	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
<b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>		<b>F-AC-DBL-007</b>	<b>08-07-2021</b>	<b>B</b>
Dependencia		Aprobado		Pág.
<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>		<b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>		<b>1(56)</b>

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

<b>AUTORES</b>	Volmar Eduardo Carvajalino Bayona Leiner José Ramos Calderón		
<b>FACULTAD</b>	Ciencias Agrarias y del Ambiente		
<b>PLAN DE ESTUDIOS</b>	Zootecnia		
<b>DIRECTOR</b>	Alexis Aguilera Arango		
<b>TÍTULO DE LA TESIS</b>	Identificación del valor nutricional en la etapa larvaria de la Mosca Soldado-Negra ( <i>Hermetia illucens</i> ) a partir de sobras orgánicas en Ocaña, Norte de Santander.		
<b>TITULO EN INGLES</b>	Identification of the nutritional value in the larval stage of the black soldier fly ( <i>Hermetia illucens</i> ) from organic leftovers in Ocaña, Norte de Santander.		
<b>RESUMEN</b>			
<p>Esta investigación tiene como objetivo identificar el valor nutricional de la prepupa de mosca soldado negro (<i>Hermetia illucens</i>) alimentadas con sobras orgánicas y su efecto en parámetros productivos, para las condiciones locales. los tratamientos fueron T0, concentrado gallinas de levante, T1 residuos orgánicos, T2 gallinaza y T3 porquinaza. Quien presentó mejores características de materia seca, materia orgánica, extracto etéreo y proteína bruta fue el T1 reportando valores cercanos al T0.</p>			
<b>RESUMEN EN INGLES</b>			
<p>The objective of this research is to identify the nutritional value of black soldier fly (<i>Hermetia illucens</i>) prepupae, fed with organic leftovers and their effect on productive parameters, for local conditions. The treatments were T0, concentrated for hens in the growing stage, T1 organic waste, T2 chicken manure and T3 pig manure. T1 presented the best characteristics of dry matter, organic matter, ethereal extract and crude protein, with values close to to the of T0.</p>			
<b>PALABRAS CLAVES</b>	Sustratos, Economía circular, Biomasa larval, Prepupas, Análisis químico.		
<b>PALABRAS CLAVES EN INGLES</b>	Substrates, Circular Economy, Larval Biomass, Prepupal, Chemical Analysis.		
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
PÁGINAS: 79	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:



**Identificación del valor nutricional en la etapa larvaria de la mosca soldado-negra  
(*Hermetia illucens*) a partir de sobras orgánicas en Ocaña, Norte de Santander**

**Volmar Eduardo Carvajalino Bayona**

**Leiner José Ramos Calderón**

**Facultad Ciencias Agrarias y del Ambiente, Universidad Francisco de Paula Santander**

**Ocaña**

**Zootecnia**

**Msc. Alexis Aguilera Arango**

**Septiembre 2022**

## Índice

Resumen .....	10
Introducción .....	11
Capítulo 1: Identificación del valor nutricional en la etapa larvaria de la mosca soldado- negra (Hermetia illucens) a partir de sobras orgánicas en Ocaña, Norte de Santander.....	13
1.1 Planteamiento del problema.....	13
1.2 Formulación del problema. ....	14
1.3 Objetivos .....	14
1.3.1 Objetivo general.....	14
1.3.2 Objetivos específicos .....	15
1.4 Justificación .....	15
1.5 Delimitaciones .....	16
1.5.1 Delimitación Operativa.....	16
1.5.2 Delimitación Conceptual .....	17
1.5.3 Delimitación Geográfica.....	17
1.5.4 Delimitación Temporal .....	17
Capítulo 2. Marco Referencial.....	18
2.1. Marco histórico .....	18
2.2 Marco contextual .....	19
2.3 Marco conceptual.....	20

2.3.1 Bioterio .....	20
2.3.2 Entomología.....	20
2.3.3. Mosca soldado-negra .....	21
2.3.4 Díptero .....	21
2.3.5 Metamorfosis .....	21
2.3.6 Holometábolo.....	21
2.3.7 Larva .....	22
2.3.8 Sustrato .....	22
2.3.9 Economía circular .....	22
2.3.10 Proteína .....	23
2.3.11 Grasa .....	23
2.4 Marco teórico .....	23
2.4.1 Clasificación taxonómica.....	23
2.4.2 Origen .....	24
2.4.3 Generalidades de la especie .....	24
2.4.4 Ciclo de vida .....	25
2.4.4.1 Huevo.....	25
2.4.4.2 Larva. ....	26
2.4.4.3 Pupa.....	26
2.4.4.4 Adulto o imago. ....	27

2.4.5 Aspectos a considerar en la producción de insectos .....	28
2.4.6 Antecedentes teóricos .....	29
2.5 Marco legal .....	31
Capítulo 3. Diseño metodológico .....	33
3.1 Tipo de investigación.....	33
3.2 Población.....	33
3.3 Muestra .....	33
3.4 Recolección de la información.....	34
3.4.1 Análisis de laboratorio .....	34
3.5 Análisis de la información .....	34
3.6 Metodología .....	35
3.6.1 Tratamientos empleados .....	36
3.6.2 Realización de la harina .....	37
3.6.2.1 Sacrificio.....	37
3.6.2.2 Secado.....	38
3.6.2.3 Molido.....	38
3.6.2.4 Métodos de análisis.....	38
3.6.2.5 Materia seca.....	38
3.6.2.6 Materia seca definitiva.....	39
3.6.2.7 Cenizas.....	40

3.6.2.8 Extracto Etéreo.....	40
3.6.2.9 Proteína Bruta. ....	42
3.6.3 Caracterización de los sustratos.....	43
3.6.3.1 Determinación de materia seca general. ....	43
3.6.3.1.1 Pesaje. ....	44
Capítulo 4. Resultados.....	46
4.1 Parámetros productivos para la etapa de “cosecha” y producción de harina de la mosca soldado-negra.....	48
4.1.1 Huevos.....	48
4.1.2 Ganancia de peso.....	49
4.2 Análisis químico larvas y sustratos.....	53
4.3 Discusión.....	58
Capítulo 5. Conclusiones.....	64
Capítulo 6. Recomendaciones.....	65
Referencias.....	66
Apéndices.....	73

## Lista de tablas

Tabla 1. Clasificación taxonómica.....	23
Tabla 2. Tratamientos para usar en la investigación.....	36
Tabla 3. Cronograma de actividades.....	45

## Lista de figuras

Figura 1. Huevos de moscas soldado negra .....	25
Figura 2. Larvas L5 y L6 (prepupa) de <i>H. illucens</i> .....	26
Figura 3. Pupas de <i>H. illucens</i> .....	27
Figura 4. Adulto de <i>H. illucens</i> .....	28
Figura 5. Temperaturas registradas en el estudio.....	46
Figura 6. Humedad relativa registrada en el estudio.....	46
Figura 7. Ganancia de peso semanal por sustrato .....	49
Figura 8. Crecimiento semanal .....	50
Figura 9. Días hasta cosecha.....	50
Figura 10. Consumo de materia natural por semana.....	51
Figura 11. Eficiencia alimenticia .....	52
Figura 12. Materia seca.....	53
Figura 13. Materia mineral .....	54
Figura 14. Materia orgánica larvas .....	55
Figura 15. Extracto etéreo.....	56
Figura 16. Proteína bruta.....	57



### Lista de apéndice

<b>Apéndice A.</b> Apareamiento del imago de <i>H. illucens</i> .....	73
<b>Apéndice B.</b> Ovoposición de <i>H. illucens</i> .....	73
<b>Apéndice C.</b> Raspado de huevos de <i>H. illucens</i> .....	73
<b>Apéndice D.</b> Larvas L3 <i>H. illucens</i> en sustrato.....	74
<b>Apéndice E.</b> Lluvia de crías .....	74
<b>Apéndice F.</b> Disposición de tratamientos .....	75
<b>Apéndice G.</b> Pesaje de sustratos .....	75
<b>Apéndice H.</b> Pesaje de prepupas .....	75
<b>Apéndice I.</b> Medición de larvas de <i>H. illucens</i> .....	76
<b>Apéndice J.</b> Sacrificio de prepupas de <i>H. illucens</i> .....	76
<b>Apéndice K.</b> Pesaje de prepupas para determinar materia seca.....	77
<b>Apéndice L.</b> Secado de prepupas (Materia seca).....	77
<b>Apéndice M.</b> Molido de las muestras.....	78
<b>Apéndice N.</b> Harina de prepupa .....	78
<b>Apéndice O.</b> Prueba para determinación de extracto de etéreo .....	79
<b>Apéndice P.</b> Determinación de cenizas.....	79
<b>Apéndice Q.</b> Determinación de proteína.....	80

## Resumen

Esta investigación tiene como objetivo identificar el valor nutricional de la prepupa de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) alimentadas con sobras orgánicas y su efecto en parámetros productivos, para las condiciones locales. los tratamientos fueron T0, concentrado gallinas de levante, T1 residuos orgánicos, T2 gallinaza y T3 porquinaza. Quien presentó mejores características de materia seca, materia orgánica, extracto etéreo y proteína bruta fue el T1 reportando valores cercanos al T0.

## Introducción

La mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) se posiciona como una alternativa productiva, permitiendo obtener una proteína de alta calidad a partir de residuos orgánicos que, en su mayoría, son desechados por los diferentes sistemas productivos, debido a esto, representa una posible solución al problema de los costos de producción y, aunado a esto, a la creciente demanda de proteína animal, contribuyendo significativamente a una economía de tipo circular, ambiental y económicamente sostenible. Chirinos (2019) ha demostrado, entre otras bondades, ser una excelente degradadora de la materia orgánica, y a su vez, convertirla en una proteína de calidad, como alternativa alimenticia a los alimentos comerciales tradicionales cuyo costo es elevado.

Esta investigación tiene como objetivo identificar el valor nutricional de la harina de prepupa de la mosca soldado-negra (*Hermetia illucens*) alimentadas con diferentes sustratos orgánicos en Ocaña, Norte de Santander. Las larvas utilizadas en esta investigación fueron dispuestas en 4 tratamientos, cada uno compuesto por un sustrato orgánico (concentrado para ponedoras en etapa de levante, residuos orgánicos, gallinaza y porquinaza) en los cuales se evaluó el desarrollo de las larvas (peso y longitud) y se determinó las características abióticas favorables para el óptimo desarrollo de las mismas, una vez que las larvas alcanzaron la etapa de prepupa, fueron cosechadas, posteriormente, se practicaron los respectivos análisis de laboratorio (materia seca, extracto etéreo, materia mineral, proteína bruta, materia orgánica) con el fin de determinar, en cuál de los sustratos, las larvas obtuvieron una mejor composición química por medio de un diseño completamente aleatorizado.

Lo encontrado en este estudio puede ser utilizado como punto de referencia para posteriores investigaciones en el área de la alimentación con harina de insectos; se recomienda

realizar pruebas que permitan evaluar su digestibilidad, contenido de aminoácidos, aporte de energía, a fin de tener una mejor visión de las bondades o falencias a la hora de ser utilizada como alimento en especies menores.

## **Capítulo 1: Identificación del valor nutricional en la etapa larvaria de la mosca soldado- negra (*Hermetia illucens*) a partir de sobras orgánicas en Ocaña, Norte de Santander**

### **1.1 Planteamiento del problema**

El común denominador de las producciones pecuarias son los altos costos de producción, representados en mayor porcentaje, entre 60 y 70% en la alimentación de los animales. (Núñez- Torres, 2017) Por consiguiente, suponen la principal amenaza a la producción y por lo tanto, a la utilidad de la misma, porque afectan de manera negativa los márgenes de ganancia de los proyectos pecuarios, resultando en pérdidas de dinero a los productores además de una menor reinversión del capital adquirido, lo que se traduce en menor crecimiento del negocio, oportunidades de contratar personal operativo y beneficios para la empresa pecuaria en general. Por tal razón se hace necesario la búsqueda y aplicación de alternativas alimenticias, permitiendo la disminución de los costos representados en la alimentación de los animales. Principalmente se deben buscar opciones para suplir los requerimientos de proteína, ya que es la biomolécula de mayor importancia en la producción pecuaria y a su vez genera un mayor costo dentro de los alimentos concentrados, sin embargo, estas alternativas deben ser de buena calidad, seguras para el consumo por parte del animal, y deben asegurar el mantenimiento o, en su debido caso, el aumento de los rendimientos productivos. (Gutiérrez, 2005)

Una ventaja presentada en la producción de mosca soldado es su amplia alimentación, utilizando sobras orgánicas, material de desecho de casas, restaurantes, etc. Y su obtención es a bajo costo, porque estos materiales, en la mayoría de las veces, no son desechados de

manera adecuada por parte de esos lugares, lo cual puede ocasionar problemas sanitarios al ser un foco de crecimiento de ciertas plagas como insectos y roedores, vectores de varias enfermedades. (Salas, 2019)

La producción de la mosca soldado se presenta como una solución a tal problema, aprovechando eficientemente sobras orgánicas para su crecimiento y convirtiéndolas en un compost de muy buena calidad que puede aprovecharse como, reduciendo de esta manera la contaminación por el mal tratamiento de los desechos y contribuyendo al cuidado y conservación del medio ambiente; de este modo se permite la autosuficiencia, en el sentido de no ser dependiente de elementos externos como lo son los alimentos concentrados, que, en ocasiones, por razones inherentes a la producción (paros, derrumbes), puede verse afectada su obtención. Esta situación es muy evidente en esta zona, ya que Ocaña no cuenta con industrias dedicadas a la fabricación de alimentos concentrados a un nivel macro, por ende, dependen del flujo de estos insumos provenientes de otras partes del país.

## **1.2 Formulación del problema.**

¿En qué sustrato compuesto por desechos orgánicos, las prepupas de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) poseen un mayor valor nutricional?

## **1.3 Objetivos**

### ***1.3.1 Objetivo general***

Identificar el valor nutricional de la harina de prepupa de la mosca soldado-

negra (*Hermetia illucens*) alimentadas con diferentes sustratos orgánicos en Ocaña, Norte de Santander.

### ***1.3.2 Objetivos específicos***

Determinar características abióticas favorables para la producción óptima de mosca soldado-negra, en Ocaña.

Establecer parámetros productivos para la etapa de “cosecha” y producción de harina de la mosca soldado-negra.

Caracterizar la composición química de los sustratos utilizados.

