinda una inmensa oportunidad para desarrollar una tecnología sostenible en la que se aprovecha los residuos orgánicos para la producción de alimentos para animales a bajo costo.

Según González Farfán (2019) en un proyecto realizado por Cristián Enhart y Alejandro Tocigl llamado “Food For Future” (F4F), desarrollado en Chile que desde el 2014 se encarga de aprovechar el potencial de las larvas MSN alimentadas por residuos orgánicos, para desarrollar alimentos dirigidos hacia animales y como principal producto es la harina, que cuenta con un alto valor nutricional. Y según Cristián Enhart, CEO y cofundador de Food For Future, las larvas son tan eficientes que un kilo de huevos de mosca va a consumir 25 toneladas de residuos orgánicos en una semana. Ese kilo se convertirá en 5 toneladas de larva, que al transformarla en harina será un nuevo producto totalmente sustentable y que servirá como alimento para diferentes animales. Es esto lo que les ha permitido seguir escalando peldaños para su globalización, ofreciendo productos 100% circulares y por lo tanto sustentable.

En una investigación realizada por Morales Quintana (2021) titulado Biotransformación de residuos Orgánicos a partir del manejo ex situ de *Hermetia Illucens* (Díptera: Stratiomyidae) como alternativa para la gestión de los desechos sólidos en el Distrito Metropolitano de Quito, confirma el potencial de las larvas (*Hermetia Illucens*) para disminuir la materia orgánica de los residuos y convertirla en su propia biomasa. Esta capacidad de biotransformación que surge de la relación entre la cantidad de alimento consumido y la eficiencia del consumo se explica en conjunto a través de las variables: peso prepupal, tasa de reducción de residuos y tasa de bioconversión, los resultados en cada sustrato empleado son los siguientes:

- Restos de futas y verduras: número total de prepupas utilizadas 485 se obtuvo una ganancia de peso prepupal de 86.35g con una tasa de reducción de residuos de 51.81%.
- Restos de animales y vísceras: número total de prepupas utilizadas 470 se obtuvo una ganancia de peso prepupal de 86.35g con una tasa de reducción de residuos de 55.76%.
- Restos de comida de restaurantes: número total de prepupas utilizadas 490 se obtuvo una ganancia de peso prepupal de 107.39g con una tasa de reducción de residuos de 52.8%.

La mayor eficiencia de reducción de residuos entre los tres residuos orgánicos se presentó en la de restos de animales y vísceras, seguida de restos de comida y frutas y verduras. El autor también nos comenta que la biotransformación de esta materia orgánica en descomposición extiende su vida útil, al entrar al ciclo de reciclaje de nutrientes gracias a las larvas de mosca soldado negra.

En una investigación realizada por Salas Alfaro (2019) titulado “Evaluación de cuatro sustratos orgánicos para la producción de larvas de *Hermetia Illucens* (díptera stratiomyidae) en condiciones controladas de la irrigación majes – pedregal, Caylloma Arequipa” este trabajo se ha realizado cuatro experimentos, todos con el objetivo de encontrar el sustrato óptimo para la producción de larvas, y ver como el alimento afecta a la composición corporal de la larva a través del análisis de grasa y proteína y analizar los costos de producción y rentabilidad, donde se aplicaron 4 sustratos como alimento: S1 (afrecho, harina de maíz y harina de alfalfa), S2 (estiércol vacuno), S3 (suero de leche y afrecho), S4 (Compuesto de rastrojo de cebolla, broza de papa y residuos de cítricos). Los resultados muestran que, a excepción del S4, podemos decir que los tratamientos experimentales S1, S2 y S3 si aplican con 1.6 g y 2.6 g, y 0.28g. Por ello los 3 tratamientos señalados, pueden ser consideradas como una alternativa de fuente alimenticia para producir larvas MSN, y de acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis físico- químico de proteína y grasa, para las larvas de *Hermetia Illucens*, el mejor tratamiento fue el S3 con 40.09% de proteína y 28.82% de grasa, el tratamiento S2, indica con las mejores características en cuanto a tamaño, peso y mejor Costo de producción y Rentabilidad. El autor también nos comenta que, en el proceso de producción de larvas MSN, existen fuentes de alimento ya establecidas según parámetros internacionales. Sin embargo, es recomendable determinar la composición nutricional de cada ingrediente local, ya que pueden presentar variaciones en comparación con las fuentes bibliográficas

en cuanto al porcentaje de grasa y proteína, porque nuestro clima es diferente y puede alterar la composición nutricional.

En un estudio realizado por Aliaga Campos (2019) sobre el uso de larvas o harina de larvas de mosca soldado negro (*Hermetia Illucens*) para realizar un proyecto de comercialización, teniendo como misión de introducir al mercado peruano un producto natural de alta calidad a un precio asequible, que suplirá el uso de harina de pescado para que se utilice como alimento en la producción avícola ya que por sus características es un alimento rico en proteína y grasas que son indispensables para el desarrollo y crecimiento óptimo de los pollos. Indica también que el proyecto en la producción de larvas de mosca soldado negro contribuye de manera favorable con el medio ambiente al aprovechar los residuos orgánicos como alimento, reduciendo de esta forma la contaminación del suelo y aire provenientes de la descomposición de estos residuos.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Residuos Orgánicos

Son aquellos residuos de origen biológico de origen vegetal o animal, que se descomponen naturalmente, generando gases como dióxido de carbono, metano y lixiviados en lugares de tratamiento y disposición final. Mediante un tratamiento adecuado, pueden

reaprovecharse como mejoradores de suelo y fertilizantes (compost, humus, abono, entre otros). (OEFA, 2014)

2.2.2. Clasificación de los residuos orgánicos

A. Restos de comida

“Son conocidos como biorresiduos domésticos, que son aquellos que conforman la fracción orgánica de los residuos de la preparación de alimento, básicamente especifican que son todos los restos sobrantes de comida, alimentos en mal estado”. (Ministerio de Agricultura, 2014)

B. Excretas de animales

Los excrementos son restos del metabolismo de los alimentos consumidos por animales, los organismos toman los nutrientes necesarios para su mantenimiento, producción y el resto son elementos de la digestión no utilizados por lo tanto son expulsados como heces y orina. (Ministerio de Agricultura, 2014)

C. Restos de podas y jardín

Durante los servicios de mantenimiento y podas en los parques y jardines, se generan una gran cantidad de residuos caracterizados por ocupar un gran volumen con un peso relativamente bajo, compuesto por ramas, partes leñosas y

follajes, con un gran número de hojas, lo cual puede variar el tipo de especie de planta o árbol. (Ministerio de Agricultura, 2014)

2.2.3. Generación de los residuos orgánicos Municipales

A. Domicilios

La mayoría de los restos orgánicos se producen en la cocina, derivados de la manipulación de los alimentos y de la preparación de la comida. En el momento del consumo de estos alimentos durante las diferentes comidas también se originan residuos de los sobrantes no consumidos o de los restos no consumibles como peladuras, huesos, cáscaras, etc. Sumando también a este grupo se encuentran los restos vegetales que se generan en el trabajo de jardinería y mantenimiento de plantas y vegetación. (Ministerio de Agricultura, 2014)

B. Actividades Comerciales

Uno de los principales generadores son los comercios de alimentación: Fruterías y verdulerías, carnicerías, supermercados, mercados fijos y ambulantes, etc. Se generan gran cantidad de sobrantes alimenticios derivados de productos en mal estado o caducados. Otro de los principales generadores son los establecimientos de restauración y hostelería: bares y restaurantes, hoteles, comedores colectivos de empresas. La

mayoría de estos restos orgánicos se producen en la preparación de comidas o durante su consumo (sobrantes no consumidos por los usuarios y restos no consumibles). (Ministerio de Agricultura, 2014)

C. Equipamientos y servicios municipales

Uno de los principales generadores en este grupo son los comedores de los centros escolares (cocina propia o cafetín asociados). La mayoría produce restos orgánicos en la preparación de comidas. Las dependencias municipales que realizan actividades de ofician son generadoras, aunque en menor cantidad de materia orgánica, derivada del consumo de alimentos de los trabajadores. Otro gran foco de generación, en relación con la fracción vegetal se encuentran en la gestión de huertos urbanos públicos, trabajos de jardinería y mantenimiento de plantas y vegetación de las zonas verdes. (Ministerio de Agricultura, 2014)

D. Entretenimiento (Fiestas y Eventos)

Los principales generadores suelen ser aquellos actos festivos o acontecimientos que se celebran durante varios días y tienen franjas de horarios más amplias, los cuales reciben un número elevado de visitantes. La mayoría de los restos orgánicos se producen dentro de estos mismos actos debido al consumo de alimentos por los usuarios o incluso en los restaurantes u hoteles situados alrededor. (Ministerio de Agricultura, 2014)

2.2.4. Sistemas de tratamiento de los residuos orgánicos

Proceso aerobio: compostaje

Según Ballesteros (2013) es un proceso biológico aerobio (con presencia de oxígeno) que, bajo condiciones de ventilación, humedad y temperatura controladas, transforma los residuos orgánicos degradables en un producto estable e higienizado llamado compost, que se puede utilizar como abono orgánico. Este proceso de descomposición se basa en la actividad de microorganismos como los hongos y las bacterias. La duración del proceso de compostaje puede oscilar, dependiendo de distintos factores (sistema, tecnología, disponibilidad de espacio, etc.) y en un tiempo de 10 a 16 semanas.

Proceso anaerobio: Biometanización

Según Ballesteros (2013) es un proceso biológico que tiene lugar en ausencia de oxígeno, en el que parte de la materia orgánica de los residuos orgánicos se transforma, mediante la acción de los microorganismos, en una mezcla de gases (biogás), constituido principalmente por metano y dióxido de carbono y otros gases en pequeñas cantidades (amoníaco, hidrogeno, sulfuro de hidrogeno, etc.)

La materia orgánica se descompone en compuestos más sencillos que se transforman en ácidos grasos volátiles. Estos ácidos son consumidos por los microorganismos metano génicos que producen metano y dióxido de carbono. El biogás generado se puede considerar un buen combustible, es útil para la combustión y generación de calor.

2.2.5. Bioconversión

Según Sánchez (2020) la bioconversión consiste en convertir los residuos orgánicos que no tienen ningún valor, como restos de comida, desechos de cosechas, subproductos de alimentos, etc., en productos con un gran valor añadido. Este procedimiento es parte de una economía circular ya que se busca extraer el máximo valor y uso a los residuos, fomentando el ahorro energético y reduciendo los gases de efecto invernadero y el vertido de residuos en el medio ambiente. (MINAM, 2018)

2.2.6. Insectos para la bioconversión de residuos orgánicos

Según Sánchez (2020) el uso de insectos en el proceso de bioconversión consiste en suministrar un tipo de residuo que les sirve como alimento, y estos al metabolizarlo lo convierten en productos con un alto valor añadido, además pueden ser de diversos

tipos: biomasa para la fabricación de alimentos y pienso animal, biocombustibles, lubricantes, productos farmacéuticos, colorantes, materia orgánica, etc.

2.2.7. Beneficios por la bioconversión de residuos a través de insectos

A. Beneficios ambientales

Según Halloran y Vantomme (2013) los beneficios por bioconversión son los siguientes:

- Los insectos son muy eficientes en la conversión de alimentos por especies de sangre fría. Las tasas de conversión de alimento a carne (la cantidad de alimento que se necesita para producir un incremento de 1 kg en el peso) pueden oscilar en función de la clase de animal, pero en cualquier caso, los insectos son altamente eficientes. Por término medio los insectos pueden convertir 2 kg de alimento en 1kg de masa de insecto.
- Los gases de efecto invernadero producidos por la mayoría de los insectos son probablemente inferiores a los del ganado convencional. Por ejemplo, los cerdos producen entre 10 a 100 veces más gases de efecto invernadero por kilogramo de peso.
- Los insectos pueden alimentarse de residuos orgánicos como residuos alimentarios o de origen humano, abono y estiércol, y pueden transformar estos residuos en proteínas de alta calidad, que a su vez pueden utilizarse como piensos.

- Los insectos utilizan mucho menos agua que el ganado tradicional, los gusanos, por ejemplo, son más resistentes a las sequías que el ganado.

B. Beneficios para la salud

- Los insectos proporcionan proteínas y nutrientes de alta calidad en comparación con la carne y el pescado. La mayoría de las especies de los insectos contienen niveles elevados de ácidos grasos, además de ser ricos en fibra y micronutrientes como cobre, hierro, magnesio, fósforo, manganeso, selenio y zinc.
- Los insectos plantean un riesgo reducido de transmisión de enfermedades. (Halloran y Vantomme, 2013)

C. Beneficios para el medio social

La cría y recolección de insectos ofrecen importantes estrategias de diversificación de los medios de vida:

- Los miembros más pobres de la sociedad pueden encargarse de recoger los insectos directamente del medio, de cultivarlos, procesarlos y venderlos.
- La recolección y la cría de insectos generan oportunidades empresariales en las economías desarrolladas, en fase de transición y en desarrollo.