## **1.4 Justificación**

A medida que la población mundial aumenta se requiere producir más alimentos a fin de suplir las necesidades, según Friedrich, (2014) se espera un aumento en la demanda para alimentos de origen animal en un 70% comparado con el año 2010. Razón por la cual aumentará proporcionalmente la demanda de alimentos empleados en la nutrición animal, dando lugar a la creación de nuevas fuentes para subsanar esta necesidad; en la actualidad los insumos utilizados en la alimentación animal son muy costosos, lo que conlleva a buscar nuevas alternativas a bajo costo, de alto valor nutricional y en pro de la conservación del medio ambiente. La alimentación con harina de larvas, supone una alternativa nutricional que ayudará a reducir los costos de alimentación, debido a que es un insecto que aprovecha de muy buena manera las sobras orgánicas. Según Giraldo, et al. (2019) la conversión de materia orgánica con el uso de organismos ha tenido un amplio desarrollo en las últimas décadas, por su parte Londoño, et al. (2019) señala que los insectos se posicionan como una

gran alternativa debido a sus características para alimentarse de los residuos orgánicos y un ciclo de desarrollo rápido.

La mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) es una especie de insecto promisorio, debido a sus diversas bondades productivas; dentro de estas bondades se destacan su alto contenido de proteína y grasas, conservando valores proteicos entre 38,55% y 62,7% , además posee un corto ciclo de vida entre 42.18 a 77.67 días según el sustrato y la temperatura como lo citaron Figueredo y Albarracín (2021) lo que, aunado al número importante de huevos que puede depositar una hembra, el cual es, en promedio, 600 huevos tal como lo menciona Giraldo, et al. (2019), permite obtener una mayor cantidad de biomasa larvaria en un tiempo más corto, una particularidad que hace destacar a la mosca soldado negra por encima de otras especies de insectos es su alta resistencia a enfermedades. (Figueredo & Albarracín, 2021)

Con este proyecto se podrá adquirir nuevos conocimientos acerca de especies de insectos como alternativas viables en la nutrición animal, además de sentar bases de cría y reproducción, para las condiciones abióticas (medioambientales) dadas en el municipio de Ocaña Norte de Santander brindando aportes necesarios para el establecimiento y adecuación de una pequeña planta productora de larvas. Así mismo servirá de punto de referencia para la realización de estudios posteriores a cerca de dietas entomológicas, en los cuales se evalúe su aporte nutricional para las especies en las que sea empleada como alimento, sus bondades productivas, la degradación de residuos y el establecimiento de su ciclo de vida. .

## **1.5 Delimitaciones**

### ***1.5.1 Delimitación Operativa***



Se realizó la adecuación del espacio disponible (Bioterio) para la cría y reproducción de la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*), con el fin de tener un seguimiento continuo y controlado de todas las fases del ciclo de vida de la misma, se cuenta con profesionales de apoyo que operan en las áreas requeridas en este estudio, como lo son el laboratorio de nutrición animal, el cual prestó su servicio para los análisis (bromatológicos), laboratorio de lácteos y cárnicos el cual proveyó las sobras orgánicas.

### ***1.5.2 Delimitación Conceptual***

En la presente investigación se trataron conceptos como: sobras orgánicas, fases larvianas, condiciones climatológicas, pie de cría, transformación del sustrato, autosuficiencia, economía circular.

### ***1.5.3 Delimitación Geográfica***

La presente investigación se llevó a cabo en Ocaña Norte de Santander, específicamente en el bioterio de la Universidad Francisco de Paula Santander, con latitud 8.233 y longitud -73.35, la zona cuenta con una precipitación pluvial anual de 1162 mm, está ubicada a 1200 msnm, cuenta con una humedad relativa del 70% y una temperatura media de 21°C - 25°C, caracterizado como un bosque seco tropical.

### ***1.5.4 Delimitación Temporal***

La presente investigación se desarrolló en el segundo semestre del año 2022, se realizaron 2 cosechas de larvas de mosca soldado negro para su posterior estudio.

## Capítulo 2. Marco Referencial

### 2.1. Marco histórico

La utilización de los insectos como fuente de alimento es un hecho que ha tenido lugar a lo largo de la historia del ser humano, encontrándose evidencias de su utilización por parte de los primeros homínidos, por tal razón se puede afirmar que los insectos han sido aprovechados por los humanos desde épocas de antaño, otro ejemplo de esta afirmación se encuentra en la obra *Historia Animalium* (384-322 a.C.) de Aristóteles, en la cual se precisa el consumo de cícadas. (Prósper, 2020)

En la actualidad los gusanos de la harina y las hormigas son aperitivos populares en Asia y en América del Sur, en estos continentes, el consumo de insectos hace parte regular de la dieta de sus pobladores. (Costa-Neto & Dunkel, 2016)

El consumo de insectos complementa la dieta de alrededor de 2 mil millones de personas en el mundo, un hábito que siempre ha estado presente en la alimentación humana. Sin embargo, hasta hace poco tiempo, la entomofagia no era un tema de atención para los medios de comunicación, institutos de investigación, cocineros y demás en la industria de los alimentos ni de otros organismos que se encargan de la nutrición humana y animal. (FAO, 2018)

La mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) pertenece a la familia Stratiomyidae, nativa de las zonas tropicales y subtropicales con climas templados a cálidos del continente americano. (Makkar et al., 2014)

De este insecto se han realizado un gran número de estudios en varias partes del mundo, en

países como India, África, Suiza, Bolivia, México, Ecuador, entre otros; debido a que las larvas de *H. illucens* presentan una alta resistencia a condiciones ambientales adversas (luz, temperatura, humedad), soportando temperaturas menores a los 10 °C. Su alimentación es a bajo costo, porque principalmente se utilizan desechos orgánicos que las larvas de la mosca aprovechan de una excelente manera. (Barragan-Fonseca, et al., 2017; Romero, 2022)

En el contexto nacional, se encuentra información acerca de estudios realizados con la mosca soldado negro pero a un nivel no industrial, no es conocida ninguna tecnología o maquinaria para este fin, como lo señala Cabrera y Lopez (2021), razón por la cual este campo requiere una mayor investigación y formación en los temas relacionados al establecimiento de lugares o planteles adecuados para la implementación del ciclo de la mosca, como una alternativa productiva que permita además de la obtención de una proteína de buena calidad, una contribución a la degradación de los desechos orgánicos, dándoles a estos un valor agregado.

## **2.2 Marco contextual**

Este trabajo investigativo se llevará a cabo en la granja experimental de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, que se encuentra aproximadamente a 3 km del casco urbano del municipio de Ocaña, tiene su ubicación en la parte nororiental del territorio nacional, en el departamento de Norte de Santander, a una altura de 1150 msnm, con una temperatura promedio de 23°C y humedad relativa promedio de 70%. La granja cuenta con 6 proyectos productivos cuyo objetivo principal es reforzar la academia y los conocimientos prácticos para la formación de profesionales idóneos en las diferentes áreas del sector agropecuario, además de su política de extensión rural, mediante la cual se brinda

asistencia técnica a los productores de la región. Dentro de las instalaciones de la granja se cuenta con un espacio denominado bioterio, que cuenta con una georreferenciación en las coordenadas N 8°23'95.5" W 73°32'12.7", el cual se destina para la cría y reproducción de especies entomológicas como lo son, *Acheta domesticus*, *Blaptica dubia*, *Tenebrio molitor*, *Zophobas morio* y, por último, la especie de importancia para la presente investigación, la mosca soldado negro (*Hermetia illucens*).

## **2.3 Marco conceptual**

### **2.3.1 Bioterio**

Un bioterio es un lugar en el cual residen animales con características fenotípicas y genotípicas establecidas, en este sitio se crían, se mantienen y se experimenta con animales para fines investigativos; en estos sitios es de suma importancia tener un control de las variables ambientales tales como temperatura, humedad, luz, ya que estos aspectos influyen en el comportamiento y, por lo tanto, en su fisiología. (Rivera, 2015)

### **2.3.2 Entomología**

La entomología (del griego Entomon = insecto y logos = tratado), es una rama de la zoología que estudia los insectos, esta señala la importancia de estudiarlos desde el punto de vista del ser humano, con el fin de encontrar sus beneficios e identificar aquellos que resultan ser perjudiciales. (De la cruz, 2006)

### **2.3.3. Mosca soldado-negra**

La mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) es un insecto de la orden díptera, pertenece a la familia Stratiomyidae, nativa de las zonas tropicales y subtropicales con climas templados a cálidos del continente americano. (Makkar, et al., 2014)

### **2.3.4 Díptero**

Son un orden de insectos neópteros en los que se incluyen las moscas y mosquitos, se caracterizan porque sus alas posteriores se han reducido a unos órganos que no se utilizan para volar, sino para generar estabilidad y darle dirección en el vuelo. (Huaripata & Carrasco, 2022)

### **2.3.5 Metamorfosis**

La palabra metamorfosis (del griego *metá* = cambio y *mōrphósis* = forma) significa cambio de forma y sugiere todos aquellos cambios sucedidos tanto interna como externamente hasta llegar a una fase final. (Costa et al., 2006)

### **2.3.6 Holometábolo**

Los insectos holometábolos son aquellos que tienen una metamorfosis completa, es decir,

pasan por las fases de embrión, larva, prepupa, pupa e imago (adulto). (De la cruz, 2006)

### ***2.3.7 Larva***

Es una etapa de desarrollo en muchos animales que tiene lugar después del nacimiento o la eclosión y antes de la forma final adulta. (Huaripata & Carrasco, 2022)

### ***2.3.8 Sustrato***

Son todos los materiales sólidos o soportes físicos distintos del suelo, que pueden ser de tipo natural, sintéticos o residuales, minerales u orgánicos, que, introducido puro o en mezclas en recipientes, tierra o contenedores, provee y favorece el anclaje de las raíces de las plantas, su funcionamiento y soporte y del cual se extraen los nutrientes. (Sembralia, 2021)

### ***2.3.9 Economía circular***

La economía circular es un modelo que consiste en sustituir la economía lineal basada en usar y desechar, por una de tipo cíclico en la cual los residuos puedan ser aprovechados y reutilizados en el sistema para que puedan ser transformados en recursos, para hacer de la economía sostenible y sustentable medioambientalmente, mejorando la gestión de los recursos y reduciendo su extracción y por lo tanto la contaminación. (Chaves & Monzón, 2018)

### **2.3.10 Proteína**

Las proteínas son macronutrientes necesarios para el crecimiento y mantenimiento de las estructuras humanas, son los principales componentes estructurales y funcionales de las células y tienen muchas funciones importantes en el cuerpo, desde la catálisis (enzimas) hasta funciones en el movimiento corporal (actina y miosina), a través de su acción mecánica (elastina, colágeno), transporte y almacenamiento (hemoglobina, mioglobina, citocromo), protección (anticuerpos), regulación (hormonas), entre otras. (Martínez & Martínez de Victoria, 2006)

### **2.3.11 Grasa**

La grasa constituye la reserva energética más importante del organismo, aportando 9 kcal por gramo (Kcal/g), transporta vitaminas de tipo liposoluble y están presentes en multitud de alimentos. Asimismo, tienen funciones fisiológicas, inmunitarias y estructurales. (Cabezas-Zábala, et al., 2016)

## **2.4 Marco teórico**

### **2.4.1 Clasificación taxonómica**

**Tabla 1.**

*Clasificación taxonómica*

Reino	Animalia
Filo (Insectos, arácnidos y crustáceos)	Artrópoda

Subfilo (Hexápodos)	Hexápoda
Clase	Insecta
Subclase (insectos alados)	Pterigota
Orden (Moscas y mosquitos)	Díptera
Suborden	Brachycera
Infraorden	Orthorrhapha
Familia (moscas soldado)	Stratiomyidae
Subfamilia	Hermetiinae
Género	Hermetia
Especie	Illucens

---

Nota. (Cabrera & Lopez, 2021)

### ***2.4.2 Origen***

La mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) es nativa de los neotrópicos, aunque actualmente se han encontrado en zonas más cálidas del mundo, son originarias de América y se han introducido en regiones tropicales y templadas cálidas (entre 45° N y 40 ° S) (Cabrera & López, 2021). Las migraciones humanas y el comercio de mercancías han contribuido a su dispersión. (Caruso et al., 2014)

### ***2.4.3 Generalidades de la especie***

La mosca soldado negro (*H. illucens*) es de apariencia elegante y comúnmente es confundida con una avispa, debido a su tamaño y su forma alargada y delgada. Está, a comparación de la avispa, solo cuenta con dos alas y no posee aguijón. (Díclaro & Kaufman, 2009)

Es un insecto Holometábolo, porque presenta una transición del estado de larva a su etapa adulta después de haber pasado por un estado de ninfa resultando en una transformación completa. Su reproducción es mediante oviposición, esta especie deposita sus huevos en forma



de pseudo-ootecas, es una masa de huevos sin membrana externa que los contenga, al nacer, sus larvas son de color crema y su color va cambiando a amarillo a medida que crecen, hasta llegar a un color marrón; este insecto, no es considerado como una plaga, por lo tanto, no aparece en la lista de organismos portadores de enfermedades o vectores para patógenos. (Caruso, et al., 2014)

## 2.4.4 Ciclo de vida

### 2.4.4.1 Huevo.

Los huevos de *H. illucens* son de forma ovalada y cada uno mide alrededor de 1mm de largo, estos varían en color blanco o crema, hasta amarillo pálido. Las larvas tienen un periodo de incubación de aproximadamente 4 días a una temperatura entre 27 y 29 °C y 3,5 días a 30°C. Después del apareamiento (**Ver apéndice A**), las hembras ponen alrededor de 600 huevos en grietas o fisuras cerca de una fuente de materia orgánica en descomposición, ya que estas se ven atraídas a este tipo de lugares. (Bondari & Sheppard, 1987; Tomberlin, et al., 2002)

### Figura 1.

*Huevos de moscas soldado negra*



*Nota.* En la figura muestra los huevos de mosca soldado negra

#### 2.4.4.2 Larva.

Las larvas nacen entre 4 y 6 días después de la oviposición (**Ver apéndice B**), midiendo aproximadamente un milímetro de largo; crecen rápidamente y se caracterizan por seis estadios larvales (L1, L2, L3, L4, L5 y prepupa), estas se desarrollan a través de los 6 estadios larvales en dos semanas, a 24°C; sin embargo, la duración de este periodo se puede extender por las bajas temperaturas y la falta de alimento. Las larvas miden hasta 3 cm de longitud, son opacas y blanquecinas, con quetas (pelos) característicos tanto en el lado ventral como en el dorsal. En la fase final de su crecimiento, las larvas abandonan su lugar de desarrollo en busca de un lugar seco y protegido, esta etapa recibe el nombre de prepupa (la sexta etapa larvaria). (Chirinos, 2019; Diclaro & Kaufman, 2009; Furman, et al., 1959)