- Los insectos al procesarse pueden servir como alimento humano y animal con relativa facilidad, algunas especies pueden consumirse enteras. Los insectos también pueden convertirse en pasta o molerse para hacer harina conjunta a sus proteínas. (Halloran y Vantomme, 2013)

2.2.8. Tipos de Especies de insectos consumibles

Según Halloran y Vantomme (2013) en todo el mundo se consumen más de 1.900 especies de insectos comestibles. Sin embargo, esta cifra sigue aumentando a medida que se lleva a cabo más estudios, la mayoría de estas especies conocidas se recogen directamente del medio natural. Según los datos disponibles de los insectos consumidos en todo el mundo son:

- Escarabajos (coleópteros) (31%)
- Orugas (lepidópteros) (18%)
- Abejas, avispas y hormigas (himenópteros) (14%)
- Saltamontes y grillos (ortópteros) (13%)
- Cigarras, fulgomorfos, cochinillas (hemípteros) (10%)
- Termitas (isópteros) (3%)
- Libélulas (odonatos) (3%)
- Moscas (dípteros) (2%)
- Y otros ordenes (5%)

2.2.9. Productos generados por la bioconversión de residuos

Según Sánchez (2020) cada especie de insecto resulta idónea para degradar un tipo de residuo y obtener un determinado producto.

- **Biodiesel:** en este caso se obtiene precursores de biodiesel, consiste en grasa y aceites. La metodología de producción es similar a su producción con otras fuentes de grasas, el porcentaje de grasa es variable en los insectos, dependiendo de la especie y el alimento que se le suministre. Los ensayos con mosca soldado-negra dan buenos resultados.

- **Harinas:** las harinas se obtienen a partir de insectos destinados a fabricar alimentos para humanos y para piensos en animales. Este tipo de harina es beneficiosa en animales de granja como cerdos, aves y peces.

- **Fertilizantes:** la obtención de abono orgánico para cultivos prima el contenido de materia prima y el análisis de NPK del excremento. Tiene una gran ventaja frente a otro tipo de guanos por el hecho de que este seco y presenta un pH inocuo para las plantas lo cual facilita su aplicación.

2.2.10. Bio – Valorización de residuos orgánicos

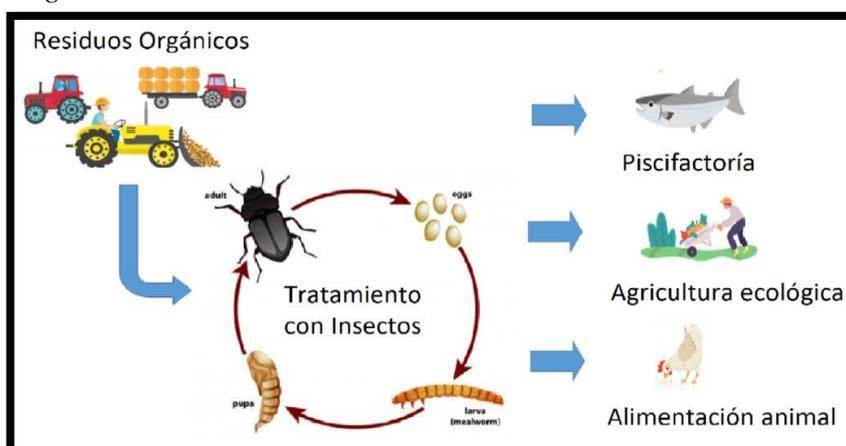
Según Barandalla et al. (2021) los ensayos para la utilización de diversos residuos orgánicos se deben realizar de forma natural y efectiva para cada insecto.

Fase 1. Caracterización del residuo: con objeto de definir la especie más adecuada para posibles tratamientos previos o incompatibles.

Fase 2. Ensayo de reducción: monitorizando los parámetros de rendimiento y biología básicos para la especie de insecto que alimenta por el residuo.

Fase 3. Análisis de resultado: incluye la metodologías, analíticas y conclusiones, junto con datos de plan de negocio para la aplicación industrial del método de valorización del residuo ensayado.

Figura 1 Economía Circular: Bio-Valorización de residuos orgánicos



Fuente: “Bio-Valorización de residuos orgánicos” de Barandalla et al. (2021)

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

Según Amores (2021) las larvas mosca soldado negra (*Hermetia Illucens*), tiene la capacidad para devorar cualquier tipo de biorresiduo y transformarlo en materia prima de alto valor añadido. Durante su crecimiento la larva transforma el biorresiduo en compost, útil en la fertilización del suelo. Posteriormente la larva puede ser molida para la obtención de harina rica en proteína, hidrolizados proteicos, grasas, ácido láurico o quitina, para generar quitosano y fertilizante orgánico.

La mosca soldado negro tiene un alto valor nutricional, contienen un 42 % de proteína y un 35 % de grasa, según (Newton 1977). Estudios similares muestran que a partir de la harina de prepupa de la MSN es posible reemplazar al menos en un 25% la harina de pescado. Separar grasa y proteína en prepupas permitirá formular dietas más equilibradas y producir una comida con más del 60 % de proteína. La eliminación de la quitina mejoraría aún más el contenido de proteínas y la digestibilidad. (Segura Cazorla, 2014)

2.2.12. Mosca Soldado Negra (*Hermetia Illucens*)

Según Dortmans et al. (2017) la mosca soldado negra (*Hermetia Illucens*), pertenece a la familia dípteros stratiomyidae que se puede encontrar en la naturaleza en todo el mundo en las áreas tropicales y subtropicales entre las latitudes de 40° S y 45° N. Tolerando temperaturas extremas, las temperaturas óptimas para el ciclo biológico de la mosca soldado negra se sitúan entre 24 a 29.3 °C. Desempeñan un papel muy importante en la descomposición de materia orgánica, y por su control biológico sobre plagas, además ejercen la función de polinización. (Gobbi, 2012)

Figura 2. Mosca Soldado (Negra Hermetia Illucens)



Fuente: “Naturalista” de Gennadiy Okatov (2019)

Figura 3. Área de distribución de la mosca soldado negra, Hermetia Illucens



Fuente: “Black Soldier Fly Biological Waste Processing” de Dortmunds et al. (2017)

2.2.13. Clasificación Taxonómica

Según Martínez Sánchez (2011) la mosca Soldado negra es una especie de díptero braquícero (cuenta con dos alas) de la familia Stratiomyidae originalmente de América, a pesar de que se ha extendido por el sur de Europa, África, Asia e islas del pacífico. Su primer registro por primera vez fue en la península ibérica.

Tabla 1. Clasificación taxonómica larva MSN

	Reino	Animalia
Filo		Arthropoda
Clase		Insecta
Orden		Díptera
Suborden		Brachycera

Infraorden	Stratiomyomorpha
Familia	Stratiomyidae
Subfamilia	Hematiiane
Genero	Hermetia
Especie	Hermetia Illucens

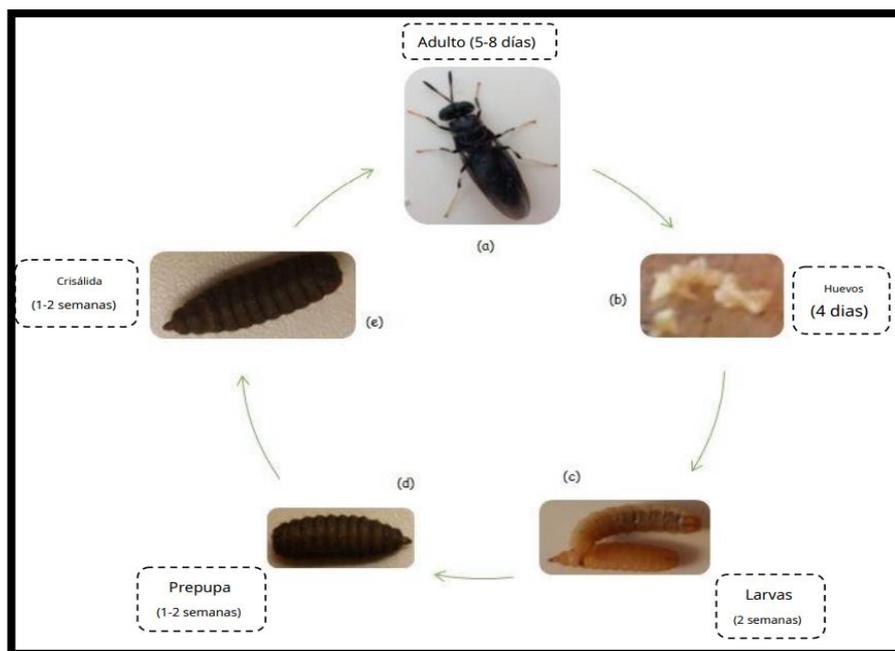
Fuente: Recuperado de "Rasgos seleccionados de la historia de vida de la mosca soldado negra (Díptera: Stratiomyidae) criado con tres dietas artificiales" de Tomberlin et al. (2002)

2.2.14. Ciclo Biológico

Según Singh y Kanchan (2019) la mosca soldado negra consta de 5 etapas de vida: Huevos, Larvas, Pupas, Prepupas y adultos (mosca). En estas etapas, la eclosión de huevos y de adultos son más cortas y la etapa larval y pupal son las más largas y las que contribuyen al máximo al ciclo de vida, al tener una vida útil pero muy corta, las hembras de la mosca soldado negra producen una gran cantidad de huevos.

Según Bondari y Sheppard (1987) tras el apareamiento las hembras depositan alrededor de 600 huevos en grietas o hendiduras cerca de materia orgánica en descomposición. Cada huevo con forma de ovalo mide aproximadamente 1mm de longitud, su coloración varia de blanco a amarillo pálido o crema, emergiendo larvas de primer estadio en aproximadamente cuatro días a 24 °C.

Figura 4. Ciclo de vida de Hermetia Illucens



Fuente: “Tratamiento de residuos de alto valor a través de la bioconversión de la mosca soldado negro (estudio piloto In situ)” de Nasilele Mutafela (2015)

A. Huevos

El huevo tiene forma ovalada de color amarillo pálido blanco cremoso con un 1mm de longitud. (Kaufman, 2009)

Según Dortmans et al. (2017) el huevo comienza un ciclo de vida de la mosca soldado negro y al mismo tiempo marca el final de la etapa de vida anterior, una mosca que ponen un racimo de huevos (también llamado ovoposición). La mosca hembra pone un paquete de 400 a 800 huevos cerca de la materia orgánica en descomposición, en cavidades pequeñas, secas y protegidas. Poco después de haber puesto los huevos, la hembra muere. La cercanía de los huevos a la materia orgánica en descomposición

asegura que las larvas tengan su primera fuente de alimento cerca después de la eclosión.

B. Larvas

Según Kaufman (2009) las larvas pueden alcanzar 27 mm de largo y 6mm de ancho. Son de un color blanquecino opaco con una pequeña cabeza saliente que contiene piezas bucales masticadoras. Se desarrollan en aproximadamente 14 días. Las larvas durante su desarrollo se alimentan insaciablemente de alimentos en descomposición. Como adultos, no necesitan alimentarse y dependen de las grasas almacenadas desde la etapa larvaria.

Según Singh y Kanchan (2019) en la etapa larval. La vida útil también es muy corta en condiciones adecuadas, cuando las condiciones ambientales son favorables su actividad se ralentiza y su ciclo de vida se puede extender de 6 a 7 semanas, en diversos estudios informan que la baja temperatura y disponibilidad de alimentos, estas pueden extender su ciclo en 4 meses. El desarrollo de estas y su evolución dependen de la calidad de los alimentos.

C. Prepupa

Según Copello (2019) al crecer las larvas aumentan los segmentos tomando forma aplasta, el tegumento se obscurece

pasando por crema, rojizo y llegando a plomo negruzco con la cauda más ancha y cabeza puntiaguda, denominado prepupa, durante su desarrollo mudan seis veces de piel, las mandíbulas se modifican a forma de gancho para excavar.

Según Newton et al. (2005) estas larvas pueden tener hasta aproximadamente 27 mm de longitud y 6 mm de ancho. Tienen un color blanco pálido con una pequeña cabeza negra que contiene piezas bucales.

Según Spranghers y Michiels (2018) las prepupas de la mosca soldado negra, contienen proteína de alto valor, pueden incorporarse potencialmente en la alimentación de animales mono gástricos.

D. Pupas (crisálida)

Según Copello (2019) las pupas son de color negruzco y son idénticas a las prepupas y conserva la última piel del último instar de la misma, se le reconoce por la inmovilidad, después de aproximadamente dos semanas en esta de pupa sale el insecto perfecto o imago (mosca soldado negra).

Según Singh y Kanchan (2019) es su último estadio llamado prepupas, las larvas migran de la fuente de alimento a grietas secas para la pupación. En esta etapa es donde han alcanzado su tamaño máximo y donde son mayormente aprovechadas debido

a su contenido de proteína que varía entre el 36% y el 48% y su contenido de grasas es de 33%, finalmente se completa la metamorfosis a los 14 días donde ya se transforman en adultas.

E. Mosca adulta

Según Singh y Kanchan (2019) las moscas adultas no suelen ser fuertes o muy activas, generalmente pasan el día descansando sobre la vegetación y aparearse es su único fin en este estadio, puesto que no se alimentan, a excepción del consumo de agua, y adquieren la nutrición necesaria para la reproducción durante el desarrollo larval. Las hembras adultas solo se aparean una vez en su vida, por lo que ocurre un único evento de ovoposición, este proceso sucede por lo regular 2 días después de la eclosión y a los 4 días aproximadamente ocurre la ovoposición, este suele darse a temperaturas de 26 °C y los huevos habitualmente son depositados en grietas en lugares secos que están cerca de los residuos en descomposición.

Según Kaufman (2009) el color de las moscas adultas varía entre negro, verde u azul, a veces con aspecto metálico, tienen apariencia similar a las avispas y un sonido igual de fuerte al volar. Además, tienen dos alas translúcidas ubicadas en el primer segmento torácico. Su longitud varía de 15 a 20 mm. Las antenas del adulto son largadas con tres segmentos y las patas tienen una coloración blanca cerca del final de cada pata. El

sistema bucal está diseñado para no alimentarse, pues su única función como adulto es la reproducción.

2.2.15. Condiciones de Desarrollo

Según Tomberlin et al. (2002) las condiciones ambientales son determinantes para una adecuada reproducción, se sabe que existe todo un sistema de cortejo y apareamiento que debe ser tomado en cuenta, tanto para el desarrollo y evolución de la mosca soldado negra.

A. Humedad relativa

Según Cabrera Gutierrez y Lopez Gutierrez (2021) este es uno de los aspectos más importantes en el desarrollo óptimo de las larvas, de este aspecto depende el crecimiento y la supervivencia debido a que la presencia de un contenido excesivo de humedad puede dificultar la velocidad de descomposición y además el residuo final puede ir acompañado de material grueso y aglomerado (sustrato de residuo orgánico en descomposición) lo que causa dificultad en el procesamiento posterior del cultivo y por ende para evitar dichos problemas es necesario el control adecuado de este parámetro. En una investigación realizada por Fatchurochim en 1989, concluyeron que para una humedad de 40 y 60 % la eficiencia de supervivencia de la mosca alimentada por

estiércol de aves fue más alta. En otro estudio de bancos en 2014 el mayor crecimiento de pupas se registró con 85% de humedad presente el lodo fecal- finalmente otro grupo de autores concluyo que el 80% de contenido de humedad en el desperdicio de alimentos es óptimo para el crecimiento de la mosca soldado negra.

B. Temperatura

Según Segura Cazorla (2014) la temperatura es otro de los factores fundamentales que hay que tener en cuenta debido que la mosca soldado negra (*Hermetia Illucens*) se desarrolla en un amplio rango de temperatura de 21 a 30° C, siendo su temperatura optima de 27° C convirtiéndolas en especies euritermas, permitiéndoles metabolizar diferentes nutrientes de los residuos. Las temperaturas mínima y máxima se denominan umbrales de desarrollo y su metabolismo se ralentiza o se detiene cuando las larvas se enfrentan a entornos ambientales más allá de dichos umbrales.

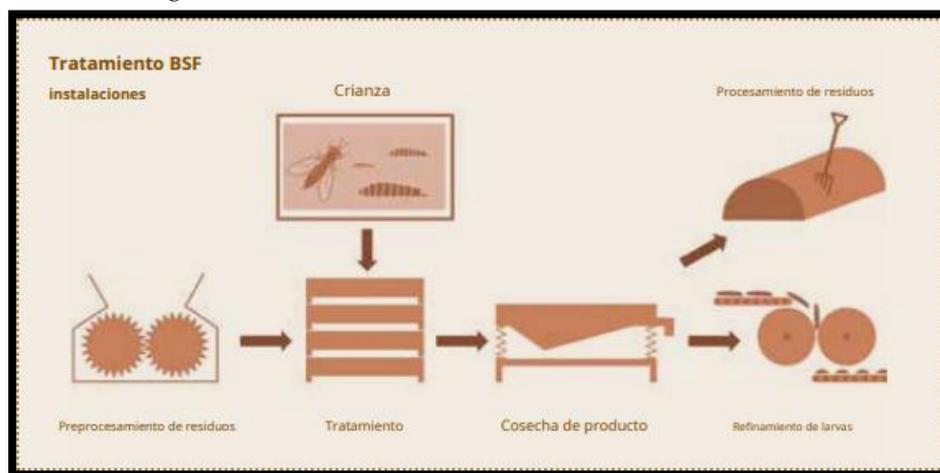
C. pH

Según Cabrera Gutierrez y Lopez Gutierrez (2021) la acidez es otra variable que no se puede descuidar ya que afecta la actividad y el rendimiento del crecimiento de estos microorganismos. Autores como Green y popa, investigación el efecto de lixiviados orgánicos y descubrieron que las larvas

de la mosca soldado negra podían regular un pH de hasta 9 de los lixiviados orgánicos líquidos. Teniendo en cuenta muchos estudios, las larvas crecen y se desarrollan en un sustrato de pH básico de 8 a 1°, o neutro, teniendo mayor eficiencia, que en sustratos muy ácidos donde casi no regulan el pH.

2.2.16. Tratamiento de la Mosca Soldado Negro

Figura 5. Diseño de una instalación de procesamiento de la Mosca Soldado Negro



Fuente: “Black soldier fly biological waste processing – A step by step guide” de Dortmans et al. (2017)

A. Unidad de Cría

Según Dortmans et al. (2017) para iniciar el tratamiento, este paso asegura que siempre esté disponible una cantidad confiable y constante de pequeñas larvas de 5 cinco días después de la eclosión (llamadas 5- DoI), todos los días. Por lo tanto, es importante controlar los pasos de producción individuales durante la cría y monitorear el desempeño de cada paso. En un vivero

MSN bien diseñado, es posible y fácil controlar el número de prepupas que pueden pupa. Esto ayuda a estimar la cantidad de moscas que emergerán, lo que a su vez proporciona una indicación de cuantos paquetes de huevos se depositarán, cuantas larvas eclosionarán y cuantas de estas larvas estarán disponibles para el tratamiento de desechos biológicos.

- **Deposición de huevos y recolección de huevos:** es importante que el manejo de todos los paquetes de huevos esté concentrado en una ubicación específica. Esto facilitara significativamente la recolección de los huevos. Para ello suministramos a las jaulas un medio llamado “huevos” (cavidades protegidas) que satisfaga los requisitos de las moscas para la deposición de los huevos, así como un atrayente que imita la materia orgánica en descomposición que atrae a la hembra para que ponga huevos cerca. Una vez que los paquetes de huevos se depositan en los huecos, se cosechan antes de que eclosionen las larvas. (Dortmans et al. 2017)

Figura 6. Diferentes variantes de huevos: a) Bioballs, generalmente utilizadas como medio filtrante en acuarios o estanques, b) pila de láminas de madera con pequeño espacio entre ellas c) panal de cartón



Fuente: “Black soldier fly biological waste procesing – A step by step guide” de Dortmans et al. (2017)

- **Eclosión de huevos y alimentación de larvas:** los huevos recolectados se colocan en un contenedor de crías abierto con una fuente de alimento de alta calidad. Las larvas eclosionaran durante un periodo de varios días. Después de la eclosión, las larvas caen de los huevos al recipiente para crías debajo de donde comenzaran a alimentarse de inmediato. La fuente de alimento del contenedor debe contener alrededor del 70% de agua. (Dortmans et al. 2017)

Figura 7. Contenedor de la fuente de alimento para las larvas recién nacidas



Fuente: “Black soldier fly biological waste processing – A step by step guide” de Dortmans et al. (2017)

- **Pupación:** luego de que las prepupas que se han introducido en el contenedor de alimento evolucionen, se cosechan y transfieren a un contenedor de pupa. Estos contenedores contienen un sustrato húmedo similar al suelo (compost) en el que las prepupas pueden enterrarse. Para facilitar el proceso de pupación, los contenedores de pupación se colocan dentro de una jaula totalmente oscura, esta jaula también proporciona a las pupas suficiente protección para las condiciones ambientales externas cambiantes como la humedad y temperatura. Después de dos o tres semanas, el material de pupa se ha secado ligeramente, lo que facilita que las mosca se arrastren fuera de la piel de la pupa hasta la parte superior y salgan volando de los contenedores, pero permanezcan contenidas en la jaula oscura, debido a la oscuridad dentro de la jaula, las moscas no se aparearán, sino que permanecerán inmóviles. Tan pronto se liberen de a la luz, comenzaran a reproducirse. (Dortmans et al. 2017)

Figura 8. Jaula oscura con contenedores de pupa apilados dentro



Fuente: “Black soldier fly biological waste processing – A step by step guide” de Dortmans et al. (2017)

- **Apareamiento:** Las moscas que se encuentran en la jaula, copularán y pondrán huevos aproximadamente al mismo tiempo y, por lo tanto, son predecibles y permitirán una operación de vivero más eficiente. Las jaulas estarán equipadas con un paño húmedo para permitir que las mosca se hidraten y con huevos para que depositen sus huevos y con una caja con un atrayente maloliente, cerrando así el ciclo de cría. (Dortmans et al. 2017)

B. Unidad de recepción y preprocesamiento de residuos

Según Dortmans et al. (2017) las larvas son generalmente muy tolerantes cuando se trata de sustratos de alimentación. Es importante que los desechos biológicos recibidos en la instalación sean adecuados como alimento para las larvas con un contenido de agua entre el 60% y el 90% y un tamaño de partículas específico. Las larvas dependen en gran medida de microorganismos simbióticos que degradan las estructuras celulares y hacen que los nutrientes estén disponibles para que los absorban las larvas.

- Diferentes tipos de residuos biológicos adecuados para el tratamiento de la MSN:

- **Residuos municipales:** Residuos orgánicos urbanos y comida de restaurante y hogares (desperdicio de alimento).
- **Residuos agroindustriales:** Residuos de procesamiento, granos gastados y residuos de matadero.
- **Estiércol y heces:** Estiércol de aves y cerdo y lodos fecales.

Otro paso implica el control de calidad de los residuos para garantizar que no contengan materiales peligrosos ni sustancias inorgánicas (bolsas plásticas, ácidos, solventes, pesticidas, detergentes y metales pesados). Una vez asegurada los residuos, también se implica una reducción del tamaño de las partículas de los residuos. Esto se puede lograr utilizando una trituradora o un molino de martillos. Independientemente del tipo de tecnología

que se utilice, el equipo debe triturar los desechos en partículas de menos de 1 a 2 cm de diámetro, ya que las larvas ni cuentan con piezas bucales adecuadas para romper trozos de desechos, esto ayuda acelerar el procesamiento de MSN. (Dortmans et al. 2017)

C. Unidad de tratamiento de residuos MSN

Una cantidad específica de 5-DOL (larvas eclosionadas de 5 días) se transfiere desde la unidad de cría de la MSN a las unidades de tratamiento de MSN que contienen los desechos (llamados también larveros). La cantidad de 5-DOL que se agregue dependerá de la cantidad de desechos biológicos que estén contenidos en un volumen y área de superficie específicos. Mientras las larvas se alimentan y crecen, se agregan más desechos al mismo larveros el día 5 y nuevamente el día 8, hasta que estas se han desarrollado lo suficientemente grandes como para ser cosechadas después de 12 días de alimentación. (Dortmans et al. 2017)

D. Unidad de recolección del producto

Después de 12 días de tratamiento de residuos por larvas MSN, se cosecha cada larvero. En esta etapa, las larvas han alcanzado su peso máximo, pero aún no se han transformado en prepupas. Su valor nutricional es, por tanto, al máximo, la cosecha es el proceso en que las larvas se separan del residuo. Esto puede hacer

utilizando un tamiz de agitación manual mediante el cual las larvas se separan fácilmente del residuo. Se considera adecuado un tamaño de malla de tamiz de 3 mm. (Dortmans et al. 2017)

E. Unidad de pos tratamiento

La desinfección implica eliminar cualquier bacteria que pueda adherirse a la piel de las larvas y asegura que las larvas vacíen sus intestinos (que contienen solo residuos parcialmente digeridos). Usar agua hirviendo en una olla, sumergiendo las larvas por dos minutos las mata instantáneamente y también desinfecta el producto. Las larvas y residuos resultantes pueden procesarse aún más si lo requiere la demanda del mercado local. A esto lo llamamos refinación del producto. El producto puede ser congelado o secado, separar el aceite y aprovechar las proteínas de las larvas. (Dortmans et al. 2017)

2.2.17. Cálculo de la eficiencia de reducción de Residuos y desarrollo de larvas MSN

Ensayo de alimentación y evaluación de biotransformación

Según Nyakeri et al. (2017) el cálculo de la eficiencia de reducción de residuos orgánicos utilizando las larvas de Mosca soldado negro (*Hermetia Illucens*), se hará en función a la ingesta del sustrato (residuos orgánicos) preparado como alimento para el desarrollo de las

larvas de MSN. Donde se definirá el grado de degradación de residuos orgánicos.