#### Figura 2.

*Larvas L5 y L6 (prepupa) de H. illucens*



*Nota.* En la figura muestra las larvas L5 y L6 (prepupa) de *H. illucens*

#### 2.4.4.3 Pupa.

La pupa es de color negro, idéntica a las prepupas, conserva la última capa de piel del último estadio y se caracteriza por su visible inmovilidad. Unas dos semanas después del estado

pupal, emerge el insecto adulto o imago, este provoca un desgarro de la piel externa de la pupa en la zona vertical dorsal. Esta etapa puede durar de 10 a 14 días o más dependiendo de las condiciones medioambientales. (Salas, 2019)

### **Figura 3.**

*Pupas de H. illucens*



*Nota.* En la figura muestra las pupas de *H. illucens*

#### **2.4.4.4 Adulto o imago.**

Visualmente la mosca adulta puede variar entre un color negro, azul y verde, en ocasiones con un aspecto metálico, por su apariencia es comúnmente confundida con una avispa. Estos miden de 13 a 20 mm de longitud y poseen dos largas antenas y un par de alas bien diseñadas ubicadas en el primer segmento torácico, con 3 pares de patas con tarsos de color blanquecino o amarillo. (Cabrera & Lopez, 2021; Caruso, et al., 2014)

Los machos son más pequeños que las hembras, señala Tomberlin, et al. (2002) y una diferencia anatómica puede observarse en el último segmento abdominal, las hembras tienen un oviducto tubular retráctil y los machos poseen un edeago (órgano copulador de los insectos macho) con un par de “ganchos” que le permite adherirse al aparato reproductor de la

hembra durante la cópula. (Caruso, et al., 2014)

Los adultos no se alimentan, por esta razón, dependen únicamente de las reservas acumuladas durante la fase larvaria. (Newton, et al., 2005)

Su etapa adulta no dura mucho tiempo, ya que, en promedio, tienen un periodo de vida de 5 a 8 días, en los que su único objetivo es aparearse y poner sus huevos como lo expresa Aliaga (2019), sin embargo, los adultos con acceso al agua pueden vivir poco más de 14 días. (Tomberlin, et al., 2002)

#### **Figura 4.**

*Adulto de H. illucens*



*Nota.* La figura muestra el Adulto o imago de *H. illucens*

#### ***2.4.5 Aspectos a considerar en la producción de insectos***

De acuerdo con la FAO (2018) deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos para proteger las poblaciones de insectos en el entorno natural:

- Consultar la dieta y los medios de vida de la población local en la gestión y la conservación del hábitat natural de los insectos. Permitir la recolección sostenible de insectos comestibles a manos de la población local en zonas por lo demás protegidas.

- Regular el uso de plaguicidas para evitar la acumulación biológica de contaminantes en la cadena alimentaria.
- Desarrollar métodos para controlar los niveles de recolección de modo que las poblaciones de insectos beneficiosos no se vean amenazadas.
- Integrar en la medida de lo posible sistemas para la domesticación total o parcial de los insectos, con vistas a suplementar los insectos capturados mediante la recolección silvestre y a proporcionar un suministro continuo cuando las poblaciones silvestres fluctúan en función de la temporada.
- Evitar la liberación de especies no endémicas de insectos domesticados en entornos naturales.

#### ***2.4.6 Antecedentes teóricos***

Hace ya varias décadas se han venido haciendo estudios para demostrar la viabilidad de la harina de Mosca soldado negra como fuente proteica para la alimentación animal. Ejemplo de esto es el estudio hecho por Hale (1973), en el cual estudió la posibilidad de la utilización de la larva de *H. illucens* como suplemento nutricional para aves de postura y concluyó que la harina mostró valores entre el 35% y el 42% de proteína con base en su materia seca.

Makkar, et al. (2014) señalaron que las larvas de *H. illucens* poseen entre 40 y 44% de proteína cruda (PC) y que, aunado a esto, las larvas son una buena fuente de grasa, alcanzando el 50% dependiendo de la dieta. Además de contener buenos niveles de calcio (5-8% MS) y fósforo (0,6 – 1,5 MS). (Govaerts, 2018)

Por su parte Barragan-Fonseca, et al. (2017); Wang y Shelomi (2017) (como se citó en Giraldo, et al. 2019) Afirman que las larvas y las prepupas contienen alrededor de 62% de proteína cruda y hasta 39% de grasa, con la particularidad de que no almacenan pesticidas o micotoxinas.

En el estudio de Tovar (2021) las larvas alimentadas con estiércol y residuos de cultivos y comida alcanzan a tener un 42% de proteína y 35% de grasas aproximadamente, Conjuntamente, ciertos autores han reportado valores de 5139 Kcal ME/kg con base en materia seca y un nivel de 0,9% de metionina, con un alto contenido de calcio y ácidos grasos mono y poliinsaturados.

Para aves de postura Figueredo y Albarracín (2021) señalan que la implementación de la harina de *H. illucens* como aditivo alimenticio representa una ventaja nutricional para las aves, en su estudio esta no presentó alteraciones en los parámetros zootécnicos, ni en la calidad del huevo en paralelo con la harina de soya. Agregan la necesidad de hacer más ensayos para determinar el nivel óptimo de inclusión de la harina de mosca soldado para reducir la dependencia de la harina de soja.

En pollos de engorde, se concluyó que la harina de *H. illucens* puede suministrarse en cualquier etapa de su ciclo productivo, pudiendo reemplazar la harina de soya hasta en un 100% sin mostrar diferencias significativas en los parámetros zootécnicos. Sin embargo, en estudios como el de Brede, et al. (2018) se demostró que la harina es deficiente en aminoácidos sulfurados y recomiendan la suplementación de estos. Neumann, et al. (2018) en su estudio incluyó harina de *H. illucens* para la alimentación de cerdos destetos y de levante y concluyó que con valores inferiores al 25% de inclusión de la harina en la dieta de estos, se obtuvo resultados positivos en cuanto a digestibilidad y conversión alimenticia. También

señaló que, la adición de los aminoácidos carentes en la harina permitiría niveles de inclusión mayores, que puedan traer las ventajas productivas observadas en otras especies.

En peces Figueredo y Albarracín (2021) encontraron resultados satisfactorios de la inclusión de la harina de *H. illucens* en alimentación de especies de la familia salmonidae, como lo son la trucha y el salmón, alcanzando niveles de reemplazo de la harina de pescado hasta de un 50% en truchas y de hasta un 100% en salmones sin presentar alteraciones en la eficiencia productiva de los mismos. En contraste, a niveles de inclusión superiores al 50%, se observaron efectos fisiológicos desfavorables evidenciados en el aspecto zootécnico de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) por lo que no se recomienda superar este nivel de inclusión.

## **2.5 Marco legal**

La resolución 061252 del 03 de febrero de 2020 "Por medio de la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para el registro de los fabricantes e importadores de alimentos para animales, así como los requisitos y el procedimiento para el registro de alimentos para animales y se dictan otras disposiciones". Artículo 4. Se explica que toda persona que fabrique o importe alimentos para animales debe registrarse ante el ICA siguiendo el protocolo descrito en el artículo y debe cumplir con las buenas prácticas de Manufactura de Alimentos para animales. El artículo 13 establece que todo alimento para animales que se produzca para comercializarse debe ser registrado ante el ICA. Se aclara en el artículo 15 que los alimentos para animales fabricados para autoconsumo (no comercializados) y las materias primas empleadas para la elaboración de estos, están exentos de registro.

En la ley 1900 de 2019 por la cual se crea la política para prevenir la pérdida y el desperdicio de alimentos, en el Artículo 3, reza que una de las acciones a tener en cuenta a la hora de reducir las pérdidas y desperdicios de alimentos, es emplearlos para la alimentación animal.

Las normas anteriormente expuestas van encaminadas hacia la alimentación animal, las consideraciones que deben ser tenidas en cuenta a la hora de fabricar y suministrar alimentos a los animales y el aprovechamiento de los residuos orgánicos para la alimentación de los mismos. No se encontró registros de alguna ley o normativa que denotara específicamente la utilización de los insectos para la alimentación animal, esto se atribuye a los pocos estudios o proyectos realizados con insectos como alternativa alimenticia, sin embargo, esto puede cambiar en un futuro, debido a la alta demanda de proteína tanto para consumo humano como animal, y la necesidad de aprovechar y darle un debido tratamiento a los residuos orgánicos y las materias primas de descarte.



## Capítulo 3. Diseño metodológico

### 3.1 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, porque se centró en buscar una alternativa que permita subsanar el problema de los altos costos en la alimentación animal. Según Lozada (2014) La investigación aplicada busca la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector productivo.

Se desarrolló mediante un enfoque cuantitativo. El enfoque cuantitativo utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente, y confía en la medición numérica, el conteo y frecuentemente en el uso de la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento en una población. (Hernández, et al., 2014)

### 3.2 Población

Para la realización de esta investigación se utilizaron larvas de mosca soldado negra reproducidas y criadas en el bioterio de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

### 3.3 Muestra

La muestra estuvo compuesta de larvas de mosca soldado negra en etapa de prepupa (L6).

### **3.4 Recolección de la información**

En cuanto a la recolección de la información, se realizó mediante la toma de datos en campo, tomando los registros de temperatura y humedad relativa, a diario, durante 2 meses aproximadamente. Además de la toma del peso de las larvas al inicio y al finalizar la etapa, es decir, cuando estas alcancen el estado de prepupa.

#### ***3.4.1 Análisis de laboratorio***

Se obtuvo a partir de los procesos realizados en laboratorio para la determinación de la composición química de la harina de prepupa de *H. illucens*, se realizaron pruebas correspondientes al análisis químico proximal, tanto de los sustratos utilizados en el estudio, como para las larvas que componen el mismo. Este consta de la determinación de materia seca, extracto etéreo, proteína cruda y cenizas.

### **3.5 Análisis de la información**

Se estableció un diseño completamente al azar (DCA) y se realizó un análisis de varianza (ANOVA), comparando entre sí, los 4 tratamientos y evaluando las diferencias entre los mismos por medio de la prueba de Tukey. Todo esto evaluado en el programa de análisis estadístico SPSS, con el objetivo de determinar si existen diferencias significativas en los tratamientos, y de este modo, establecer cuál de ellos tendrá un mejor desempeño.

Partiendo del modelo estadístico correspondiente al Diseño completamente al azar:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij} \text{ Dónde:}$$

$Y_{ij}$  = Variable en respuesta en la j-ésima repetición del i-ésimo

tratamiento  $\mu$  = Media general

$T_i$  = Efecto del tratamiento

$E_{ij}$  = Error aleatorio, donde  $E_{ij} \sim$

N Se plantean las hipótesis:

$H_0$ : Existen diferencias significativas entre los grupos tratados.

$H_a$ : No existen diferencias significativas entre los grupos tratados.

### 3.6 Metodología

Las larvas empleadas para el desarrollo de la presente investigación fueron obtenidas de la unidad productiva del bioterio, ubicado en la granja experimental de la Universidad Francisco de Paula Santander, como primer paso, se hizo la colecta de los huevos de *H. illucens* depositados por las moscas adultas en las “trampas”, posteriormente, los huevos fueron raspados de las trampas (**Ver apéndice C**) y dispuestos en un tubo con una malla de (1) mm en uno de sus extremos, en lo que se conoce como la técnica de “lluvia de crías” (**Ver apéndice E**). Los tubos con los huevos fueron colocados en recipientes con una cantidad de alimento concentrado de levante para gallinas ponedoras, que funciona como preiniciador por sus propiedades nutricionales, al cual se le adiciona agua para aumentar la humedad del sustrato y permitir una mejor eclosión y desarrollo de los primeros días de vida de las larvas. Se utilizó este alimento como preiniciador debido a que, como lo señalan Muñoz y Parada (2022) se hace necesario y es de suma importancia alimentar a las larvas con sustratos especiales que contengan un alto

contenido proteico, durante los primeros cinco días de vida, con el fin de garantizar una tasa alta de supervivencia una vez que estas eclosionen.

Las larvas tardaron entre 4 – 6 días para su eclosión, luego de eclosionadas, se esperó 5 días para que las larvas tuvieran un desarrollo primario en el sustrato y pudieran llegar a un tamaño considerable permitiendo su conteo. Una vez cumplidos los 5 días de eclosionadas, el sustrato fue tamizado y se separaron las larvas, posteriormente se pesaron los (5-dol) para ser dispuestos en cada tratamiento.

La medición y el pesaje se realizaron al inicio y al final del periodo productivo, empleando un pie de rey para determinar su longitud. (**Ver apéndice I**).

### ***3.6.1 Tratamientos empleados***

Para el desarrollo de la presente investigación, se estableció un total de 4 tratamientos, cada tratamiento corresponde a un tipo de residuo de desecho, al que se denomina sustrato, exceptuando el tratamiento control (residuo de balanceado para gallinas ponedoras).

El tratamiento 0 o tratamiento control, fue constituido por residuo de balanceado para gallinas ponedoras en etapa de levante; el tratamiento 1 o T1, estuvo compuesto por residuos de comida del restaurante de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña; a su vez, el tratamiento 2 o T2, se compuso de estiércol de aves, o gallinaza y, por último, el tratamiento 3 o T3, fue constituido por estiércol de cerdo, o porquinaza. Cada tratamiento tuvo un total de 3 repeticiones (réplicas) y cada réplica consta de 75 gramos de larvas, las cuales se alimentaron de cada sustrato hasta que alcanzaron la etapa de prepupa o L6.