Para lo cual se cuantifico la materia orgánica degradada en el ensayo de experimentación, mediante el cálculo de la eficiencia de reducción de los residuos.

- Tasa de reducción de residuos (RR)

Ecuación 1: Porcentaje de la dieta consumida y se calculó como:

$$RR = \frac{\text{Alimento añadido (kg)} - \text{residuo de alimento (kg)}}{\text{Alimento añadido (kg)}} \times 100$$

- Tasa de Bioconversión (TB)

Ecuación 2: cantidad de alimento transformado en biomasa prepupal, y se calculó como:

$$TB = \frac{\text{Peso de la biomasa prepupal (kg)}}{\text{Alimento añadido (kg)}} \times 100$$

Ciclo vida - Desarrollo de larval de *Hermetia Illucens*

Según Georges et al. (2020) durante el desarrollo larval de MSN se realizó con ciertos cambios morfológicos identificables y medibles como: longitud del cuerpo (tamaño de la cápsula cefálica), peso y color. Para esto se utilizó una mini balanza digital unidad (g) y una regla milimétrica. Donde se monitorea el aumento de tamaño y peso por el periodo de desarrollo.

2.3. Marco Legal

Principales normas en torno al tratamiento y control de residuos sólidos

Tabla 2. Marco Normativo en torno al tratamiento y control de residuos sólidos.

Norma	Título de norma
Ley N° 28611-2005	Ley General del Ambiente
Ley N° 27314	Ley General de Residuos
Ley N° 27972-2003	Ley Orgánica de Municipalidades
Ley N° 27446-2001	Ley Del Sistema Nacional de Evaluación De Impacto Ambiental (SEIA)
Decreto Legislativo N° 1278	Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos
Decreto Legislativo N° 1065	Modifica la Ley General de Residuo Sólidos
D.S. N° 057-2004-PCM	Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos.
D.S. N° 012-2019-MINAM	Política Nacional del Ambiente. Entre uno de sus lineamientos establece la promoción de la inversión pública y privada en proyectos para mejorar los sistemas de recolección, operaciones de reciclaje, disposición final y desarrollo de infraestructura.

Nota: recuperado de “Cuarto Informe Nacional de Residuos sólidos Municipales y no Municipales” Ministerio del Ambiente- MINAN (2012)

2.4. Marco conceptual

Biodegradación: La biodegradación es una descomposición orgánica por microorganismos, en la que los materiales pueden transformarse en sustancias más simples, caso de contribuir al reciclaje de nutrientes o a la eliminación de contaminantes en la naturaleza. (Gómez Alarcón y Sáiz-Jiménez, 2013)

Bromatología: Es una parte de la ciencia que estudia en profundidad todo lo relativo a los alimentos en cuanto a su composición, nutrientes y otras sustancias, características fisicoquímicas, cualidades organolépticas (sabor, olor, textura, aspecto, color, etc.), el conocimiento que proporciona la bromatología es imprescindible para el desarrollo de aspectos como la nutrición, para conocer los efectos beneficiosos o perjudiciales de alimentos o ingredientes alimentarios sobre el organismo, la calidad y la seguridad alimentaria. (Arranz y Arranz, 2019)

Dípteros: Constituyen un orden de insectos neopteros, que incluye grupos tan conocidos como las moscas y mosquitos, caracterizados porque sus alas posteriores han quedado reducidas a unos órganos, que no se utilizan para volar, sino para mantener la estabilidad y dirección durante el vuelo, como indica su nombre científico (díptera, dos alas). (Generalitat Valenciana, 2018)

Degradación: Se denomina todos los cambios biológicos que se dan en el suelo o la descomposición de restos de animales, plantas o algún objeto fabricado por el humano.

Eficiencia: Expresión que se emplea para medir la capacidad o cualidad de actuación de un sistema o sujeto económico, para lograr el cumplimiento de objetivos determinados, minimizando el empleo de recursos. (Andrade, 2005)

Economía circular: Es un sistema de aprovechamiento de recursos cuyo pilar es el uso de cuatro R: reducir, reutilizar, reparar y reciclar. Es un modelo que más allá del reciclaje y que supone ir a la raíz del problema para ofrecer soluciones viables. (Lambert, 2021)

Grasas: son nutrientes que dan energía, cuentan con 9 calorías en cada gramo. Las grasas ayudan en la absorción de las vitaminas A, D, E y K que se disuelven en grasa, pueden ser saturadas o insaturadas, y la mayoría de los alimentos con grasa tienen ambos tipos.

Larva: Es la etapa en el desarrollo de muchos animales, que ocurren después del nacimiento o eclosión y antes de que se alcance la forma adulta.

Sustrato: es todo aquel material sólido o soporte físico diferente al suelo, que puede ser natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que, introducido en un recipiente, tierra o un contenedor, en forma pura o en

mezcla, permite y facilita el anclaje del sistema radicular de las plantas, su desempeño y soporte. (Sembralia, 2021)

Sistema: Conjunto ordenado de normas y procedimientos que regulan el funcionamiento de un grupo o colectividad.

Proteínas: Son moléculas formadas por aminoácidos que están unidos por un tipo de enlaces conocidos como enlaces peptídicos. Todas las proteínas están compuestas por: carbono, hidrogeno, oxígeno, nitrógeno y la mayoría contiene azufre y fosforo. Las proteínas suponen aproximadamente la mitad del peso de los tejidos del organismo, y están presentes en todas las células del cuerpo, además de participar en prácticamente todos los procesos biológicos que se producen.

2.5. Hipótesis de la investigación

Ho: La larva de mosca soldado negro (*Hermetia Illucens*) no es eficiente para el aprovechamiento de los residuos orgánicos municipales de la ciudad de Cajamarca.

Ha: La larva de mosca soldado negro (*Hermetia Illucens*) es eficiente para el aprovechamiento de los residuos orgánicos municipales de la ciudad Cajamarca.

2.5.1. Operacionalización de variables

Tabla 3. Operacionalización de variables

Tipo Variable	Variable	Definición	Indicador	Unidad de Medida	Instrumento
Independiente	Larvas Hermetia Illucens	Es la fase de una mosca que se asemeja a la avispa, pero sin aguijón, no muerden ni transmiten enfermedades y se alimenta de materia orgánica en descomposición. (Orgánica, 2016)	Evolución biológica de las larvas MSN incrementando su tamaño y masa cuando degradan la materia orgánica	Tamaño (Cm) Peso (gramo)	Regla Balanza Analítica
Dependiente	Residuos orgánicos	Son aquellos cuyo origen es fundamentalmente biológico y representa el 95 al 99 % del total de la materia seca de los seres vivos. (Mustin, 1987)	Porcentaje de degradación de la masa de los residuos orgánicos	Peso (Kg) %	Balanza digital Estadística

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO III: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3. Metodología

3.1. Tipo de investigación

Por el alcance de los resultados obtenidos en este proyecto es de tipo descriptivo, por cuanto describirá el grado de degradación de residuos orgánicos con intervención de las larvas de mosca soldado negro.

Con un enfoque cuantitativo, ya que los resultados obtenidos tienen una aplicación inmediata a la solución del problema, además este enfoque usa la recolección de datos para dar respuesta a probar una hipótesis establecida, para ello se basa en mediciones y análisis estadísticos.

3.1.1. tipo de investigación según el tiempo

Corresponde a corte longitudinal, porque se examinó el cambio sucedido a los residuos orgánicos y a las larvas de mosca soldado negro en el lapso de 15 días, investiga al mismo grupo en diferentes tiempos, involucrando la comparación de grupos de pre- tratamiento y post tratamiento en las pruebas aleatorias.

3.2. Diseño de investigación

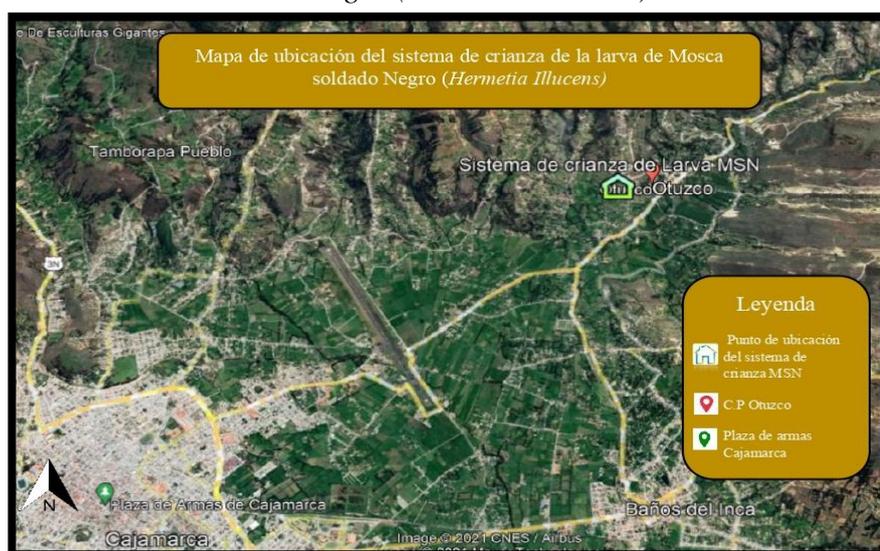
Experimental, porque se somete a la muestra a cambios, manipulando intencionalmente una o más variables independiente para poder analizar y estudiar los efectos en las variables independientes.

3.3. Área de investigación

3.3.1. Ubicación

El estudio se realizó en un terreno ubicado en el pueblo Otuzco del distrito de baños del inca de la ciudad de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca, donde se encuentra la instalación del sistema de crianza de la larva de mosca soldado negro (*Hermetia Illucens*).

Figura 9. Mapa de ubicación del sistema de crianza de la larva de mosca soldado negro (Hermetia Illucens)



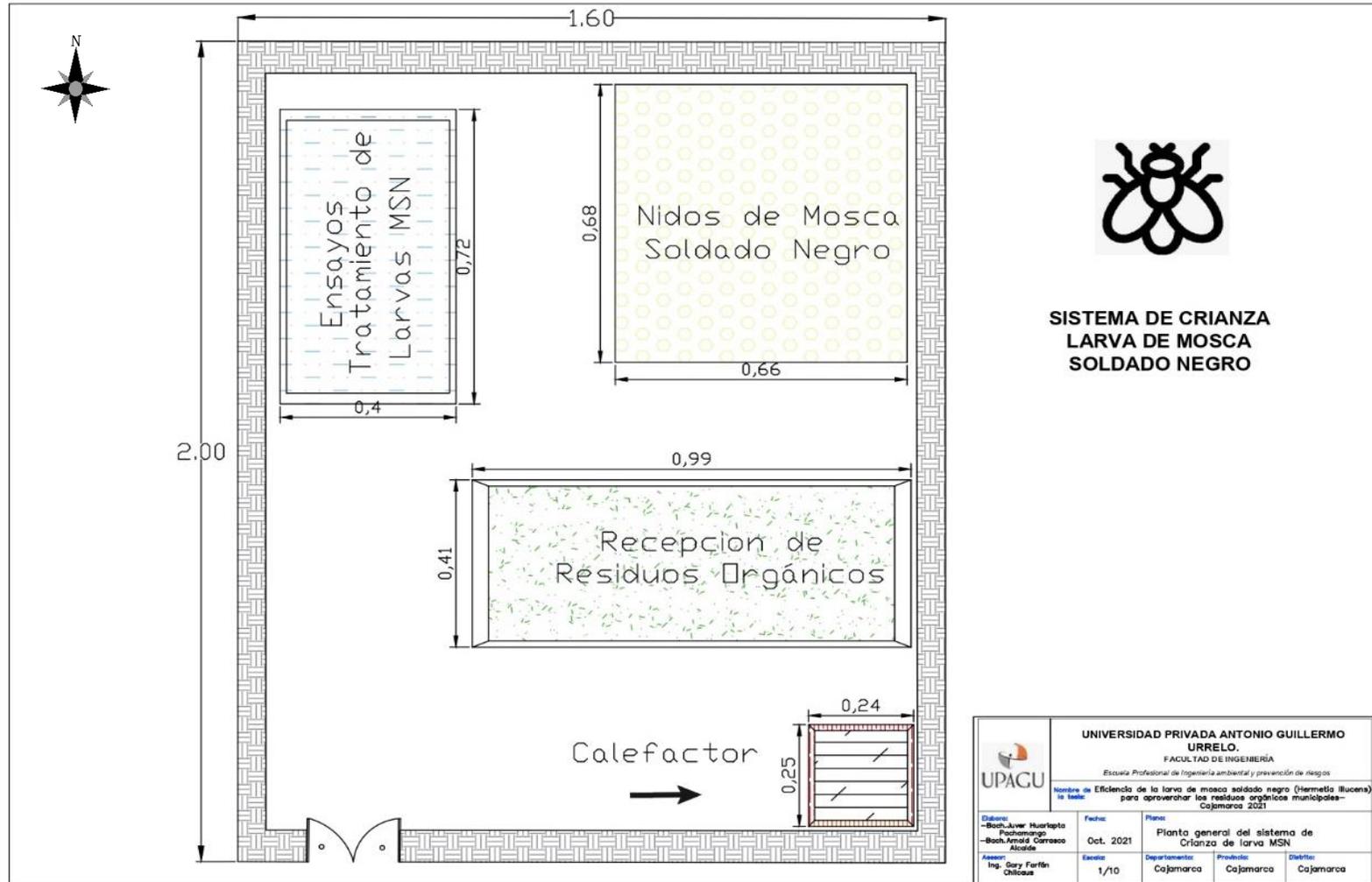
Fuente: Google Earth Pro

- Ubicación del sistema de crianza MSN

Coordenadas UTM

- Coordenada Este: 780429.52
- Coordenada Norte: 9211488.30
- Altitud: 2694 m.s.n.m.

Figura 10. Plano General del sistema de crianza de la larva de Mosca Soldado Negro (*Hermetia Illucens*)



Fuente: Elaboración propia

3.4. Población

Residuos orgánicos municipales de la ciudad de Cajamarca

3.5. Muestra

Se realizó una recolección puntual (hogares y restaurantes) de los residuos orgánicos municipales de la ciudad de Cajamarca, ya que su producción por día es de 85.5 ton, considerando una muestra de 10 kg de residuos orgánicos para el ensayo con 2g de huevos de larva de mosca soldado negro (20000 larvas MSN aproximadamente) para el proceso de tratamiento.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Tabla 4. Técnicas, instrumentos y procesamiento de datos

Técnicas	Instrumentos
Observación	<ul style="list-style-type: none"> - Se observó la degradación de los residuos sólidos orgánicos, es decir la reducción en masa, se pudo observar el incremento del tamaño y masa de las larvas de mosca. - Etiquetas para muestras de residuos orgánicos.
Revisión documental	<p>Guía de procesamiento de residuos biológicos – Mosca soldado negro, guía diseño y construcción del sistema de crianza de la larva MSN. (Dortmans, Diener, Verstappen, & Zurbrügg, 2017)</p> <p>Plan de valorización de residuos sólidos orgánicos municipales: Generación total de los residuos biológicos producidos por la ciudad de Cajamarca en el año 2019. (Cajamarca, 2020)</p> <p>Ley N° 27314 Ley General de Residuos, establece derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto, para asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos, sanitaria y ambientalmente adecuada. (Ministerio del Ambiente- MINAN, 2012)</p>
Laboratorio	<p>Instrumentos para la medición de la reducción de masa de los residuos orgánicos y el incremento en tamaño y peso de las larvas MSN.</p> <p>Métodos para la medición del desarrollo de larvas MSN.</p>

Estadística Programa para el análisis de datos (Programa Estadístico SPSS v24)

Fuente: Elaboración propia

3.6.1. Construcción del sistema de crianza de la larva de mosca soldado negro (*Hermetia Illucens*)

Para el diseño del sistema de crianza se tuvo los siguientes datos:

Tabla 5. Datos de los parámetros requeridos para el diseño del sistema de crianza

Parámetros	Valor	Unidad
Temperatura	21 a 27	°C
Humedad relativa	40 a 60	%
PH	1 a 8	pH

Fuente: Elaboración propia.

3.7. Materiales

Tabla 6. Materiales

Materiales		
Campo	Gabinete	Sistema de Crianza
Lapiceros	Laptop	Listones de madera de 2m y 3m
Cámara digital	USB	Mosquitero
Guantes Látex	Cuaderno de apuntes	Mesas
Mascarillas	Lapiceros	Calefactor
Baldes		Higrómetro
Recipientes		Peachimetro
Balanza		Láminas de madera de 20 x 5cm
Olla		Ligas
Estufa de gas		Recipientes
		Guantes quirúrgicos y mascarilla
		Mini balanza
		Calaminas
		Dispensador
		Larvas de mosca soldado negro

Fuente: Elaboración propia

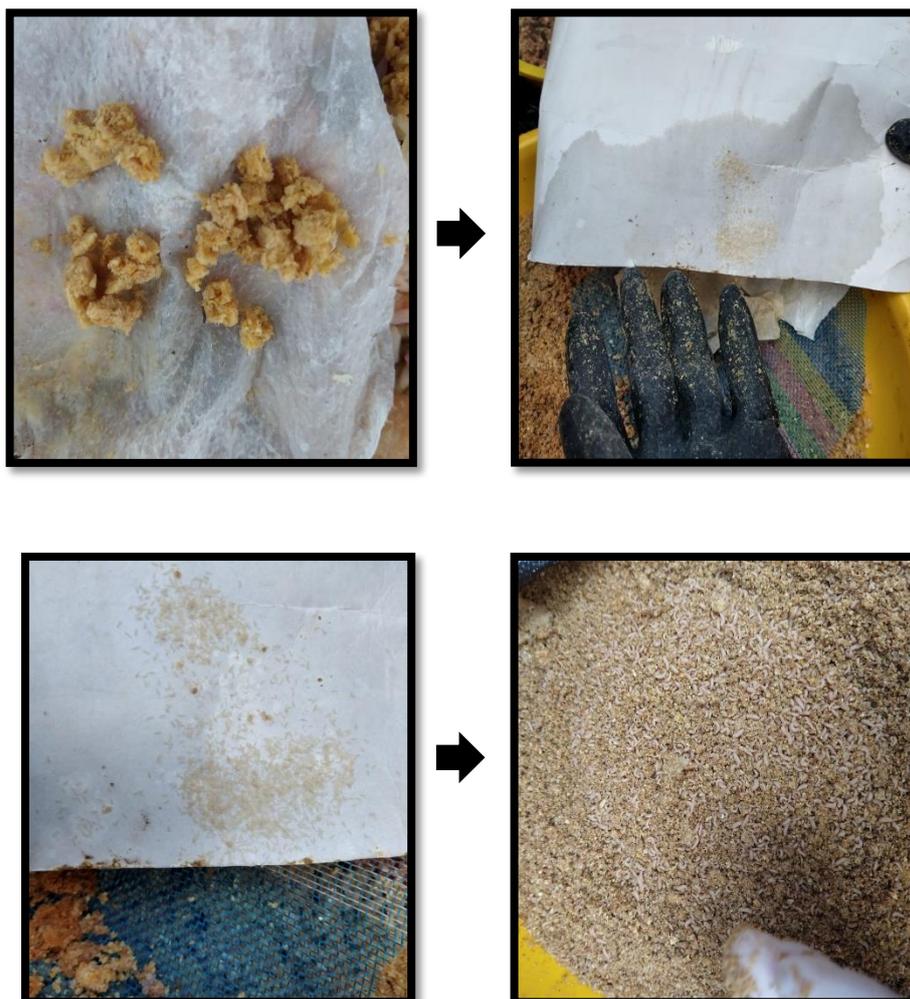
3.8. Procedimiento

EL procedimiento comienza con la identificación y obtención de los instrumentos y material biológico para el desarrollo del ensayo experimental de la degradación o bioconversión de los residuos orgánicos por ingesta de las larvas de mosca soldado negro (*Hermetia Illucens*)

- **Obtención de las larvas de mosca soldado negro**

Para la obtención de las larvas de mosca soldado negro, se obtuvo mediante la compra de ejemplares de larvas del sistema de crianza de MSN del productor Edwin Avellaneda en la ciudad de Chiclayo- Perú, se obtuvo 2 g de huevos de mosca soldado negro ya adaptados en un sustrato para ser enviados hacia nuestra localidad en la ciudad de Cajamarca. Estos huevos de MSN una vez obtenidos se trasladaron al sistema de crianza puestos en un sustrato especial, en que se acondiciono un ambiente para su eclosión y desarrollo previo de 5 días para el proceso de experimentación. El desarrollo de las larvas fue a nivel piloto en un sistema de crianza tamaño estándar.

Figura 11. Proceso de desarrollo de los Huevos de Mosca Soldado Negro



Nota: 1) Huevos MSN 2) Eclósión de los huevos MSN 3) Eclósión de los huevos MSN 4) Larvas MSN de 5 días

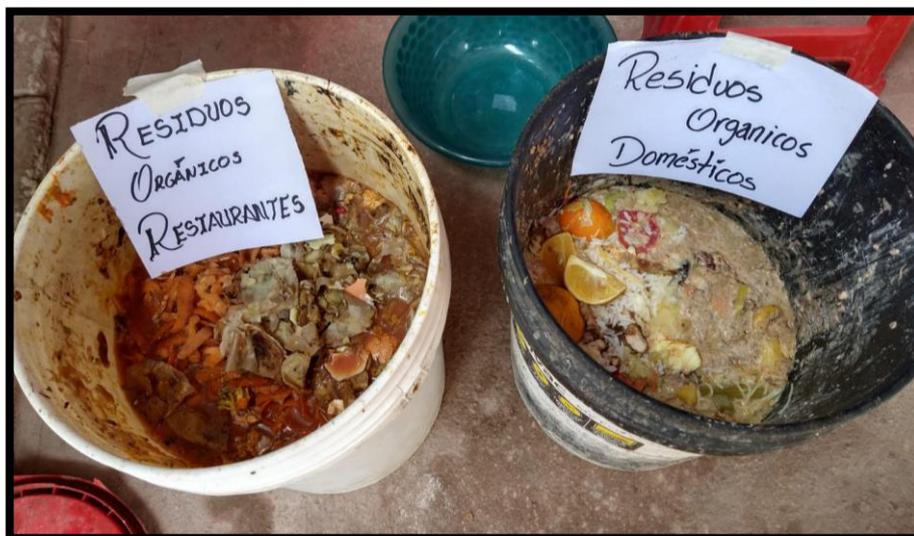
Fuente: Elaboración propia

- Obtención y características de los residuos orgánicos sometidos a degradación por larvas de mosca soldado negro (*Hermetia Illucens*)

Los residuos orgánicos obtenidos tanto domiciliarios y restaurantes sometidos a degradación fueron principalmente restos de comida, frutas, verduras y carnes. Fueron recolectados por viviendas y restaurantes al azar

dentro de la ciudad de Cajamarca, para poder realizar las pruebas de trabajo de investigación.

Figura 12. Residuos orgánicos obtenidos domésticos y de restaurantes



Fuente: Elaboración propia

3.8.1. Cálculo de reducción en masa de los residuos orgánicos con intervención de la larva de mosca soldado negro (*Hermetia Illucens*)

- Ensayo de alimentación y evaluación de biotransformación

Para el ensayo de degradación de residuos orgánicos se procedió a preparar el sustrato con residuos orgánicos, se trituro los restos más grandes a un tamaño que sean comestibles para las larvas, se calculó el peso del primer sustrato que fue de 5kg.

Posteriormente se procedió a colocar las 20,000 larvas aprox. De 5 días después de la eclosión pertenecientes de los 2g de huevos, en un sustrato preparado en un contenedor que fueron esparcidas

uniformemente, estas se mantuvieron en condiciones ambientales adecuadas dentro del sistema de crianza de larvas de mosca soldado negro (*Hermetia Illucens*).

Figura 13. Residuos orgánicos obtenidos domésticos y de restaurantes 1° Sustrato preparado de residuos orgánicos (5kg) y colocación y distribución de las larvas MSN en el sustrato.



Fuente: Elaboración propia

- Tratamiento de los residuos con las larvas de mosca soldado negro

El tratamiento se desarrolló en un lapso total de 15 días donde el día 1 se agregó las 20000 larvas al contenedor del 1° sustrato de 5kg de residuos orgánicos, el día 5 se adicioneo al contenedor el 2° sustrato de 3kg, el día 8 se adicioneo al contenedor el 3°sustrato de 1kg y el día 12 se adicioneo el 4° y ultimo sustrato de 1kg. Lo cual nos muestra la cantidad total del ensayo de 10 kg de residuos orgánicos con la intervención de 20000 larvas MSN.

El ensayo se encuentra dentro del sistema de crianza donde se acondiciono y controlo los siguientes parámetros temperatura entre 21 a 27 °C con la ayuda de un calefactor, la humedad relativa entre

40 y 60 %, ambos parámetros se controlaron por medio de un higrómetro y el pH por medio de un Peachimetro entre 1 a 8.

- Determinación del desarrollo de las larvas de mosca soldado negro (*Hermetia Illucens*) en incremento de tamaño y peso en la degradación de residuos orgánicos

El incremento de tamaño de las larvas se determinó con una regla milimétrica, mientras que el incremento de peso se midió a través de una mini balanza lo cual se midieron por unidad, donde se pudo observar el incremento en ambas unidades que son muy considerables en el trabajo de investigación que se realizó, estas mediciones se tomaron de manera alterna mientras se desarrolla el tratamiento de los residuos orgánicos.

Las medidas de tamaño y peso se realizaron el día 1 hasta el día 15 monitoreando así su desarrollo en este proceso.

- Post tratamiento de larvas de mosca soldado negro (*Hermetia Illucens*)

Proceso de conservación de nutrientes, al culminar el tratamiento se pasó separar las larvas alimentadas con los residuos orgánicos, con el fin de matarlas con agua hervida a una temperatura de 100 °C, posteriormente se almaceno en un recipiente de vidrio guardados en una refrigeradora para su respectiva conservación obteniendo el producto final y el aprovechamiento de los residuos orgánicos obteniendo proteína en larvas (*Hermetia Illucens*).