**Tabla 2.**

*Tratamientos para usar en la investigación*

T0	R1
Residuo de balanceado	R2
	R3
T1	R1
Residuos de comida	R2
	R3
T2	R1
Gallinaza	R2
	R3
T3	R1
Porquinaza	R2
	R3

### **3.6.2 Realización de la harina**

#### **3.6.2.1 Sacrificio.**

Una vez recolectadas las prepupas de cada tratamiento, estas se llevaron a sacrificio por un método conocido como “Blanqueamiento” que consiste en un choque térmico por el cual las larvas son sumergidas en agua hirviendo. En respuesta a los cambios de temperatura, las larvas vacían parte de su contenido intestinal, este procedimiento ayuda a eliminar los residuos parcialmente digeridos que puedan contener las larvas en su aparato digestivo. Según Buitrago y Camargo (2022) en el proceso de blanqueamiento se debe calentar el agua hasta los 90° C y, posteriormente sumergir las larvas durante 1 minuto, una vez pasado este tiempo, las larvas deben ser retiradas del agua. Se debe hacer el recambio del agua dependiendo del número de larvas que se quieran sacrificar, porque como se mencionó, éstas limpian sus intestinos (**Ver apéndice J**). Posterior a esto, las larvas se llevaron a pesaje (**Ver apéndice H**).

### **3.6.2.2 Secado.**

Una vez se obtienen las larvas sacrificadas, el paso siguiente es el secado de las mismas, este proceso de secado o también denominado proceso de deshidratación (**Ver apéndice L**), consiste en evaporar el agua lentamente en un horno de secado, esto se hace a una temperatura de 65°C durante 24 horas de manera constante. (Buitrago & Camargo, 2022)

### **3.6.2.3 Molido.**

Para el molido de la muestra, se trituró la misma hasta alcanzar un tamaño de partícula medio (1 mm aproximadamente) (**Ver apéndice M**). Y de este modo se obtuvo la harina (**Ver apéndice N**).

### **3.6.2.4 Métodos de análisis.**

Los análisis bromatológicos se realizaron en el laboratorio de nutrición animal de la Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña. A continuación, se describe cada paso

### **3.6.2.5 Materia seca.**

La determinación de materia seca, o más concretamente de humedad, es probablemente el análisis más realizado en los laboratorios de nutrición y es muy importante porque la concentración de nutrientes es generalmente expresada con base en la materia seca. (Apráez

Guerrero, 2020)

El procedimiento empleado para la determinación de materia seca consta en primer lugar, del pesaje del recipiente que va a contener la muestra, acto seguido, se tara la balanza y se pesan 200 gr de la muestra, posteriormente, se lleva el recipiente con la muestra a la estufa de secado por 48 horas a una temperatura constante de 65° C. Cumplido este tiempo, la muestra debe ser retirada de la estufa y dejada enfriar en desecador durante 15 a 30 minutos, al cabo de ese tiempo, se toma el peso de la muestra. (AOAC, 1990)

Se efectúa la siguiente fórmula con los datos obtenidos:

$$\%MS = \frac{(T+MS\ 65\ ^\circ C)-T}{MF} \times 100$$

En donde:

T=peso del recipiente

MS=peso muestra seca

MF=peso muestra fresca

### **3.6.2.6 Materia seca definitiva.**

El procedimiento correspondiente a la determinación de materia seca definitiva es exactamente igual que el descrito en el punto anterior, con la única diferencia que, la temperatura de la estufa de secado debe estar a 105°C durante 12 horas y se aplica la fórmula:

$$\%MS\ definitiva = \frac{(T+MS\ 105\ ^\circ C)-T}{MF} \times 100$$

### 3.6.2.7 Cenizas.

Ceniza o material mineral es el residuo resultante de eliminar toda la humedad y materia orgánica que se ha incinerado en una mufla a 550°C.

Como primer paso, se deben secar los crisoles en una estufa de secado a 105° C por 30 minutos, seguidamente, se llevan los crisoles a un desecador para que se enfríen durante 30 minutos, al cabo de este tiempo, se registra el peso de los crisoles y se tara la balanza para luego pesar 5 gr de la muestra. Una vez hecho esto, se llevan los crisoles a la mufla a una temperatura de 550°C durante 6 horas. Al cumplirse este tiempo se retiran los crisoles de la mufla y se llevan a enfriar en desecador durante 15 – 20 minutos. (AOAC, 1990) (**Ver apéndice O**).

Después de registrar su peso se aplica la fórmula:

$$\%CEN = \frac{(T + CEN) - T}{MF} \times 100$$

En donde:

T= peso del recipiente

CEN= peso cenizas

MF= peso muestra fresca

### 3.6.2.8 Extracto Etéreo.

Los extractos de éter o grasas crudas son compuestos insolubles en agua que son más solubles en éter, cloroformo, benceno u otros solventes. En el análisis proximal de los



alimentos siempre se mencionan los extractos etéreos ya que incluyen carbohidratos, vitaminas o algunos lípidos de escaso valor práctico además de los lípidos reales (fosfolípidos, glicolípidos, etc.), De ahí el nombre común de extracto etéreo.

El procedimiento aplicado para la determinación de extracto etéreo empieza con el secado de los balones de fondo plano en estufa de secado a 105° C durante una hora, al margen de esto, se pesa 3 gramos de muestra y se cubre con un papel filtro. Una vez cumplido el tiempo de secado se sacan los balones de la estufa y se llevan a enfriamiento en desecador durante 15 – 20 minutos, al cabo de este tiempo, se pesan los balones y se llevan a al extractor soxhlet, se pone la muestra dentro del cuerpo del extractor, después se vierten 250 ml de éter de petróleo y se acopla a la plancha de calentamiento, posteriormente se enciende la plancha a una temperatura de hasta 60 °C y se sifonea durante 4 horas hasta que el éter recircule totalmente transparente y se recupera el éter contenido en el cuerpo central. Una vez hecho esto se llevan los balones a la estufa de secado durante una hora a una temperatura de 65° C. Al cabo de este tiempo, se retiran los balones y se dejan enfriar durante 15 minutos para luego registrar su peso (AOAC, 1990)

**(Ver apéndice P).**

Se aplica la siguiente fórmula:

$$\%E.E = \frac{(T + \textit{grasa}) - T}{MF} \times 100$$

En donde:

T= peso del balón

Grasa = peso del balón después del procedimiento

MF= peso muestra fresca

### 3.6.2.9 Proteína Bruta.

La proteína bruta o materia nitrogenada total (NTM) se determina mediante el método Kjeldahl propuesto en 1883. Debido a su estructura basada en aminoácidos independientes, el contenido de nitrógeno de las proteínas varía dentro de un rango muy angosto (de 15% a 18% y más, en promedio 16%). Para el análisis del contenido de proteína total o "proteína bruta", el contenido de nitrógeno generalmente se determina después de eliminar los compuestos orgánicos con ácido sulfúrico, y el contenido de proteína finalmente se calcula por un factor (generalmente 6,25). Una vez determinado el contenido de nitrógeno de la muestra, se multiplica por el factor de corrección.

$$\% \text{ proteína} = \% \text{ de N} * 6.25$$

Digestión, destilación y titulación son las tres etapas que componen el método para determinar el contenido de nitrógeno en la materia orgánica, además de los compuestos no nitrogenados y el nitrógeno proteico.

Para la realización de este procedimiento se requieren de 0,2 gramos de muestra que deben disponerse en el tubo de digestión, agregando 1,2 gramos de la mezcla digestora y 5 ml de ácido sulfúrico. Posterior a esto, se agita el tubo para mezclar la muestra, seguido, se colocan los tubos en el bloque digestor, iniciando a una temperatura de 100° C y subiendo gradualmente hasta alcanzar los 400° C. Generalmente el tiempo de digestión tiene duración de 4 horas dependiendo de la muestra y que finaliza cuando la muestra esté reverdecida (caliente) o azulada (fría). Una vez terminado este proceso (**Ver apéndice Q**), se dejan enfriar los tubos para luego realizar el proceso de destilación (AOAC, 1990).

Se aplica la fórmula:

$$\% \text{Proteína bruta} = \frac{V * Fc * 0,00028 * 6,25}{PA} \times 100$$

V = volumen de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> gastado en la titulación.

Fc= Factor de corrección del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

PA= peso de muestra seca en gramos

6,25 = Factor de conversión de Nitrógeno en proteína 0,00028 = equivalente del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> correspondiente al Nitrógeno

### ***3.6.3 Caracterización de los sustratos***

Se les realizaron a los diferentes sustratos los análisis de laboratorio anteriormente descritos.

#### **3.6.3.1 Determinación de materia seca general.**

El proceso de determinación de la materia seca se realizó con base en 200 larvas en etapa de prepupa, ya que las larvas de esta etapa contienen una cantidad alta de proteína, tal y como lo señala Mutafela, (2015) Además, en el estadio prepupal, las larvas tienen una biomasa rica en proteínas (>40%) y lípidos (>30%). Por tal razón, las larvas empleadas para los estudios corresponden a esta etapa.

Las 200 prepupas fueron pesadas en balanza analítica, arrojando un peso vivo de 28,10 gramos, posteriormente, se realizó el sacrificio y a continuación, su secado para su respectivo pesaje, cuyo resultado fue de 10,66 gramos en base seca.

Una vez obtenidos estos datos, se desarrolló la fórmula para la determinación de materia seca (MS)

$$\% \text{MS} = \frac{(T + MS_{65^\circ C}) - T}{MF} \times 100$$

$$\%MS = \frac{20,38 \text{ gr} - 9,72}{28,10} \times 100$$

$$\%MS = 37,93$$

El grupo decidió tomar como valor de referencia del peso seco, 10,50 gramos, porque esto fue lo máximo que se pudo recolectar a la hora de la realización de la harina.

Para los análisis de laboratorio, fue requerido un total de 200 gramos de muestra por cada tratamiento, por tal razón, se hizo el cálculo correspondiente para determinar la cantidad aproximada de larvas para lograr el peso requerido para realizar los análisis.

$$\begin{array}{l} 10,50 \text{ gramos de MS} \longrightarrow 200 \text{ Larvas} \\ 200 \text{ gramos de MS} \longrightarrow X \end{array}$$

$$X = \frac{200 \text{ Larvas} \cdot 200 \text{ gr de MS}}{10,50 \text{ gr de MS}}$$

$X = 3809$  Larvas, aproximado a 3810 Larvas. Este es el número de larvas necesarias para lograr el peso de 200 gramos requerido por el laboratorio.

### **3.6.3.1.1 Pesaje.**

Como primer paso, se tomaron 200 larvas de 5 días de vida eclosionadas en alimento concentrado para gallinas ponedoras, posteriormente, fueron dispuestas en una caja de Petri y llevadas a pesaje en balanza analítica; lo anterior se llevó a cabo con el fin de obtener un promedio de peso de las larvas de 5 días, para que, de este modo, fuese más sencillo estimar el número de larvas necesarias para cada réplica y tratamiento. El peso total de las 200 larvas de 5 días fue de 13.48 gramos, una vez obtenido este dato se realizó el cálculo correspondiente para determinar el peso de larvas de 5 días necesario para lograr el número de larvas (3810) requeridas para los análisis de laboratorio.

$$200 \text{ larvas de 5 días} \longrightarrow 13.48 \text{ gramos}$$

3810 larvas de 5 días  $\longrightarrow$  X

$$X = 13,48 \text{ gr} \cdot 3810 \text{ larvas}$$

200 larvas

X= 256,79 gramos de larvas por cada tratamiento para un total de 85,59 gr de larvas

por cada réplica.

**Tabla 3.**

*Cronograma de actividades*

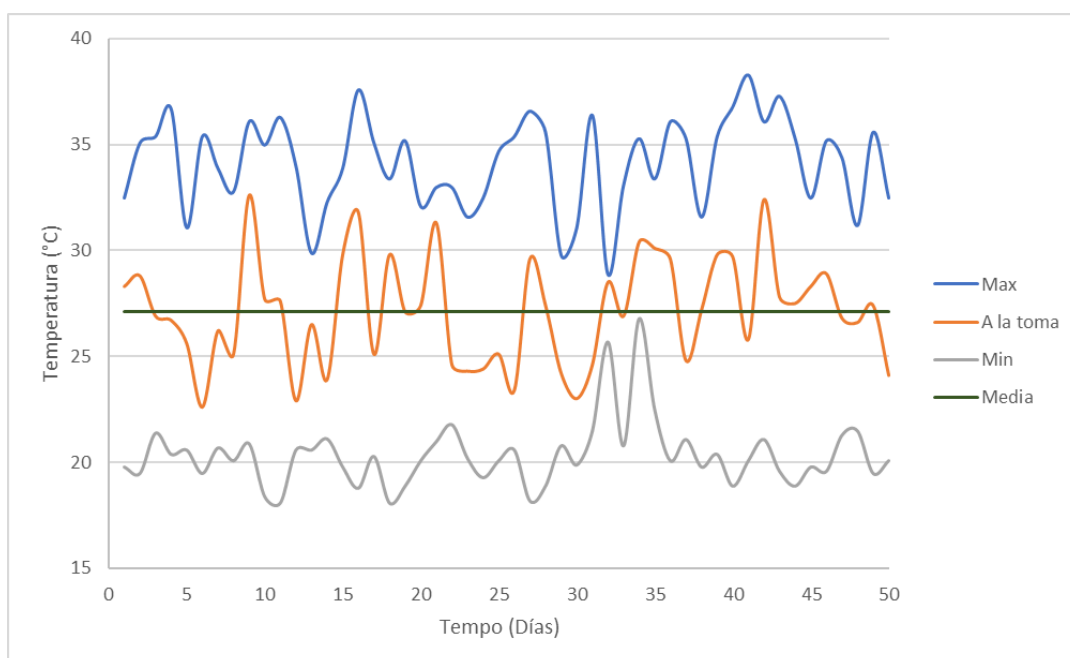
Semanas	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Actividades																
	x															
Cosecha de las prepupas a un lugar oscuro y seco para su pupación																
Eclosión del imago de <i>H. illucens</i>				x												
Recolección, raspado de huevos y método lluvia de crías					X	x	x	x	x	x	x	x				
Eclosión de las larvas de <i>H. illucens</i>					X	x	x	x	x	x	x	x				
Alimentación de las larvas					X	x	x	x	x	x	x	x				
Análisis químico de los sustratos				x	X											
Toma de parámetros ambientales						x	x	x	x	x	x	x	x			
Establecimiento de los tratamientos						x	x	x	x	x	x	x	x			
Pesaje de estadios larvarios de <i>H. illucens</i>						x								x		
obtención y análisis de resultados																
Limpieza del bioterio		x		x		x		x		x		x			x	

## Capítulo 4. Resultados

En la presente investigación se emplearon cuatro tratamientos, compuestos por larvas de *H. illucens* y diferentes sustratos, con el objetivo de determinar con cuál de ellos, las larvas mostraron un valor nutricional superior, las variables que se midieron fueron el porcentaje de proteína bruta, extracto etéreo, cenizas y materia seca; además de la determinación de los factores ambientales (humedad y temperatura) que favorecen la producción de *H. illucens*.