3.9. Técnicas de análisis y procesamiento de datos

3.9.1. Estadística descriptiva

En este aspecto, luego de obtener la información plasmada en registros y/o apuntes, se trasladó a una base de datos en el programa Microsoft Excel en donde figuró la evaluación de la reducción de los residuos orgánicos tanto de la masa consumida como de la masa restante, además del monitoreo del desarrollo de las larvas, dividiéndolas en tamaño y peso, teniendo en total cuatro columnas de datos, los cuales se tabularon en el programa SPSS v24, para determinar datos de tendencia central (media, mediana, moda) y de dispersión (desviación estándar, mínimo y máximo), a su vez la información del monitoreo de ambas variables, todos expuestos en tablas con su interpretación correspondiente, cumpliendo así con los objetivos específicos del estudio.

3.9.2. Estadística inferencial

Con respecto a la estadística inferencial y para dar respuesta al objetivo general del presente estudio, los datos trasladados al programa SPSS v24, fueron procesados empleando la prueba de correlación de Pearson, corroborando la relación entre las variables para luego emplear la prueba de regresión lineal obteniendo datos del modelo general en donde se percibe el tamaño del efecto mediante el

R^2 , así como la significancia del resultado de ANOVA, para luego reforzarlo con los resultados de los coeficientes totales, verificando que la significancia sea menor a 0.05, confirmando la posibilidad de generar un modelo de regresión que proyecte la conducta de las variables observadas según la siguiente fórmula.

$$y = a + bx$$

Donde:

y= variable dependiente

x= variable independiente

a= constante

b= coeficiente

Evidenciando de este modo la degradación y/o aprovechamiento mediante el consumo de la masa de residuos orgánicos según el tamaño o peso de la larva MSN.

Finalmente se empleó la fórmula del cálculo de eficiencia de la reducción de los residuos (RR), así también la tasa de bioconversión (TB), y la tasa de conversión de alimento (TCA), para conocer cuánto se ha aprovechado por parte de las larvas los residuos orgánicos según el experimento realizado.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de la eficiencia de aprovechamiento de los residuos orgánicos (%) a través de la larva de mosca soldado negro (*Hermetia Illucens*)

Se procede a conocer mediante el proceso respectivo, cuánto se ha aprovechado los residuos orgánicos por medio de la larva MSN según el experimento realizado.

En la tabla 7 se muestran los resultados obtenidos al culminar el ensayo de experimentación, estos datos nos permitirán definir el grado de eficiencia de larvas MSN para el aprovechamiento de los residuos orgánicos.

Tabla 7. Resultados del ensayo de tratamiento de los residuos orgánicos por medio de las larvas MSN

Resultados	Total
Masa de residuos orgánicos	10 kg
Masa de residuos consumidos	6.43 kg
Masa de residuos orgánicos restantes	3.57 kg
N° de larvas MSN	20,000
Masa prepupal (20,000 larvas)	4.97 kg
Tasa de reducción de residuos (RR)	64.3 %
Tasa de Bioconversión (TB)	49.7 %

Fuente: Elaboración propia

4.2. Monitoreo del desarrollo de las larvas alimentadas por residuos orgánicos

El desarrollo de las larvas MSN se basa en un promedio de tamaño y peso de las 20,000 larvas expuestas al ensayo, de tal manera que el incremento de tamaño de las larvas se determinó con una regla milimétrica, mientras que el incremento de peso se midió a través de una mini balanza lo cual se midieron por unidad, donde se pudo observar el incremento en ambas unidades que son muy considerables en el trabajo de investigación que se realizó, estas mediciones se tomaron de manera alterna mientras se desarrolla el tratamiento de los residuos orgánicos.

Tal como se muestra en la tabla 8, el monitoreo se desarrolló todos los días, obteniendo como resultados un incremento del tamaño y el peso de la larva constante, excepto en el tamaño en el día 2 respecto al día anterior.

Tabla 8. Monitoreo del desarrollo de las larvas MSN

Día	Tamaño (cm)	Peso (g)
1	0.4	0.03
2	0.4	0.04
3	0.5	0.05
4	0.6	0.06
5	0.7	0.07
6	0.8	0.09
7	0.9	0.11
8	1	0.13
9	1.1	0.14
10	1.3	0.16
11	1.5	0.18
12	1.7	0.2
13	1.8	0.22
14	1.9	0.24
15	2	0.26

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Monitoreo de la alimentación diaria de las larvas MSN con residuos orgánicos

N° De larvas	Día	Masa consumida (Kg)
20,000	1	0.06
	2	0.11
	3	0.15
	4	0.19
	5	0.23
	6	0.27
	7	0.32
	8	0.37
	9	0.44
	10	0.5
	11	0.56
	12	0.63
	13	0.74
	14	0.86
	15	1

Fuente: Elaboración propia

Por tanto, tal como se muestra en la 10, en los quince días, tuvo una media o un promedio de 1,1067, indicando que, en un grupo de larvas de 1 a 15 días, se tiene la funcionalidad de una larva de 1,1067 cm. También. La mediana fue de 1, indicando que el 50% poseen medidas superiores e inferiores a dicho valor, una moda de 0.40 siendo la medida más repetida, una desviación estándar de 0.55993 que indica la variación entre las medidas y un máximo de 2 cm y un mínimo de 0,4 cm.

Tabla 10. Descriptivos del tamaño de la larva en centímetros

Media	Mediana	Moda	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
1,1067	1,0000	,40	,55993	,40	2,00

Fuente: Programa Estadístico SPSS v24

Por otro lado, en la 11, en los quince días, tuvo una media o un promedio de 0,320 indicando que, en un grupo de larvas en desarrollo de 1 a 15 días, se tiene la funcionalidad de una larva de 0,320 gramos. También. La mediana

fue de 0,13 indicando que el 50% poseen medidas superiores e inferiores a dicho valor, una moda múltiple, una desviación estándar de 0.07580 que indica la variación entre las medidas, un máximo de 0,26 g y un mínimo de 0,3 g.

Tabla 11. Descriptivos del peso de la larva en gramos

Media	Mediana	Moda	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
,1320	,1300	,03 ^a	,07580	,03	,26

Nota: a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño. Fuente: Programa Estadístico SPSS v24

4.3. Degradación de los residuos sólidos por ingesta de las larvas

El incremento de la masa consumida se determinó con una balanza, midiéndolo por kilogramos, donde se pudo observar el incremento en el trabajo de investigación que se realizó, observando un incremento constante de la masa consumida y una reducción de la masa restante, tal como se expone en la tabla 12, se desarrolló el análisis en los 15 días, obteniendo como resultados un total de masa consumida de 6.43 kilogramos, siendo el indicador más relevante.

Tabla 12. Evaluación de la reducción de los residuos orgánicos

Día	Masa Agregada (kg)	Masa consumida (Kg)	Masa restante (kg)
1	5	0.06	4.94
2		0.11	4.83
3		0.15	4.68
4		0.19	4.49
5	3	0.23	7.26
6		0.27	6.99
7		0.32	6.67
8	1	0.37	7.3
9		0.44	6.86

10		0.5	6.36
11		0.56	5.8
12	1	0.63	6.17
13		0.74	5.43
14		0.86	4.57
15		1	3.57
Total	10	6.43	3.57

Fuente: Elaboración propia

4.3.1. Cálculo de la eficiencia de las larvas MSN

El cálculo de la eficiencia de reducción de residuos orgánicos utilizando las larvas de Mosca soldado negro (*Hermetia Illucens*), se hará en función a la ingesta del sustrato (residuos orgánicos) preparado como alimento para el desarrollo de las larvas de MSN. Donde se definirá el grado de degradación de residuos orgánicos. Para lo cual se cuantifico la materia orgánica degradada en el ensayo de experimentación, mediante el cálculo de la eficiencia de reducción de los residuos. (Nyakeri, Ogola, M.A, & Amimo, 2017)

- Tasa de reducción de residuos (RR)

Ecuación 1: Porcentaje del alimento consumido (Residuos orgánicos) y se calculó como:

$$RR = \frac{\text{Alimento añadido (kg)} - \text{residuo de alimento (kg)}}{\text{Alimento añadido (kg)}} \times 100$$

Reemplazamos:

$$RR = \frac{10\text{kg} - 3.57\text{kg}}{10\text{kg}} \times 100$$

$$RR = 64.3 \%$$

De lo observado, al obtener una tasa de reducción de alimento al 64.3%, significa que de un grupo de 20,000 larvas MSN cuenta con la eficacia de reducir a más de la mitad de un sustrato de 10 kg de residuo orgánico, mostrando un tamaño de efecto considerable para el proyecto.

- Tasa de Bioconversión (TB)

Ecuación 2: cantidad de alimento transformado en biomasa prepupal, y se calculó como:

$$TB = \frac{\text{Peso de la biomasa prepupal (kg)}}{\text{Alimento añadido (kg)}} \times 100$$

Reemplazamos:

$$TB = \frac{4.97kg}{10 kg} \times 100$$

$$TB = 49.7\%$$

De lo observado, al obtener una tasa de bioconversión de 49.7%, significa que el desarrollo de las 20,000 larvas MSN con la ingesta de 10 kg de residuo orgánico, estas desarrollan más de la tercera parte de su alimentación, obteniendo una cantidad significativa de un nuevo producto (masa proteica) generado por lo antes mencionado.

4.3.2. Cálculo de datos estadísticos

Por otro lado, en la tabla 13, sus aspectos descriptivos, en los quince días, tuvo una media o un promedio de 0,4287 indicando que, en un grupo de larvas en desarrollo de 1 a 15 días, se consume aproximadamente 0, 4287 kilogramos. También. La mediana fue de 0,37 indicando que el 50% poseen medidas superiores e inferiores a dicho valor, una moda múltiple, una desviación estándar de 0.28339 que indica la variación entre las medidas y un máximo de 1 kg y un mínimo de 0,06 g.

Tabla 13. Descriptivos de la masa consumida en kilogramos

Media	Mediana	Moda	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
,4287	,3700	,06 ^a	,28339	,06	1,00

Nota: a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño. Fuente: Programa Estadístico SPSS v24

4.4. Comprobación de hipótesis: eficiencia de la larva para aprovechar residuos orgánicos

Para corroborar la hipótesis de estudio, empleando la estadística inferencial, se tuvo en cuenta varios aspectos, dentro de ellos el principal que es conocer la incidencia de la variable independiente sobre la otra y si mediante esta se puede generar un modelo de proyección, para lo cual primero fue necesario corroborar la relación entre las variables, que se verifica en la siguiente tabla 14, encontrando correlaciones positivas muy alta y significativas, además de un tamaño de efecto grande según el R^2 tal como se aprecia en la figura 14, lo cual indica que cuanto mayor sea el tamaño de las larvas, mayor será

el consumo de los residuos orgánicos y como se aprecia en la figura 15, cuanto mayor sea el peso de las larvas, mayor será el consumo de la masa de los residuos orgánicos.

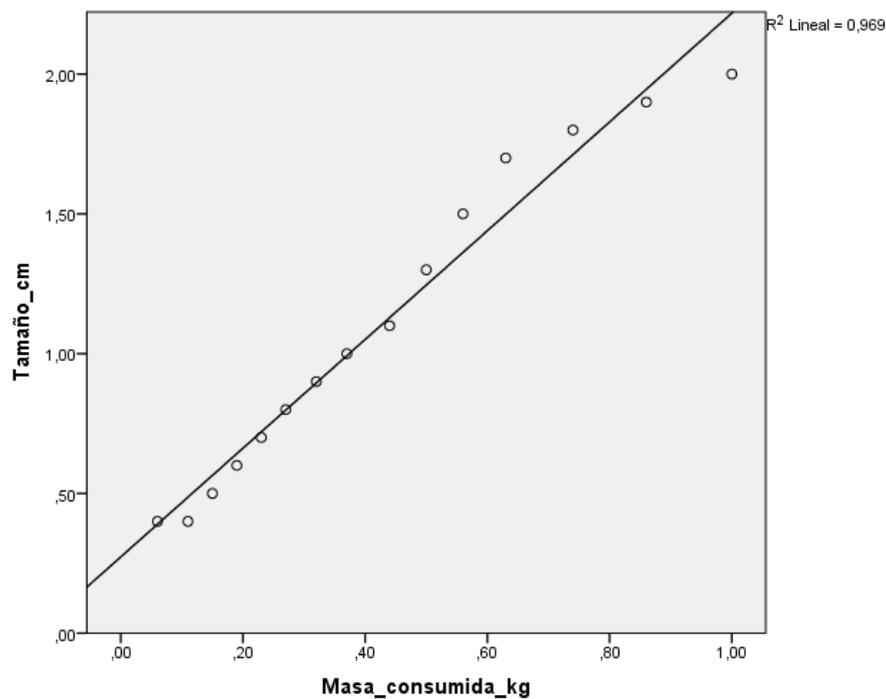
$P < 0.05$

Tabla 14. Correlaciones totales de las variables y dimensiones

		Tamaño (cm)	Peso (gr)
Masa consumida (kg)	Correlación de	,985**	,990**
	Pearson		
	Sig. (bilateral)	,000	,000
	N	15	15

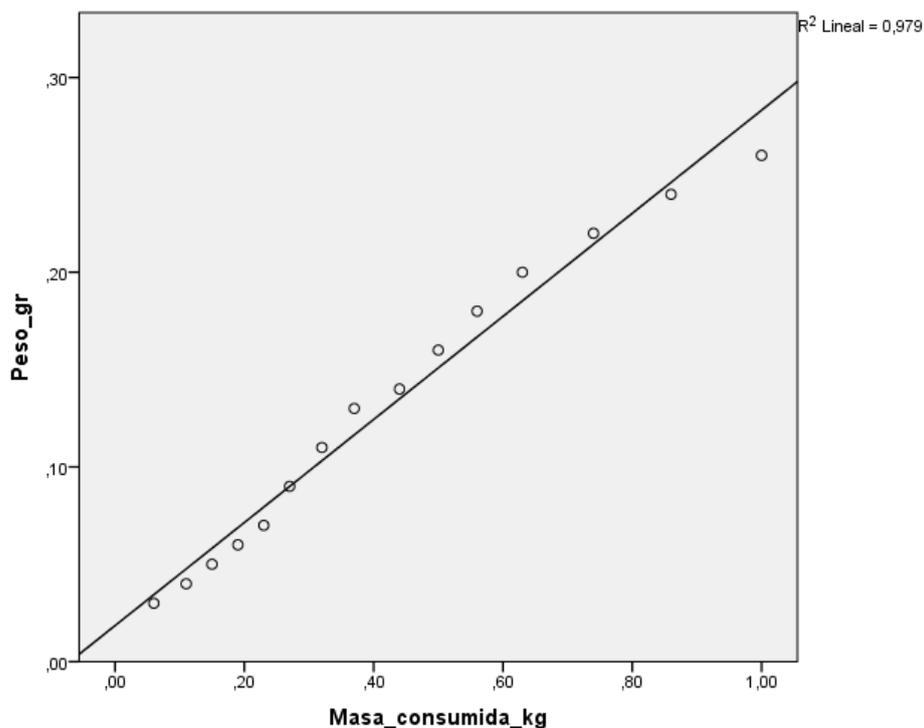
*Nota: **. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral). Fuente: Programa Estadístico SPSS v24*

Figura 14. Gráfico de dispersión de puntos de la incidencia del tamaño de la larva en la masa consumida



Fuente: Programa Estadístico SPSS v24

Figura 15. Gráfico de dispersión de puntos de la incidencia del peso de la larva en la masa consumida



Fuente: Programa Estadístico SPSS v24

Prosiguiendo con el análisis, corresponde ahora verificar la predictividad de la masa consumida de residuos orgánicos respecto al tamaño de la larva MSN. Se muestra entonces la tabla 15 el resumen del modelo en donde se ubica el grado de correlación y el coeficiente R^2 de 0.969 que indica un tamaño de efecto grande del tamaño de la larva en la masa consumida de residuos orgánicos.

Tabla 15. Resumen del modelo general (masa consumida*tamaño)

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,985 ^a	,969	,967	,05156

Nota: a. Predictores: (Constante), Tamaño cm Fuente: Programa Estadístico SPSS v24

En la tabla 16, se observa los resultados de ANOVA, una significancia de 0.000, siendo menor a 0.05 indicando que se puede generar la ecuación de

regresión lineal simple con las variables, por encontrarse dentro del error permitido.

*Tabla 16. Resultados de ANOVA (masa consumida*tamaño)*

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	
1	Regresión	1,090	1	1,090	409,936	,000 ^b
	Residuo	,035	13	,003		
	Total	1,124	14			

Nota: b. Predictores: (Constante), Tamaño cm Fuente: Programa Estadístico SPSS v24

En la tabla 17, se muestran los coeficientes totales de las variables analizadas, se obtiene una significancia para ambos casos, tanto variable dependiente como independiente, menor a 0.05, estando dentro del margen de error permitido, indicando que es factible elaborar la ecuación de proyección con las variables analizadas.

*Tabla 17. Coeficientes totales (masa consumida*tamaño)*

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Error estándar	Beta		
1	(Constante)	-,123	,030		-4,050	,001
	Tamaño cm	,498	,025	,985	20,247	,000

Nota: Fuente: Programa Estadístico SPSS v24

De este modo siendo la ecuación la siguiente:

$$y = a + bx$$

Donde:

y= variable dependiente

x= variable independiente

a= constante

b= coeficiente

Reemplazamos:

$$y = -0,123 + 0,498x$$

Esto indica que el consumo de masa de residuos orgánicos es igual a -0.123 kg más 0.498 veces el tamaño en cm de la larva MSN.

Prosiguiendo con el análisis, corresponde ahora verificar la predictividad de la masa consumida de residuos orgánicos con respecto al peso de la larva MSN. Se muestra entonces la tabla 18 el resumen del modelo en donde se ubica el grado de correlación y el coeficiente R^2 de 0.979 que indica un tamaño de efecto grande del peso de la larva en la masa consumida de residuos orgánicos.

*Tabla 18. Resumen del modelo general (masa consumida*peso)*

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,990 ^a	,979	,978	,04212

Nota: a. Predictores: (Constante), Peso g, Fuente: Programa Estadístico SPSS v24

En la tabla 19, se observa los resultados de ANOVA, una significancia de 0.000, siendo menor a 0.05 indicando que se puede generar la ecuación de regresión lineal simple con las variables, por encontrarse dentro del error permitido.

*Tabla 19. Resultados de ANOVA (masa consumida*peso)*

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1,101	1	1,101	620,836	,000 ^b
	Residuo	,023	13	,002		
	Total	1,124	14			

Nota: b. Predictores: (Constante), Peso g, Fuente: Programa Estadístico SPSS v24

En la tabla 20, se muestran los coeficientes totales de las variables analizadas, se obtiene una significancia para ambos casos, tanto variable dependiente como independiente, menor a 0.05, estando dentro del margen de error permitido, indicando que es factible elaborar la ecuación de proyección con las variables analizadas.

*Tabla 20. Coeficientes totales (masa consumida*peso)*

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
1	(Constante)	-,060	,022		
	Peso g	3,700	,149	,990	
				-2,666	,019
				24,917	,000

Nota: Fuente: Programa Estadístico SPSS v24

De este modo siendo la ecuación la siguiente:

$$y = a + bx$$

Donde:

y= variable dependiente

x= variable independiente

a= constante

b= coeficiente

Reemplazamos:

$$y = -0,06 + 3,7x$$

Esto indica que el consumo de masa de residuos orgánicos es igual a -0.06 kg más 3.7 veces el peso en g de la larva MSN.

De esta manera se comprende mediante las dos ecuaciones elaboradas, cuán eficiente es la larva en consumir residuos orgánicos, dependiendo del tamaño y peso que este tenga.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se evaluó la eficiencia de la larva MSN para aprovechar los residuos orgánicos municipales de la ciudad de Cajamarca, encontrando una correlación positiva elevada y un tamaño de efecto grande entre la masa consumida y el tamaño y peso de la larva ($R^2=0.969$; $R^2=0.979$; $p<0.05$)

Se determinó la eficiencia de reducción de residuos orgánicos mediante la ingesta de las larvas (*Hermetia Illucens*), por medio de las ecuaciones de tasa de reducción mostrando un resultado de 64.3%, esto indica que se logró reducir más de la mitad de residuos orgánicos empleados, indicando un efecto positivo en la investigación, de la misma manera se aplicó la ecuación de la tasa de bioconversión mostrando un resultado de 49.7%, esto indica que se logró aprovechar los residuos convirtiéndola en nueva materia conteniendo altos índices de proteína y grasas, definiendo así el grado de degradación y el grado de aprovechamiento de los residuos orgánicos.

Se monitoreó el desarrollo de las larvas MSN en su tamaño y peso al ser alimentadas por residuos orgánicos siendo constante y progresivo reflejando el aprovechamiento de los residuos, llegando un tamaño de 2 cm y 0.26 g en peso en el día 15.

Se determina que el desarrollo de las larvas MSN mediante la degradación de los residuos orgánicos por ingesta de estas, se aplica en un tiempo óptimo de no más de 15 días para que las larvas puedan alcanzar su punto máximo de desarrollo y aprovechar la proteína que se encuentra en los residuos.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda a las grandes industrias de la localidad y municipios de la región, generar beneficios en relación con el empleo de la larva MSN debido a la eficiencia que esta posee para aprovechar el material orgánico de los residuos municipales por medio de su consumo, de este modo generar empleo mediante un proyecto, que emplee una nueva técnica reciclaje con el fin de aprovechar el recurso para su distribución y generar ingresos.

Realizar nuevos estudios experimentales en otras localidades con respecto a las larvas y su comportamiento referente al consumo de los residuos orgánicos, para corroborar y reforzar los hallazgos y el material teórico de la presente investigación.

Se recomienda a la ciudadanía que realizan actividades agrícolas, aplicar esta técnica de reciclaje a nivel artesanal, debido a que es sencillo de aplicar, por la facilidad de generar residuos orgánicos aprovechando los desechos de los alimentos para obtener un nuevo insumo de alimentación para los animales de granja.

Se recomienda a la Municipalidad Provincial de Cajamarca, difundir esta información para concientizar a la población de esta nueva técnica y a su vez de aportar con la segregación de los residuos orgánicos en casa para su aprovechamiento en un proyecto de reciclaje con las larvas MSN.

REFERENCIAS

- Priyom Bose, P. (20 de Julio de 2020). *AZO Cleantech*. Obtenido de <https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=1104>
- Aliaga Campos, L. (2019). *Estudio de prefactibilidad para la instalacion de una planta de produccion de larvas de mosca soldado negra (Hermetia Illucens)*. Lima.
- Amores, D. (09 de Marzo de 2021). *Universidad Catolica de Murcia (UCAM)*. Obtenido de <https://www.ucam.edu/noticias/la-universidad-catolica-y-entomo-agroindustrial-impulsan-el-uso-de-insectos-como>
- Andrade, S. (2005). *Diccionario de economía*. México.
- Arranz, N., & Arranz, L. (2019). *Bioco actual - informativo mensual independiente y gratuito de consumo de producción ecológica*. Valencia.
- Ballesteros, J. (09 de Agosto de 2013). *Recytrans Soluciones Globales para el Reciclaje*. Obtenido de <https://www.recytrans.com/blog/reciclaje-de-residuos-organicos/>
- Barandalla, N., Ruiz, H., & Bonilla, F. (2021). *Ecoinsect Sustainable Farming*. Obtenido de <https://www.ecoinsectsf.com/gestion-residuos-organicos/>
- Bondari, K., & Sheppard, D. (1987). *larvae as feed for channel catfish, Ictalurus punctatus (Rafinesque), and blue tilapia, Oreochromis aureus (Steindachner)*. Universidad de Georgia, Tifton, USA.
- Cabrera Gutierrez, D., & Lopez Gutierrez, A. (2021). *Evaluación de la Larva de mosca soldado negra (Hermetia Illucens) como alternativa para la degradación de residuos sólidos urbanos*. Fundación Universidad de América, Bogota.
- Cajamarca, M. P. (2020). *Plan de Valorizacion de Residuos Sólidos Orgánicos Municipales*. Cajamarca.
- Copello. (2019). *Biología de Hermetia illucen*. Tucumán.