### Figura 5.

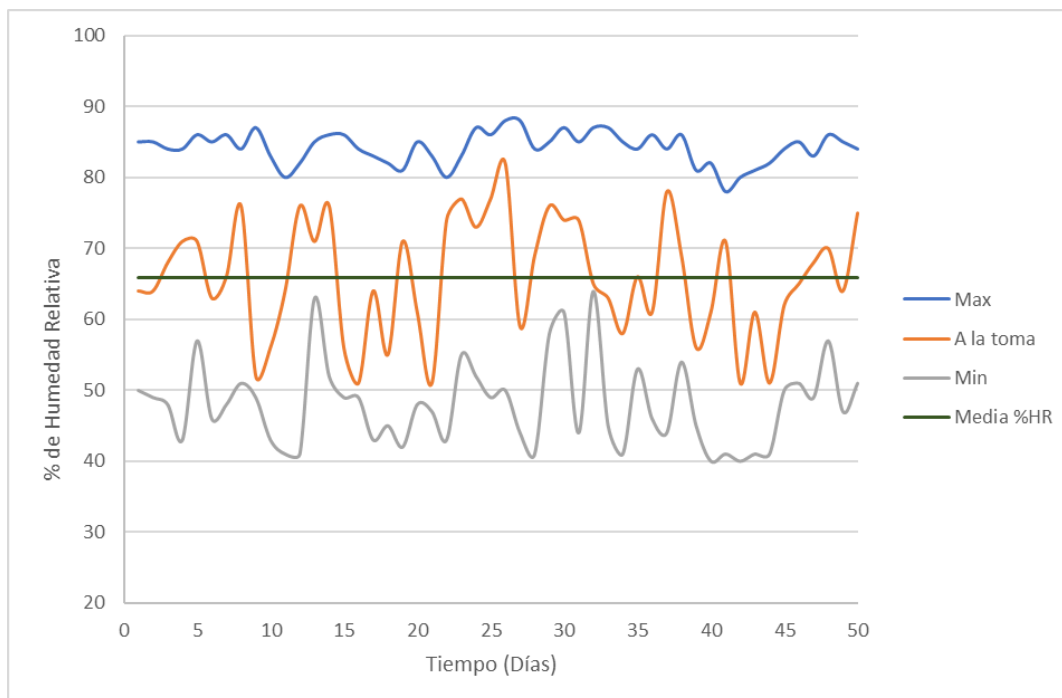
*Temperaturas registradas en el estudio*



*Nota.* La figura muestra los valores de temperaturas registrados durante el estudio.

### Figura 6.

*Humedad relativa registrada en el estudio*



**Nota.** En la figura muestra los valores de humedad relativa registrados en el estudio.

En la figura (5) se muestran los datos correspondientes a la temperatura máxima, mínima, al momento de la toma y la media total, de igual manera, la figura (6) representa los valores de humedad relativa máxima, mínima, al momento de la toma y la media total, obtenidas durante el desarrollo de la investigación (50 días), así mismo, se obtuvo que la temperatura media durante todo el estudio fue de 27,13 °C y la humedad del 60 %.

Para la temperatura se evidenció que hubo fluctuaciones en el rango de 38,3 °C y 18,1 °C. Los datos correspondientes a la temperatura a la hora de la toma fueron registrados en horas de la tarde.

En cuanto a la humedad, ésta osciló entre 88% y 40%, los valores de humedad a la hora de la toma, al igual que los de temperatura, fueron tomados en horas de la tarde.

## 4.1 Parámetros productivos para la etapa de “cosecha” y producción de harina de la mosca soldado-negra.

### 4.1.1 Huevos

Para la determinación de la cantidad de huevos depositados por una mosca se escogieron tres moscas adultas y se llevaron a un área preparada con trampas para que estas depositaran sus huevos. Una vez recolectadas las tres posturas de las moscas, se dispusieron en un recipiente con alimento concentrado y se esperó a que tuvieran un tamaño considerable para su posterior conteo. Cuando las larvas tuvieron un tamaño adecuado, se tamizaron para separarlas del sustrato y posteriormente se contaron 200 para llevarlas a pesaje el cual arrojó un dato de 19.18 gramos.

Seguido a esto, se pesó el total de larvas puestas por las 3 moscas dando como resultado 110.38 gramos. Una vez obtenidos estos datos, se aplicó una regla de tres simple para estimar el número de larvas totales.

200 larvas      —————▶ 19.18 gramos

X                —————▶ 110.38 gramos

$$X = \frac{200 \text{ larvas} \cdot 110.38 \text{ gr}}{19.18 \text{ gramos}}$$

$$X = 1150 \text{ larvas}$$

Para determinar el número de larvas por mosca, se divide el anterior resultado entre 3, que fue el número de moscas evaluadas.



$X = 1150$  larvas

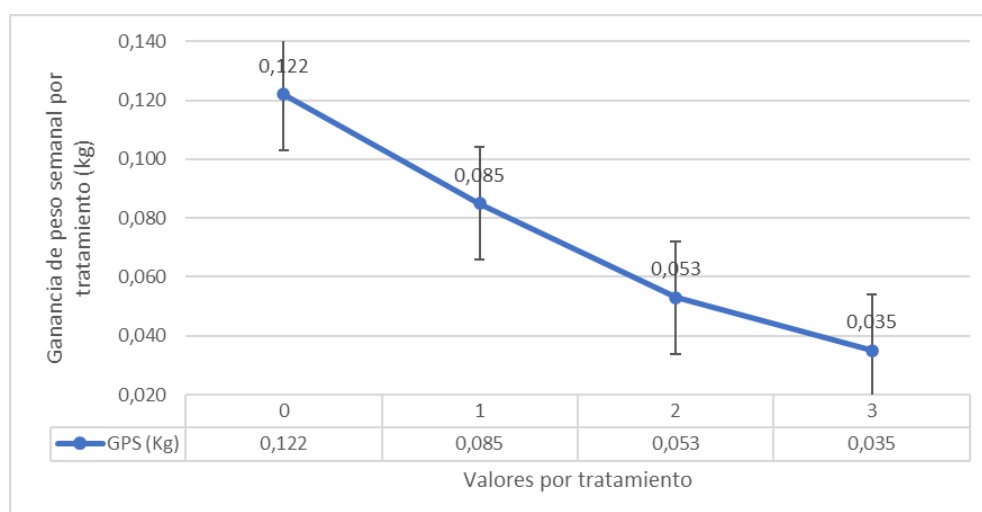
3 moscas

$X = 383,66$  larvas por mosca

#### 4.1.2 Ganancia de peso

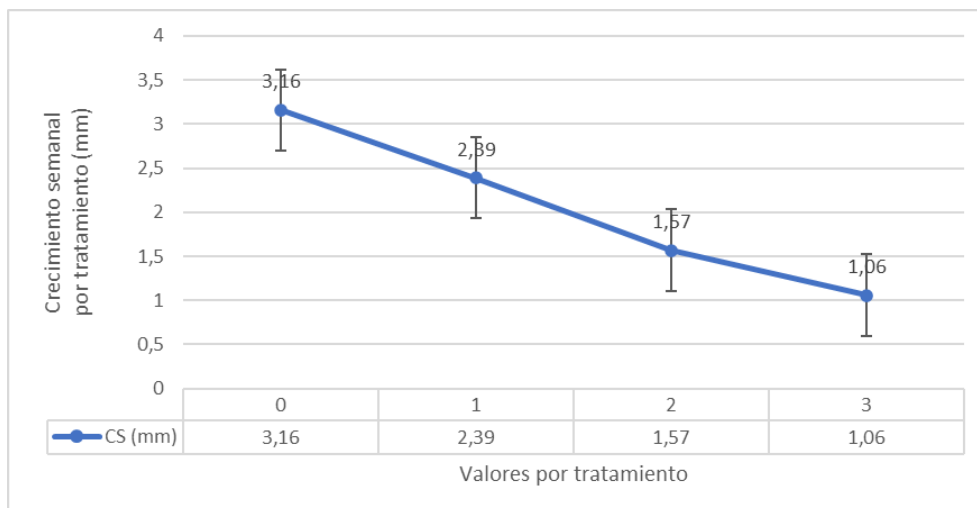
**Figura 7.**

*Ganancia de peso semanal por sustrato*



**Nota.** En la figura muestra la ganancia de peso semanal por sustrato.

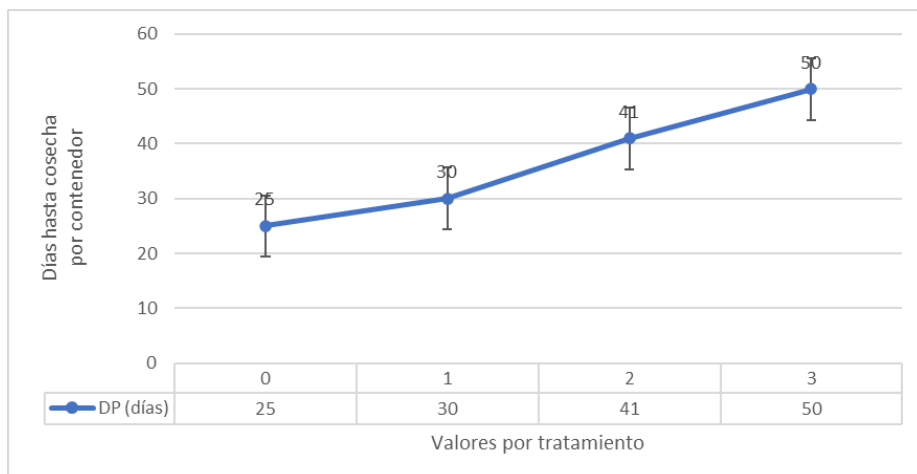
En la figura 7 se presentan los valores de ganancia de peso semanal por tratamiento, esta fue calculada, encontrando el peso total ganado por las larvas en cada réplica y dividiendo ese dato por el número de semanas que se tomó cada tratamiento para ser cosechado. Se encontraron diferencias significativas entre cada tratamiento, siendo el T0 o tratamiento control, compuesto de residuo balanceado, el que presentó el mayor valor de ganancia de peso, el cual fue de 0,122 kg, tal valor fue disminuyendo en el T1, T2 y T3.

**Figura 8.***Crecimiento semanal*

**Nota.** En la figura muestra el crecimiento semanal

En la figura 8 se puede apreciar el crecimiento semanal en cada tratamiento; se calculó hallando el crecimiento total de las larvas para cada tratamiento y dividiendo ese valor por el número de semanas. Para la ganancia de peso, hubo diferencias significativas entre todos los tratamientos, siendo el T0, el que obtuvo mejores valores de crecimiento (3,16 mm), seguido del T1 con (2,39mm), el T2 con (1,57 mm) y finalizando con el T3, que fue el menor valor de crecimiento obtenido (1,06 mm).

**Figura 9.***Días hasta cosecha*

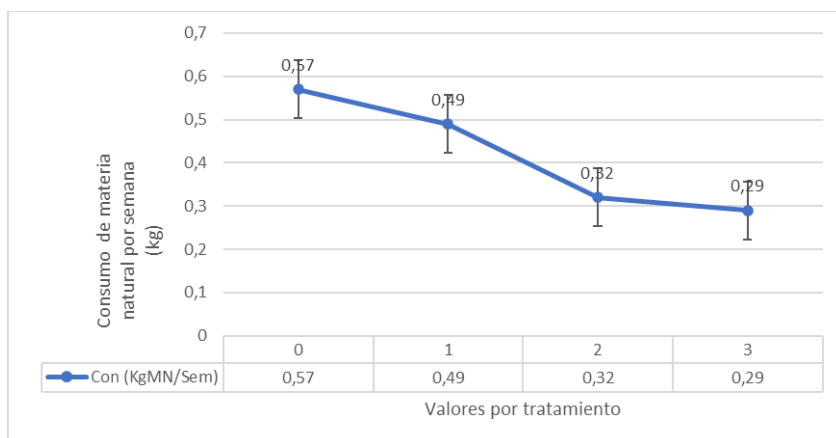


**Nota.** En la figura muestra los días hasta cosecha

En la figura 9 se evidencia la duración del estadio larvario, o duración hasta la etapa de cosecha (L6 o prepupa) por cada tratamiento, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, siendo el T0, una vez más, el mejor tratamiento, al que menos días le tomó para alcanzar la etapa de cosecha o prepupa (25 días), seguido del T1 con 30 días, el T2 con 41 días y finalizando el T3 con 50 días, prácticamente el doble de días que le tomó al T0 para alcanzar dicha etapa.

**Figura 10.**

*Consumo de materia natural por semana*

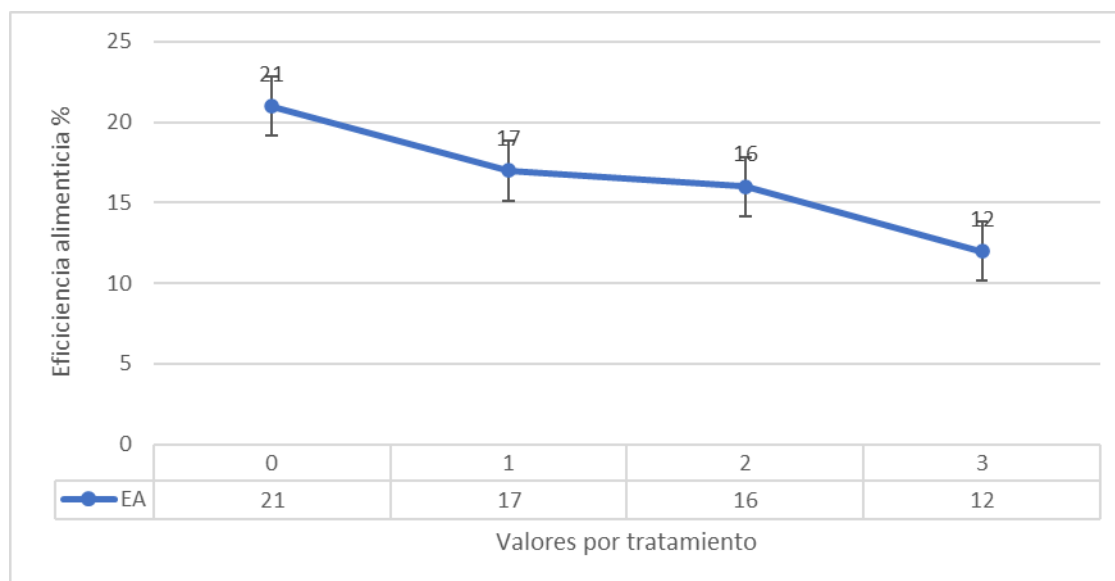


**Nota.** En la figura muestra el consumo de materia natural por semana.

La figura 10 muestra el consumo de materia natural por semana en cada tratamiento, para el cual hubo diferencias estadísticamente significativas entre cada uno de ellos, siendo el T0 el que tuvo un mayor consumo y fue disminuyendo en los demás tratamientos.