- Dortmans, B., Diener, S., Verstappen, B., & Zurbrügg, C. (2017). *Black Soldier Fly Biological Waste Processing A Step-by-Step Guide*. Dubendorf Suiza: Überlandstrasse 133, 8600 Dübendorf, Suiza.
- Generalitat Valenciana. (2018). *parquesnaturales.gva.es*. Obtenido de <https://parquesnaturales.gva.es/es/web/insectarium-virtual-del-parc-natural-del-penyal-d-ifac/orden-diptera>
- Gennadiy Okatov. (10 de Octubre de 2019). *Naturalista*. Obtenido de <https://www.inaturalist.org/photos/59181430>
- Georges, B., Strut, D., & Lados, D. (2020). *Body weight loss of black soldier fl y Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae) during development in non-feeding stages: Implications for egg clutch parameters*. Napoca.
- Gobbi, F. (2012). *Biología reproductiva y caracterización morfológica de los estadios larvarios de Hermetia illucens (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae). Bases para su producción masiva en Europa*. Universidad de Alicante. Alicante: Universidad de Alicante.
- Gómez Alarcón, G., & Sáiz-Jiménez, C. (2013). *Biodeterioro de monumentos y biorremediación: Estado actual y perspectivas futuras*. Madrid: Real Academia Nacional de Farmacia (España).
- González Farfán, C. (5 de Abril de 2019). *Pais Circular*. Obtenido de <https://www.paiscircular.cl/consumo-y-produccion/food-for-the-future-emprendimiento-circular/>
- Halloran, A., & Vantomme, P. (2013). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)*. Obtenido de <http://www.fao.org/publications/card/es/c/43148c54-4ac9-5510-84a1-79dba6fb6fef/>
- Kaufman, P. E. (2009). *Black Soldier Fly Hermetia illucens Linnaeus (Insecta: Diptera: Stratiomyidae)*. Universidad de Florida, Florida. Obtenido de <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf%5CIN%5CIN83000.pdf>

- Kaza, S., Yao, L., Bhada Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0 : A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Washington, DC.
- Lambert, T. (2021). *ECOLEC FUNDACIÓN*. Obtenido de <https://www.ecolec.es/informacion-y-recursos/economia-circular/>
- Martínez Sánchez , A. (2011). *Primer registro de Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae) en cadáveres humanos en la Península Ibérica*. Universidad de Alicante, Alicante .
- MINAM. (17 de Mayo de 2018). *Ministerio del Ambiente*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/161-en-el-peru-solo-se-recicla-el-1-9-del-total-de-residuos-solidos-reaprovechables>
- Ministerio de Agricultura, A. y. (20 de Junio de 2014). *Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico*. Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/biorresiduos/Default.aspx>
- Ministerio del Ambiente- MINAN. (2012). *Cuarto Informe Nacional de Residuos sólidos Municipales y no municipales: Gestion 2010-2011*. Lima.
- Morales Quintana, J. F. (2021). *Biotransformación de residuos orgánicos a partir del manejo ex situ de Hermetia illucens (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae) como una alternativa para la gestión sostenible de los desechos sólidos en el Distrito Metropolitano de Quito*. Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Mosquera, C. (2018). *Socialab*. Obtenido de <https://impaqto.socialab.com/challenges/EmprendimientoUrbano/idea/55442>
- Municipalidad Provincial De Cajamarca . (2020). *Plan de Valorizacion de Residuos Sólidos Orgánicos Municipales*. Cajamarca.
- Mustin, M. (1987). *Le compost: gestion de la matiere organique*. Ois Dubucs, París, Francia.
- Nasilele Mutafela, R. (2015). *Tratamiento de residuos orgánicos de alto valor a través de la bioconversión de la mosca soldado negra*. Estocolmo.

- Navarro, M. G. (1995). *Residuos Orgánicos y agricultura*. Universidad de Alicante, Alicante, España.
- Newton, L., Dove, R., & Burtle, G. (2005). *Using the Black Soldier Fly, Hermetia Illucens, as a Value-Added Tool for the Management of Swine Manure*. Tifton.
- 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.
- Nyakeri, E., Ogola, H., M.A, A., & Amimo, F. (2017). *Valorisation of organic waste material: growth performance of wild black soldier fly*. Kenia: Wageningen Academic Publishers.
- OEFA. (2014). *Fiscalización Ambiental en Residuos Sólidos de gestión municipal provincial*. Lima: Biblioteca Nacional del Perú.
- Orgánica, V. (11 de Junio de 2016). *vía organica*. Obtenido de <https://viaorganica.org/composta-con-moscas-soldado-negras-hermetia-illucens-para-alimento-de-gallina/#:~:text=La%20hembra%20de%20la%20mosca,es%20de%201%20mm%20aproximadamente.&text=Las%20larvas%20tienen%20una%20longitud,larva%20dura%20aproximadamente%201>
- Otálora Montenegro, S. (15 de Marzo de 2021). *El Espectador*. Obtenido de <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/931-millones-de-toneladas-de-comida-se-desperdician-al-ano/>
- Salas Alfaro, J. (2019). *Evaluación de cuatro sustratos orgánicos para la producción de larvas de Hermetia illucens (Díptera Stratiomyidae) en condiciones controladas de irrigación majes-pedregal, Caylloma Arequipa*. Arequipa.
- Salomone, R., Saija, G., Mondello, G., Giannetto, A., Fasulo, S., & Savastano, D. (2016). *Impacto ambiental de la bioconversión de residuos de alimentos por insectos: aplicación de la evaluación del ciclo de vida al proceso utilizando Hermetia Illucens*. Messina, Italia: Biosistemi Srls, SS 111 n. 68, 89013 Gioia Tauro, Italia.

- Sánchez, J. (16 de Abril de 2020). *Bioconversión de residuos a través de algunas especies de insectos*. Obtenido de <https://proteinsecta.es/bioconversion-de-residuos-a-traves-de-algunas-especies-de-insectos/>
- Schrader King, K. (20 de septiembre de 2018). *Banco Mundial*. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report>
- Segura Cazorla, M. (2014). *Composición bromatológica Hermetia illucens*. Universidad de América, Almeira.
- Sembralia. (22 de Enero de 2021). *Sembralia*. Obtenido de <https://sebralia.com/tipos-de-sustrato/>
- Shelomi, M. (2020). *Potencial de la Producción de Mosca Soldado Negra para los pequeños Estados Insulares en Desarrollo del Pacífico*. Universidad Nacional De Taiwan. Taipei: Creative Commons Attribution (CC BY).
- Singh, A., & Kanchan, K. (01 de Diciembre de 2019). *sciencedirect*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719312873>
- Sprangers, T., & Michiels, J. (12 de Abril de 2018). *Comunidad Profesional Porcina*. Obtenido de https://www.3tres3.com/abstracts/harina-de-mosca-negra-como-fuente-de-proteina-para-lechones_39275/
- Tomberlin, J. (Junio de 2018). *Universidad Católica de Santa María*. Obtenido de <https://www.ucsm.edu.pe/ucsm-produce-larvas-de-mosca-soldado-con-alto-valor-nutricional/>
- Tomberlin, J., Sheppard, D., & Joyce, J. (2002). *Rasgos seleccionados de la historia de vida de la mosca soldado negra (Diptera:Stratiomyidae) criado con tres dietas artificiales*. Universidad de Georgia, Tifton.
- Zurbrugg, C., Diener, S., Roa Gutiérrez, F., Hong Nguyen, D., Morel, A., Koottatep, T., & Tockner, K. (2011). *LARVAS MOSCA SOLDADO NEGRO PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS - Perspetivas y Limitaciones*. hulna, Bangladesh.

ANEXOS

ANEXO “FOTOGRAFÍAS”



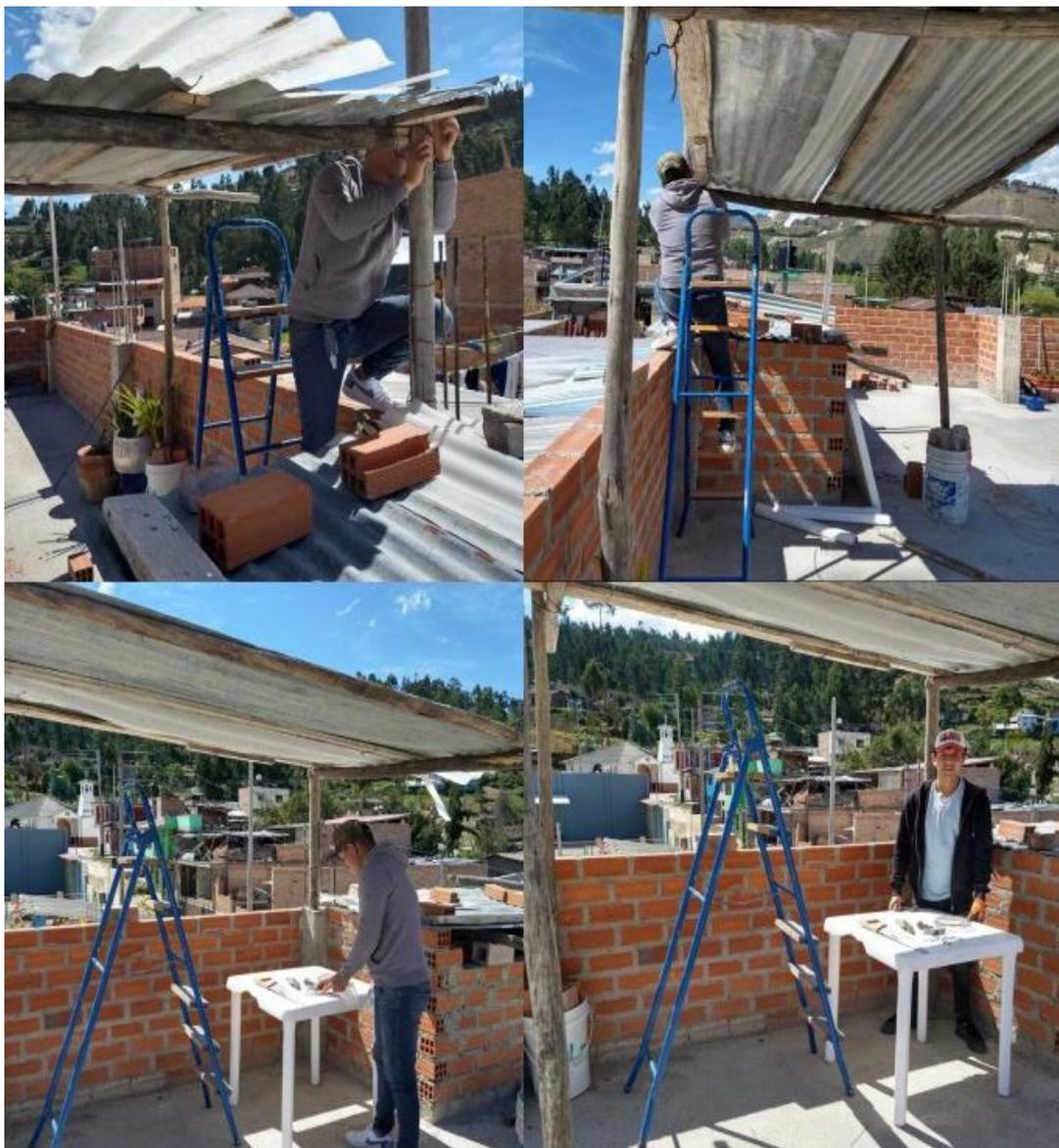
Fotografía 1: Recolección de los residuos orgánicos de la ciudad de Cajamarca a) Recolección de residuos orgánicos del mercado b) recolección de residuos orgánicos del camal

Fuente: “Plan de valorización de residuos sólidos orgánicos municipales” – (Cajamarca, 2020)



Fotografía 2: Estado actual del tratamiento de los residuos orgánicos de la ciudad de Cajamarca

Fuente: “Plan de valorización de residuos sólidos orgánicos municipales” – (Cajamarca, 2020)



Fotografía 3: Construcción del sistema de crianza de larva de mosca soldado negro (Hermetia Illucens)

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 4: Impermeabilización del sistema de crianza de larva MSN

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 5: Equipamiento del sistema de crianza de larva MSN

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 6: Obtención del material Biológico: a) *Residuos orgánicos* b) *Huevos de larva MSN*

Fuente: *Elaboración propia*



Fotografía 7: Selección y pesado de Huevos MSN para el ensayo de experimentación

Fuente: *Elaboración propia*



Fotografía 8: Preparación del 1° sustrato para el ensayo de experimentación: a) Separación de residuos no correspondientes b) Trituración de los residuos orgánicos c) Medida del Ph d) Peso del 1°sustrato

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 9: Desarrollo de los Huevos de larva MSN: *a y b) Eclósión de los huevos MSN c y d) Larvas de 5 días*

Fuente: *Elaboración propia*



Fotografía 10: Distribución de larvas MSN en el 1° sustrato del ensayo

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 11: Pesado de los sustratos de residuos orgánicos empleados en el ensayo (total de 10 kg): a) 1° sustrato de 5kg b) 2° sustrato de 3kg c) 3° sustrato de 1 kg d) 4° sustrato de 1 kg

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 12: Larvas en plena ingesta, degradando los residuos orgánicos

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 13: Cambio de recipiente por el incremento de tamaño y peso de las larvas MSN

Fuente: *Elaboración propia*



Fotografía 14: Control de parámetros ambientales y químicos: a) Medida del Ph en el ensayo b) higrómetro medida de temperatura y humedad relativa c) Calefactor-control de temperaturas bajas

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 15: Monitoreo del desarrollo de las larvas MSN en tamaño y peso

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 16: Control de la reducción de residuos orgánicos por la larva MSN

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 17: Masa de residuos orgánicos restantes del ensayo de experimentación (3.57 kg)

Fuente: *Elaboración propia*



Fotografía 18: Masa de Prepupal (20,000 larvas) desarrolladas con residuos orgánicos (4.95 kg)

Fuente: *Elaboración propia*



Fotografía 19: Cosecha de larvas MSN y separación de residuo orgánico restante

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 20: Refinamiento de las larvas MSN para obtención del producto final:
a) agua hervida b) larvas en agua hervida c) separación de las larvas d) larvas muertas (Producto final)

Fuente: *Elaboración propia*



Fotografía 21: Almacenamiento de larvas MSN muertas para su respectiva conservación

Fuente: *Elaboración propia*



Fotografía 22: Gallinas siendo alimentadas por larvas MSN

Fuente: Elaboración propia