### Figura 11.

#### *Eficiencia alimenticia*



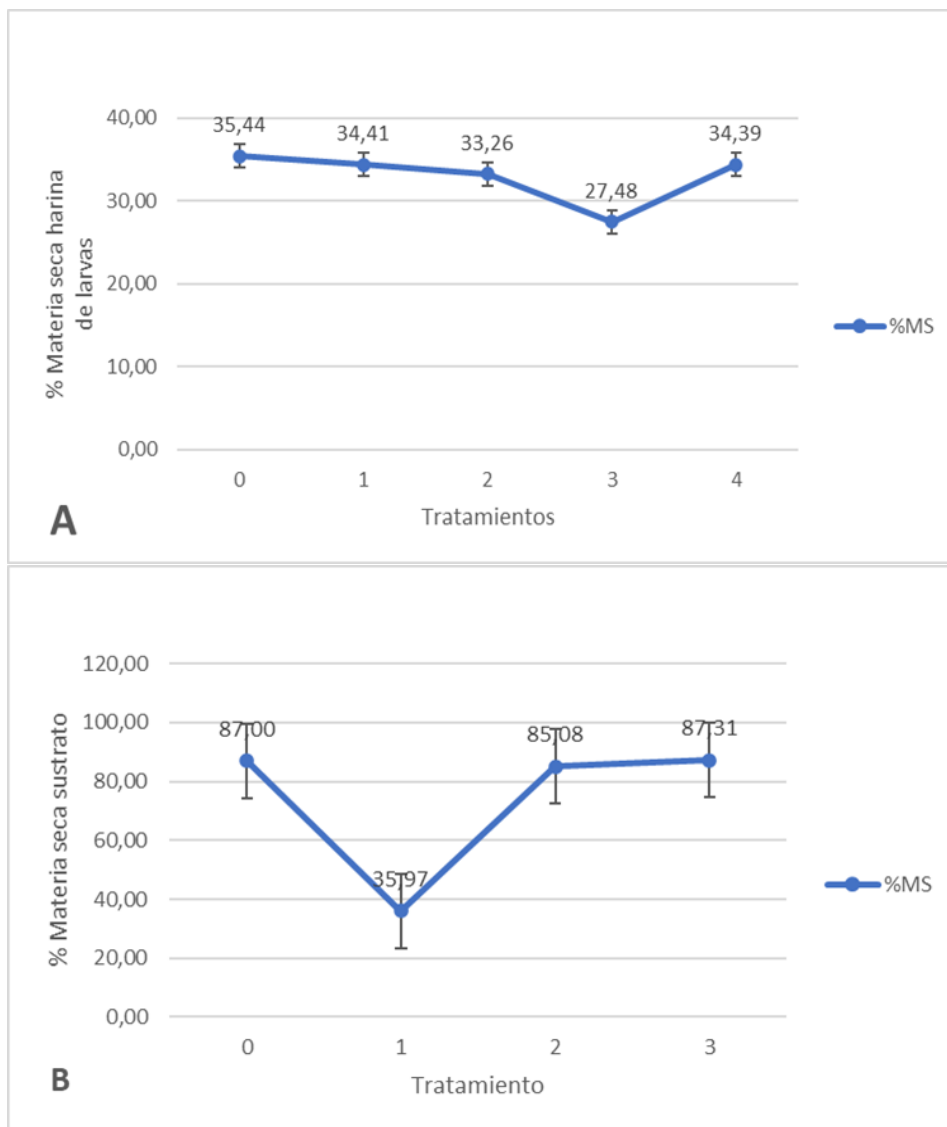
**Nota.** En la figura muestra la eficiencia alimenticia

La figura 11 representa los valores de eficiencia alimenticia, se puede describir como el porcentaje de alimento aprovechado para ganar biomasa larval. Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, excepto entre el T1 y el T2, el T0 sigue siendo el mejor con respecto a los demás tratamientos, la eficiencia de este fue mayor (21%), quiere decir que un mayor porcentaje de alimento fue convertido en biomasa larval.

## 4.2 Análisis químico larvas y sustratos

**Figura 12.**

*Materia seca*



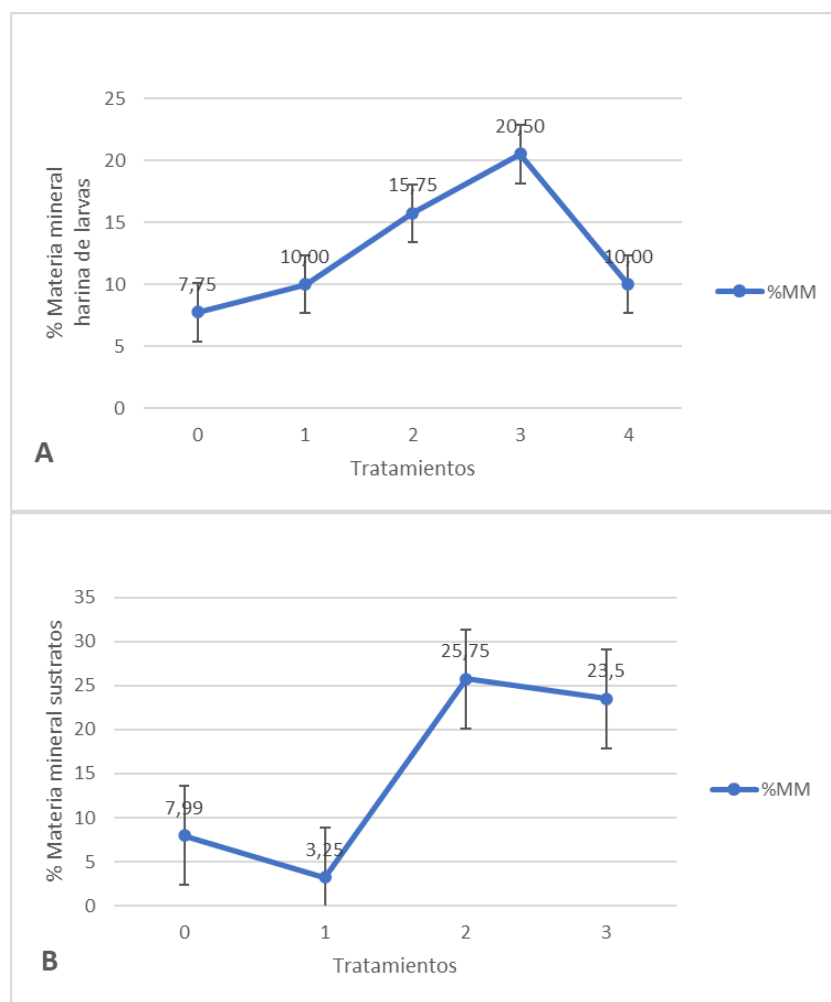
*Nota. En la figura se muestra el porcentaje de materia seca para la harina de larvas (A) y materia seca de sustratos (B)*

La figura 12 muestra los porcentajes de materia seca encontrados en la evaluación

química de los tratamientos (larvas y sustratos), se encontró diferencias mínimas significativas entre todos los tratamientos en la figura 12 (A) exceptuando entre el T1 y el T4, el valor más alto de materia seca fue reportado por el T0 (35,4%) y el valor más bajo fue encontrado en el T3 (27,4%). En la figura 12 (B) el tratamiento con un mayor porcentaje de materia seca fue el T3 (87,3%) y se encontró diferencias mínimas significativas entre todos los tratamientos, se puede notar una amplia diferencia entre los valores de MS del T1(35,9%) con respecto a los demás.

**Figura 13.**

*Materia mineral*

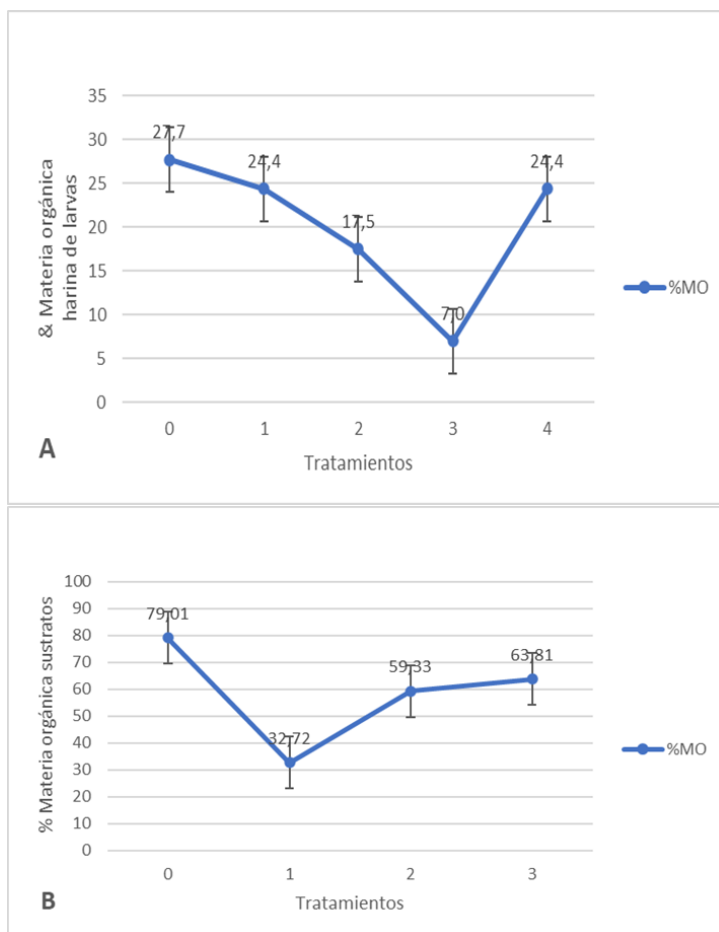


*Nota. En la figura se muestra el porcentaje de materia mineral para la harina de larvas (A) y materia mineral de sustratos (B)*

En la figura 13 se muestran los valores de materia mineral o cenizas, reportados tanto en la harina de larvas como en los sustratos. Para la harina de larvas (A) no hubo diferencias significativas entre el T0 (7,75%), el T1 (10,0%) y el T4 (10,0%), el mayor valor fue el encontrado en el T3 con un 25,75 % de materia mineral en la harina de larvas. Por su parte, en la figura 13 para los sustratos (B) los tratamientos que no presentaron diferencias entre sí, fueron el T2 (25,75%) y el T3 (23,5%), cuyo porcentaje de materia mineral fue mayor; caso que no aplicó para el T0 (7,99%) y el T1 (3,25%).

**Figura 14.**

*Materia orgánica larvas*

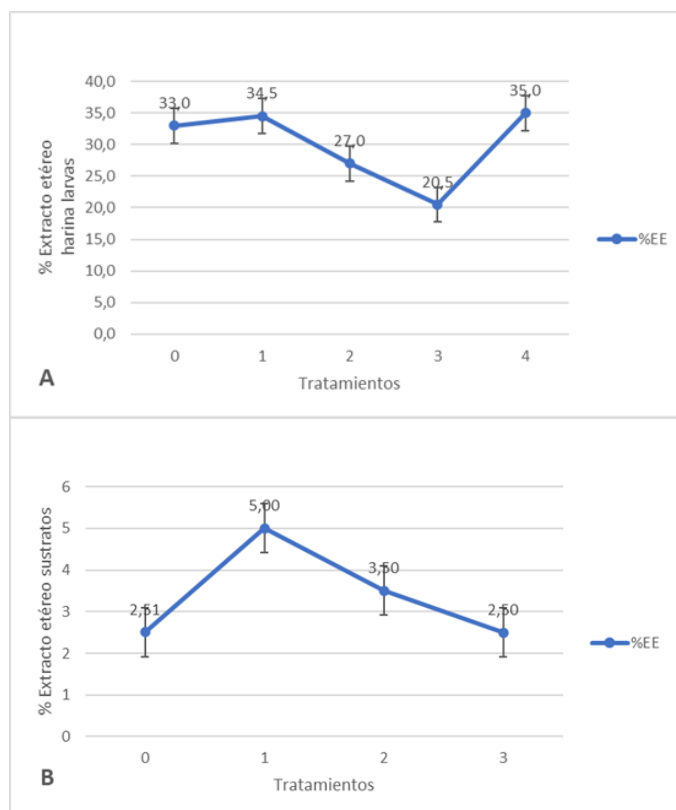


*Nota.* En la figura se muestra el porcentaje de materia orgánica para la harina de larvas (A) y materia orgánica de sustratos (B).

Los valores de materia orgánica reportados en la figura 14 para la harina de larvas (A) fueron estadísticamente distintos, exceptuando el T1 (24,4) y el T4 (24,4) entre los cuales no hubo diferencia significativa, El T0 (27,7%) fue el que mayor porcentaje de materia orgánica mostró, seguido del T1 y el T4 ambos con 24,4%, continuando con el T2 (17,5%) y finalizando con el valor más bajo encontrado en el T3 (7,70%). Por su parte, en la figura 14 la materia orgánica de los sustratos (B) obtuvo diferencias entre todos los tratamientos, siendo el T0 (79,01%) el mayor, seguido del T3 (63,81%), el T2 (59,33%) y por último el T1 (32,72%).

**Figura 15.**

*Extracto etéreo*



*Nota.* En la figura se muestra el porcentaje de extracto etéreo para la harina de larvas (A) y el

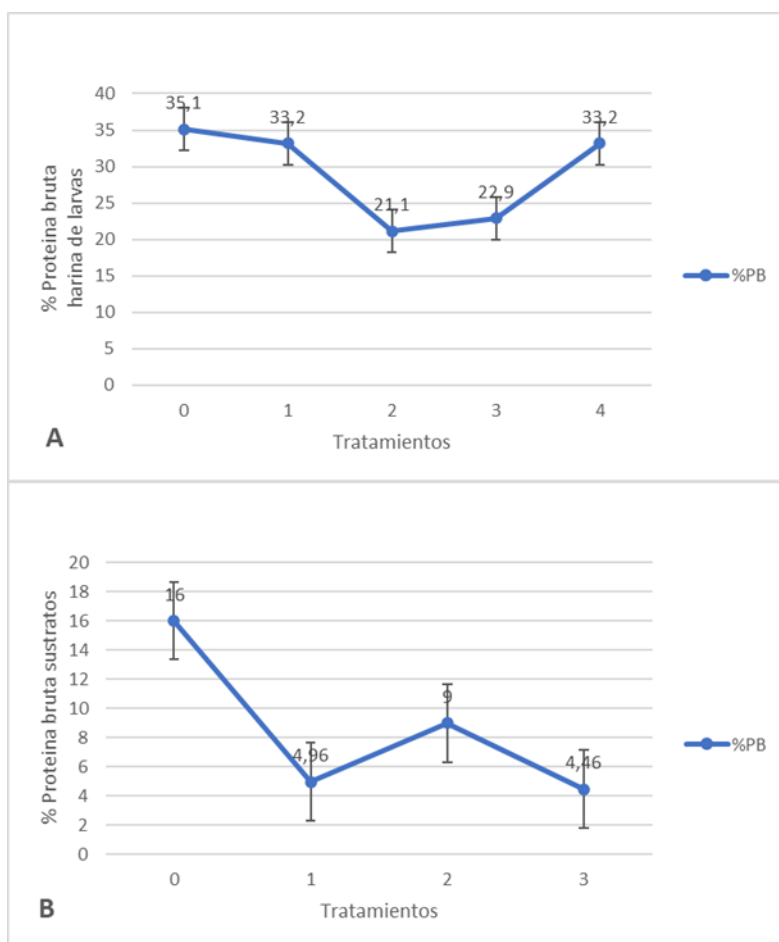


extracto etéreo de sustratos (B).

La figura 15 representa los valores en porcentaje de extracto etéreo o grasa bruta obtenidos en cada tratamiento para la harina de larvas (A) y los sustratos (B); para la harina de larvas, no hubo diferencias significativas entre el T0 (33,0%), el T1(34,5%) y el T4 (35,0%). Por su parte el T2 (27,0%) y el T3 (20,5%) sí variaron con respecto a los demás, siendo el T3 el que obtuvo un valor más bajo. En los sustratos, no se encontró diferencias significativas entre el T0 (2,51%), el T2 (3,50%) y el T3 (2,50%), del mismo modo, no hubo diferencia entre el T1(5,0%) y el T2 (3,50%), siendo el T1 el que obtuvo un mayor valor y el T3 el menor.

### Figura 16.

#### Proteína bruta



*Nota. En la figura muestra el porcentaje de proteína bruta para la harina de larvas (A) y la proteína bruta de sustratos (B)*

La figura 16 muestra los valores de proteína bruta para la harina de larvas (A) en cada tratamiento, en la cual se encontró diferencias significativas entre los tratamientos, exceptuando el T1 (33,2%) y el T4 (33,2%). Siendo el T0 (35,1%) el que presentó el valor más elevado, seguido del T1 y T4 con el mismo porcentaje, pasando por el T2 (21,1%) y finalizando con el valor más bajo T3 (22,9%).

En cuanto a los sustratos, en la gráfica (B), todos presentaron diferencias significativas con respecto a los demás, y el valor de proteína más alto, al igual que en las larvas, lo obtuvo el T0 (16%) seguido del T2 (9%) pasando por el T1 (4,96%) y finalizando con el T3 (4,46%), el valor más bajo registrado.

### **4.3 Discusión**

Autores como Muñoz y Parada (2022) expresan que la temperatura ideal para el desarrollo de las larvas de *H. illucens* se encuentra en el rango de 24 a 29°C, siendo la temperatura óptima de 27 °C. Con esto se evidencia que la temperatura media obtenida en la presente investigación (27,13°C) es la ideal para el desarrollo biológico idóneo de las larvas.

No obstante, la temperatura influye en el desarrollo y el crecimiento de las primeras etapas de los insectos, se denomina umbral de desarrollo al rango que existe entre las temperaturas máximas y mínimas en el cual un insecto se desarrolla de un modo ideal, por lo tanto, al exponerse a temperaturas superiores o inferiores según sea el caso, el ciclo biológico

se ve afectado, ralentizando o incluso, deteniéndose. (Muñoz & Parada, 2022) Con base en lo anterior, se puede evidenciar una fluctuación considerable entre las temperaturas máximas y mínimas, lo que afectó el umbral de desarrollo de las larvas de *H. illucens*, esto se nota al analizar las variaciones de las temperaturas máximas, cuyo valor medio fue de  $34,15 \pm 2,16$ , asimismo, la variación registrada en las temperaturas mínimas fue de  $20,35 \pm 1,56$ .

Esta variación se atribuye a diversos factores, dentro de los que se encuentran la luminosidad en el espacio de estudio, brindada por un bombillo, el cual, aparte de proporcionar la luz necesaria para el desarrollo de la etapa adulta de la mosca soldado, también emite calor, influyendo en la temperatura, además, el sitio contaba con cortinas, que se abrían durante el día para permitir la circulación del aire fresco proveniente del exterior, y cerradas por las noches para conservar la temperatura cálida dentro del sitio, y de este modo, evitar la entrada de aire frío durante la noche.

Los valores de temperatura y humedad influyen directamente en el ciclo de vida de la Mosca soldado negra, alargando o acortando el mismo, Aliaga (2019) señala en su estudio que las condiciones óptimas para el desarrollo del ciclo productivo están en un rango de temperatura entre  $26$  a  $29$  °C y humedad del  $60$  al  $80\%$ , sugiriendo también que si se encuentra por debajo o por encima de estos valores el periodo reproductivo se alarga. El valor de humedad medio reportado en el estudio fue de  $60\%$ , encontrándose entre el rango ideal citado por Aliaga, para el desarrollo de la etapa larvaria de *H. illucens*, sin embargo, los porcentajes de humedad medios tuvieron una variación; para la humedad máxima registrada fue de  $84,18 \pm 2,25$  y para la humedad mínima,  $48,02 \pm 6,04$ . Los factores que inciden sobre los valores de humedad, principalmente se atribuyen a los días lluviosos presentados durante la realización del estudio, y

a las bajas temperaturas registradas durante la noche y madrugada, razón por la cual, existe una mayor variación en las temperaturas mínimas registradas.

Diversas investigaciones señalan el número de huevos depositados por mosca; por ejemplo, Diclaro y Kaufman (2009) afirman que una mosca deposita alrededor de 500 huevos en grietas o hendiduras cerca de materia orgánica en proceso de descomposición, otros autores hacen referencia a un rango más amplio, como es el caso de Gobbi (2012) el cual señala un número de 300 a 1000 huevos por hembra. Por su parte, Dortmans, et al. (2017) sugieren que la mosca deposita un paquete de 400 a 800 huevos. Por lo tanto, el dato obtenido en la presente investigación se encuentra entre los valores aceptables citados por Gobbi.

La variabilidad evidenciada entre los datos reportados por los estudios anteriormente citados se debe a múltiples factores entre los que destacan la intensidad de la luz, la temperatura y la humedad, así como los nutrientes almacenados durante la etapa larvaria, porque el tipo y la calidad del sustrato también influyen posteriormente en la cantidad de huevos depositados por mosca. (Tomberlin, et al., 2005)

En términos productivos, uno de los parámetros de más importancia es el de la eficiencia alimenticia, el cual relaciona la ganancia de peso semanal con el consumo de peso por semana. En la presente investigación se encontró que la ganancia de peso fue directamente proporcional al consumo, para cada tratamiento.

De Haas, et al. (2006) afirma que la tasa de crecimiento de los insectos se ve afectada

por la calidad de los alimentos y tiene una correlación positiva con la longitud de las larvas y la supervivencia de las mismas. Debido a lo anterior, la ganancia de peso fue distinta en cada tratamiento y por tal razón, en sustratos como el concentrado o residuos orgánicos, la ganancia de peso y la longitud fue mayor comparado con los estiércoles como la gallinaza o porquinaza. Una aclaración relacionada fue destacada por Myers, et al. (2008) quienes en su experimento, sugiere que en sustratos como el estiércol bovino, la disponibilidad de nutrientes puede afectar el ciclo de vida tanto de larvas como de adultos.

Otro aspecto productivo importante son los días hasta cosecha, que se definen como los días hasta llegar a la etapa de prepupa o L6. El comportamiento evidenciado en este parámetro fue muy peculiar, debido a la diferencia notoria entre uno y otro, esto puede atribuirse a las variaciones de temperatura y humedad registradas durante el estudio, y, principalmente, a la calidad del sustrato y a cómo afecta la temperatura y la humedad al momento de su consumo por parte de la larva. Otro factor no menor que también incide en el ciclo de vida y por lo tanto, en los días hasta alcanzar la etapa de prepupa es la adaptabilidad de las larvas al sustrato, porque como lo señala Studt (2010) factores como el peso promedio hasta cosecha se ven influenciados por el proceso de establecimiento y adaptación de las larvas al medio en donde se desarrollan.

En cuanto a la composición nutricional de los sustratos y las larvas, uno de los puntos a discutir es el porcentaje de materia seca encontrado en el sustrato porquinaza, ya que este tuvo un valor de 87%, el cual es un poco alejado de lo reportado en estudios como el de Castrillón, et al. (2004) en el cual citan el contenido de materia seca de la porquinaza de 12%.

Esta variación en el valor de la materia seca de la porquinaza se atribuye a que a la hora de realizar la prueba de materia seca, la muestra de porquinaza fue presecada al sol para bajar su contenido de humedad y evitar la contaminación de otras muestras encontradas en el laboratorio.

La variación resultante entre los valores de materia mineral reportados en el sustrato de residuos orgánicos y la harina de larvas del mismo puede deberse a que es complejo caracterizar el sustrato, los residuos orgánicos son un conjunto de materias primas obtenidas a disponibilidad, y no siempre se va a obtener una muestra uniforme con los mismos componentes y por ende los mismos nutrientes. Por tal razón, se evidenció una variación notoria entre los valores de materia mineral, materia orgánica, grasa bruta y la proteína bruta resultantes del estudio de la harina de larvas comparado con lo reportado en los sustratos.

Las larvas de *H. illucens* aprovechan de una manera muy eficiente la grasa contenida en los sustratos de los que se alimentan, esto debido a que, como lo señala Apaza (2019) las moscas adultas dependen de las grasas almacenadas en la etapa larvaria. Entonces su éxito reproductivo posterior, depende en gran medida a la cantidad de grasa que logren almacenar para su vida adulta.

Los valores de extracto etéreo o grasa bruta reportados en el estudio de Tovar (2021) el cual dice que las larvas alcanzan un 35% de grasa aproximadamente, son similares a los encontrados en la presente investigación, cuyo valor máximo reportado fue precisamente 35% en el T4.

Los porcentajes de proteína reportados en el estudio fluctuaron entre 21% y 35%, rango encontrado dentro de los valores encontrados por Huaripata y Carrasco (2022), quienes afirman que las larvas poseen un nivel de proteína del 35%, coincidiendo con los valores citados anteriormente.

La gallinaza en general tuvo mejores resultados en el análisis nutricional en comparación con la porquinaza, la razón de lo anterior puede atribuirse a las características señaladas por Arroyave, et al. (2019) en su estudio, dicen que la gallinaza pasa por un proceso de compostaje en el galpón, durante el tiempo que está en ese lugar, se enriquece con microorganismos aportando nutrientes aprovechados por las larvas, en cambio, la porquinaza hace parte del alimento no digerido por el porcino, siendo este un animal monogástrico especializado, razón por la cual resulta ser de menor valor nutricional para las larvas.

## Capítulo 5. Conclusiones

La larva de *H. illucens* es una excelente convertidora de materia orgánica en alto contenido de proteína, que puede usarse para reemplazar parcialmente el alimento concentrado.

El tratamiento que presentó mejores características de materia seca, materia orgánica, extracto etéreo y proteína bruta fue el T1 reportando valores muy cercanos a los del tratamiento control.

No existe diferencia significativa en la calidad nutricional de la harina elaborada a base de larvas conservadas en congelación y larvas “frescas”.

Debe mantenerse un control estricto de la humedad relativa y de la temperatura dentro del sistema de producción de *H. illucens* para que no hayan fluctuaciones que afecten al ciclo de vida.

La calidad del sustrato ofrecido a las larvas de *H. illucens* es fundamental para que el ciclo de vida no se alargue o ralentice.



## Capítulo 6. Recomendaciones

La humedad del sustrato no debe ser excesiva, puede hacer que las larvas se salgan del mismo, además de propiciar un ambiente óptimo para el crecimiento de hongos.

El tamaño de partícula ideal para suministrar a las larvas es entre 2 a 3 mm para permitir su mejor degradación.

Para sustratos muy húmedos, se recomienda utilizar materiales como afrecho, avena, salvado, que permitan disminuir el porcentaje de humedad.

Para posteriores experimentos se recomienda tener elementos como calefactores que permitan asegurar las condiciones ambientales óptimas para el ciclo de vida de *H. illucens*.

Para estudios a futuro, se recomienda realizar análisis de aminoácidos que permitan conocer con más profundidad las bondades nutricionales de la harina de larva de *H. illucens*.

## Referencias

- Aliaga, L. M. (2019). *Estudio de Pre-factibilidad para la Instalación de una Planta de Producción de Larvas de Mosca Soldado Negra (Hermetia illucens)* [Universidad Antonio Ruiz de Montoya]. <https://repositorio.uarm.edu.pe/handle/20.500.12833/2032>
- AOAC. (1990). *AOAC: Official Methods of Analysis (Volume 1)* (K. Helrich (ed.); 15th ed., Vol. 1). Association of Oficial Analytical Chemists, INC. <https://sired.udenar.edu.co/6817/>
- Apaza, R. B. (2019). *Correlación de índices productivos con suplementación de harina de larva de mosca Hermetia illucens a tres niveles versus fuente proteica estándar en alimentación de pollo Ross, Arequipa 2019* [Universidad Católica de Santa María]. <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/9883>
- Apráez Guerrero, J. E. (2020). *Análisis Químico De Alimentos Para Animales*. Editorial Universidad de Nariño. <https://doi.org/10.22267/lib.udn.012>
- Arango Gutiérrez, G. P. (2005). Los insectos: una materia prima alimenticia promisoría contra la hambruna. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1), 33–37. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=23405487&lang=es&site=ehost-live>
- Arroyave, O. J., Chamorro, J., & Ochoa, A. F. (2019). Crecimiento de larvas de mosca soldado alimentadas con gallinaza , porcinaza y alimento para ponedoras. *Revista Colombiana de Ciencia Animal RECIA*, 11(2), 1–9. <https://revistas.unisucre.edu.co/index.php/recia/article/view/Articulo730>
- Barragan-Fonseca, K. B., Dicke, M., & van Loon, J. J. A. (2017). Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed - a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(2), 105–120. <https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0055>

- Bondari, K., & Sheppard, D. C. (1987). Soldier fly, *Hermetia illucens* L., larvae as feed for channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque), and blue tilapia, *Oreochromis aureus* (Steindachner). *Aquaculture Research*, 18(3), 209–220. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1987.tb00141.x>
- Brede, A., Wecke, C., & Liebert, F. (2018). Does the optimal dietary methionine to cysteine ratio in diets for growing chickens respond to high inclusion rates of insect meal from *Hermetia illucens*? *Animals*, 8(11), 1–16. <https://doi.org/10.3390/ani8110187>
- Buitrago, A., & Camargo, M. (2022). *Diseño del proceso de producción de harina de Mosca Soldado Negra (Hermetia Illucens) alimentadas con pulpa de Café*. Fundación Universidad de América.
- Cabezas-Zábala, C. C., Hernández-Torres, B. C., & Vargas-Zárate, M. (2016). Aceites y grasas: efectos en la salud y regulación mundial. *Revista Facultad de Medicina*, 64(4), 761–768. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v64n4.53684>
- Cabrera, D., & Lopez, 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]. <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8329>
- Caruso, D., Devic, E., Subamia, I. W., Talamond, P., & Baras, E. (2014). *Technical handbook of domestication and production of diptera Black Soldier Fly (BSF)*. IRD editions, Bogor. [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers17-11/010063336.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers17-11/010063336.pdf)
- Castrillón, Jiménez, & Bedoya. (2004). Porquinaza en la alimentación animal. *Revista Lasallista De Investigacion*, 1(1), 1–5. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69511011>
- Chaves, R., & Monzón, J. L. (2018). La economía social ante los paradigmas económicos emergentes: innovación social, economía colaborativa, economía circular, responsabilidad

social empresarial, economía del bien común, empresa social y economía solidaria.

*CIRIEC-España Revista de Economía Publica, Social y Cooperativa*, 93, 5–50.

<https://doi.org/10.7203/CIRIEC-E.93.12901>

Chirinos, A. Y. A. (2019). *Estudio del Ciclo Biológico de Hermetia Illucens (Diptera: Stratiomyidae) Bajo las Condiciones de Laboratorio en la Irrigación Majes, Caylloma Arequipa* [Universidad Católica Santa María].

<https://tesis.ucsm.edu.pe:80/repositorio/handle/UCSM/9471>

Costa-Neto, E. M., & Dunkel, F. V. (2016). *Insects as Food: History, Culture, and Modern Use around the World*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802856-8.00002-8>

Costa, C., Ide, S., & Simonka, C. (2006). *Insectos Inmaduros metamorfosis e identificación* (Vol. 5). [http://agro.unc.edu.ar/~zoologia/ARCHIVOS/Metamorfosis 2019.pdf](http://agro.unc.edu.ar/~zoologia/ARCHIVOS/Metamorfosis%2019.pdf)

De Haas, E., Wagner, C., Koelmans, A., Kraak, M. H. S., & Admiraal, W. (2006). Habitat selection by chironomid larvae : fast growth. *Journal of Animal Ecology*, 75, 148–155.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2005.01030.x>

De la cruz, J. (2006). *Entomología, Morfología y Fisiología de los insectos*. Universidad Nacional de Colombia (Palmira), Facultad de Ciencias Agropecuarias.

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/75279>

Diclaro, J., & Kaufman, P. (2009). Black soldier fly (*Hermetia illucens*). In *Entomology and Nematology Department* (EENY 461).

[https://entnemdept.ufl.edu/creatures/livestock/black\\_soldier\\_fly.htm#top](https://entnemdept.ufl.edu/creatures/livestock/black_soldier_fly.htm#top)

Dortmans, B., Diener, S., Verstappen, B., & Zurbrügg, C. (2017). *Black Soldier Fly Biowaste Processing. A step-by step guide*.

<https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/B>

SF\_Biowaste\_Processing\_LR.pdf

- FAO. (2018). La contribución de los insectos a la seguridad alimentaria, los medios de vida y el medio ambiente. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 1–4.  
<http://www.fao.org/edible-insects/en/>
- Figueredo, J; Albarracín, M. (2021). Alternativas de alimentación de monogástricos a base de larvas de Soldado Negro (*Hermetia illucens*): Revisión de literatura. *Revista Colombiana de Zootecnia*, 7(12), 6. <http://anzoo.org/publicaciones/index.php/anzoo/article/view/102>
- Friedrich, T. (2014). Producción de Alimentos de origen animal. Actualidad y perspectivas. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(1), 5–6.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193030122003>
- Furman, D. P., Young, R. D., & Catts, P. E. (1959). *Hermetia illucens* (Linnaeus) as a Factor in the Natural Control of *Musca domestica* Linnaeus. *Journal of Economic Entomology*, 52(5), 917–921. <https://doi.org/10.1093/jee/52.5.917>
- Giraldo, M., Rodríguez, N., & Benavides, P. (2019). Uso potencial de *Hermetia illucens* (Linnaeus) (Díptera: Stratiomyidae) para transformación de pulpa de café: Aspectos biológicos. *Cenicafé*, 70(2), 81–90.  
[https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras\\_publicaciones/revista\\_cenicafe/publicaciones\\_arc07002081\\_090uso\\_potencial\\_de\\_hermetia\\_illucens\\_linnaeus\\_di](https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/revista_cenicafe/publicaciones_arc07002081_090uso_potencial_de_hermetia_illucens_linnaeus_di)
- Gobbi, F. P. (2012). *Biología reproductiva y caracterización morfológica de los estadios larvarios de Hermetia illucens (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae). Bases para su producción masiva en Europa* [Universidad de Alicante]. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/28345>
- Govaerts, F. (2018). *Introducing insect-based salmon feed* [university of norway].  
<https://munin.uit.no/handle/10037/14179>

- Hale, O. (1973). Dried *Hermetia illucens* larvae (Diptera: Stratiomyidae) as a feed additive for poultry. *Journal of Georgia Entomological Society*, 8, 17–20. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201303264936>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6th ed.). Mc Graw Hill Education. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Huaripata, J., & Carrasco, A. (2022). *Eficiencia de la larva de Mosca Soldado-Negro (Hermetia Illucens) para aprovechar los residuos orgánicos municipales - Cajamarca 2021*. [Universidad privada Antonio Guillermo Urrelo]. <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/2189/statistics>
- Londoño, L., Ordóñez, G., & Montalvo, C. (2019). *Simposio de Biotecnología + EXPOSENA*. Servicio Nacional de Aprendizaje. [https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/6490/simposio\\_biotecnologia\\_exposena\\_2019\\_peq.pdf;jsessionid=5080845727234FD0A2B9960549638434?sequence=1](https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/6490/simposio_biotecnologia_exposena_2019_peq.pdf;jsessionid=5080845727234FD0A2B9960549638434?sequence=1)
- Lozada, J. (2014). Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *CIENCIAMÉRICA*, 34–39. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>
- Makkar, H. P. S., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1–33. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>
- Martínez, O., & Martínez de Victoria, E. (2006). Proteínas y péptidos en nutrición enteral. *Acta Histochemica et Cytochemica*, 21(2), 1–14. <https://doi.org/10.1267/ahc.22.401>
- Muñoz, L., & Parada, M. (2022). *Definición de las condiciones de operación para la producción de larva de Mosca Soldado Negra (Hermetia Illucens)* [Fundación Universidad de

América]. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8833>

Mutafela, R. (2015). *High Value Organic Waste Treatment via Black Soldier Fly Bioconversion*

[Royal Institute of Technology]. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:868277/FULLTEXT02.pdf>

Myers, H. M., Tomberlin, J. K., Lambert, B. D., & Kattes, D. (2008). Development of black soldier

fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae fed dairy manure. *Environmental Entomology*, 37(1), 11–15. [https://doi.org/10.1603/0046-225X\(2008\)37\[11:DOBSFD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0046-225X(2008)37[11:DOBSFD]2.0.CO;2)

Neumann, C., Velten, S., & Liebert, F. (2018). N balance studies emphasize the superior protein

quality of pig diets at high inclusion level of algae meal (*Spirulina platensis*) or insect meal (*hermetia illucens*) when adequate amino acid supplementation is ensured. *Animals*, 8(10), 1–14. <https://doi.org/10.3390/ani8100172>

Newton, G. L., Sheppard, D. C., Watson, D. W., Burtle, G. J., Dove, C. R., Tomberlin, J. K., &

Thelen, E. E. (2005). The black soldier fly, *Hermetia illucens*, as a manure management/resource recovery tool. *Symposium on the State of the Science of Animal Manure and Waste Management*, 1, 57.

[https://www.researchgate.net/publication/237345975\\_The\\_black\\_soldier\\_fly\\_Hermetia\\_illucens\\_as\\_a\\_manure\\_managementresource\\_recovery\\_tool](https://www.researchgate.net/publication/237345975_The_black_soldier_fly_Hermetia_illucens_as_a_manure_managementresource_recovery_tool)

Prósper, L. (2020). *Seguridad alimentaria y calidad nutricional del uso de insectos en la dieta*

[Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/147898>

Rivera, F. (2015). *Características generales de Bioterio de experimentación y su aplicación en*

*control de calidad de vacuna antirrábica*. Universidad de La Salle.

Romero Romero, M. H. (2022). *Modelización del ciclo de vida de la mosca soldado negro*

(*Hermetia illucens*) desarrollándose sobre desechos orgánicos. [Universidad Central de

Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/25656>

Salas, J. M. (2019). *Evaluación de cuatro sustratos orgánicos para la producción de larvas de Hermetia illucens (Diptera-Stratiomyidae) en condiciones controladas de la Irrigación Majes-Pedregal, Caylloma, Arequipa* [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/10141/AGsaaljm.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sembralia. (2021). *Tipos de Sustratos para el Cultivo de Plantas*.

<https://sembralia.com/blogs/blog/tipos-de-sustrato#:~:text=Un sustrato es todo aquel,las plantas%2C su desempeño y>

Studt, N. (2010). *Uso de larvas de mosca soldado negro (Hermetia illucens) para el manejo de residuos municipales orgánicos en el campus de la Universidad Earth, Costa Rica* [Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://hdl.handle.net/2238/695>

Tomberlin, J. K., Sheppard, D. C., & Joyce, J. A. (2002). Selected life-history traits of black soldier flies (Diptera: Stratiomyidae) reared on three artificial diets. *Annals of the Entomological Society of America*, 95(3), 379–386. [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2002\)095\[0379:SLHTOB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2002)095[0379:SLHTOB]2.0.CO;2)

Tomberlin, J., Sheppard, D. C., & Joyce, J. A. (2005). Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Colonization of Pig Carrion in South Georgia. *Journal of Forensic Sciences*, 50, 152. <https://doi.org/10.1520/JFS2003391>

Tovar, M. (2021). *Desarrollo de alimento balanceado para producción de huevo orgánico a partir de harinas de microalga y larva de mosca soldado* [Universidad Autónoma de Querétaro]. <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/3392>

Wang, Y. S., & Shelomi, M. (2017). Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed



and human food. *Foods*, 6(10). <https://doi.org/10.3390/foods6100091>

## Apéndices

### Apéndice A. *Apareamiento del imago de H. illucens*



Fuente: Autor

### Apéndice B. *Ovoposición de H. illucens*



Fuente: Autor

### Apéndice C. *Raspado de huevos de H. illucens*



Fuente: Autor

#### **Apéndice D. Larvas L3 *H. illucens* en sustrato**



Fuente: Autor.

#### **Apéndice E. Lluvia de crías**



Fuente: Autor.

### Apéndice F. Disposición de tratamientos



Fuente: Autor.

### Apéndice G. Pesaje de sustratos



Fuente: Autor.

### Apéndice H. Pesaje de prepupas



Fuente: Autor.

### **Apéndice I.** *Medición de larvas de H. illucens*



Fuente: Autor.

### **Apéndice J.** *Sacrificio de prepupas de H. illucens*



Fuente: Autor.

### **Apéndice K. Pesaje de prepupas para determinar materia seca**



Fuente: Autor.

### **Apéndice L. Secado de prepupas (Materia seca)**





Fuente: Autores.

### **Apéndice M.** *Molido de las muestras*



Fuente: Autor.

### **Apéndice N.** *Harina de prepupa*



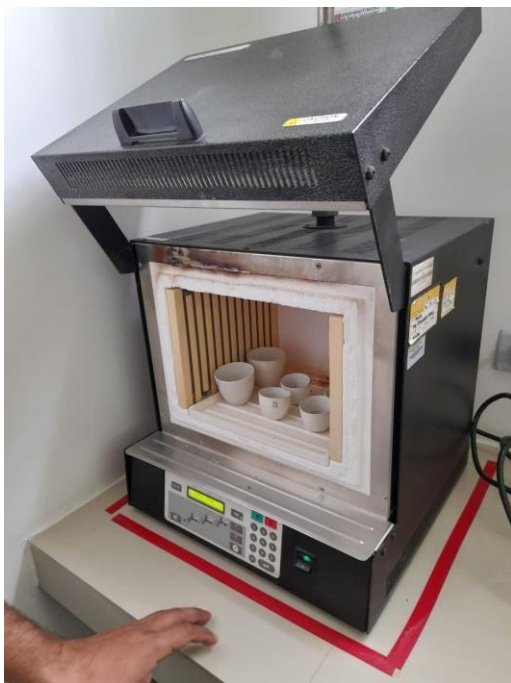
Fuente: Autor.

#### **Apéndice O. Prueba para determinación de extracto de etéreo**



Fuente: Autor.

#### **Apéndice P. Determinación de cenizas**



Fuente: Autor.

### **Apéndice Q. *Determinación de proteína***



Fuente: Autor.