RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Myriam Amparo Roso Molina
FACULTAD	**Facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente**
PLAN DE ESTUDIOS	**Maestría en Producción Animal**
DIRECTOR	PhD. Nancy Rodríguez Colorado
CODIRECTOR	MSc. Myriam Meza Quintero
TÍTULO DE LA TESIS	Efecto de dos sustratos alimenticios sobre el perfil de ácidos grasos y aminoácidos en la harina de larva de *Hermetia illucens* y su potencial inclusión en dietas en aves de postura
TITULO EN INGLES	Effect of two feed substrates on the fatty acid and amino acid profile of Hermetia illucens larvae meal and its potential inclusion in poultry diets for laying hens.

RESUMEN

Al determinar el efecto de los sustratos alimenticios de la harina de larva de *H. illucens* dio resultado que el T1: 38,4% proteína, 30% grasa, 76.6% digestibilidad, metionina, ácido Láurico, ácido Mirístico y omega 3 y 9; T2: proteína 45.8%, grasa 30 %, digestibilidad 84.9%, aminoácidos Lisina, Histidina, Fenilalanina y Treonina. Concluyendo que la harina de *H. illucens* es alternativa innovadora, relevante en la alimentación de diversas especies animales, incluyendo gallinas ponedoras.

RESUMEN EN INGLES

When determining the effect of the feed substrates of H. illucens larvae meal, it was found that T1: 38.4% protein, 30% fat, 76.6% digestibility, methionine, Lauric acid, Myristic acid and omega 3 and 9; T2: protein 45.8%, fat 30%, digestibility 84.9%, amino acids Lysine, Histidine, Phenylalanine and Threonine. It is concluded that H. illucens meal is an innovative alternative, relevant in the feeding of several animal species, including laying hens.

PALABRAS CLAVES	Insectos, Sistemas de producción, Aves, Alimentación y Mosca soldado.
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Insects, Production systems, Poultry, Feeding and Soldier fly

CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 108	PLANOS:	ILUSTRACIONES: 11	CD-ROM:

Efecto de dos sustratos alimenticios sobre el perfil de ácidos grasos y aminoácidos en la harina de larva de *Hermetia illucens* y su potencial inclusión en dietas en aves de postura

Myriam Amparo Roso Molina

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

Maestría en Producción Animal

PhD. Nancy Rodríguez Colorado

MSc. Myriam Meza Quintero

15 Mayo del 2024

Dedicatoria

A mi amada familia, mi madre, mis hermanos y mis amados Geovany, María Paula y Sara Daniela, les dedico este logro con todo mi corazón. Vuestra inquebrantable paciencia, amor y apoyo han sido el pilar fundamental que me ha sostenido en cada paso de este arduo pero gratificante camino académico.

Agradezco profundamente por haberme cedido generosamente parte de su tiempo, comprendiendo las largas horas de estudio y dedicación que este proyecto ha demandado. Vuestra comprensión y aliento han sido mi mayor motivación para perseverar, incluso en los momentos más desafiantes.

Cada logro alcanzado en esta tesis lleva impreso vuestro amor, sacrificio y constante respaldo. Este trabajo es también vuestro, reflejo del amor y la dedicación que hemos compartido a lo largo de los años.

Con todo mi cariño y gratitud, esta tesis está dedicada a ustedes, mi familia, por ser mi mayor inspiración y mi más sólido soporte en este viaje hacia el conocimiento y el crecimiento personal.

¡Gracias por estar siempre a mi lado!

Agradecimientos

Agradezco profundamente a Dios por guiarme y fortalecerme durante todo este camino académico, brindándome sabiduría y perseverancia para culminar este importante proyecto.

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, por proporcionarme el espacio y los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación de manera óptima, igualmente mi agradecimiento a la División de Investigación y Extensión (DIE) y al laboratorio de Nutrición con el apoyo del MSc (c) José Efraín Salcedo.

Quiero extender mi gratitud a mi directora de tesis, la PhD Nancy Rodríguez Colorado, por su dedicación, orientación y valiosas sugerencias que han enriquecido este trabajo y han contribuido significativamente a su calidad y rigor académico.

Un reconocimiento especial a mi compañero MSc (c) Alberto José Rincón Atuesta por su apoyo constante y sus aportes que han sido de gran ayuda en el desarrollo de esta investigación.

Agradezco a mi querida amiga, la Esp. Lizbeth Carolina Jácome, por su inquebrantable apoyo, comprensión y ánimo durante este trayecto académico.

Asimismo, quiero expresar mi agradecimiento al PhD (c) Diego Rojas por sus aportes y valiosas contribuciones que han enriquecido la discusión y el análisis de este trabajo.

Finalmente, mi más profundo agradecimiento a todas las personas que de una u otra manera contribuyeron al desarrollo de esta tesis, su colaboración y estímulo fueron fundamentales para alcanzar este logro académico.

Myriam Amparo Roso Molina

Índice

Introducción 11

Capítulo 1. Efecto de dos sustratos alimenticios sobre el perfil de ácidos grasos y aminoácidos en la harina de larva de *Hermetia illucens* y su potencial inclusión en dietas en aves de postura 16

1.1 Planteamiento del problema 16

1.2 Problema científico 18

1.3 Pregunta de investigación 19

1.4 Objetivos 19

1.4.1 Objetivo general 19

1.4.2 Objetivos específicos 19

1.5 Justificación 20

1.6 Delimitaciones 21

1.6.1 Delimitación operativa 21

1.6.2 Delimitación conceptual 22

1.6.3 Delimitación geográfica 22

1.6.4 Delimitación temporal 22

Capítulo 2. Marco referencial 23

2.1 Marco histórico 23

2.2 Marco conceptual 28

2.3 Marco teórico 29

2.3.1 Teoría general de sistemas 29

2.3.2 Teoría de la seguridad alimentaria 30

2.4 Marco legal 34

2.4.1 Internacional 34

2.5 Marco metodológico 36

Capítulo 3. Diseño metodológico 39

3.1 Producción y análisis de harina de *H. illucens* 39

3.1.1 Tipo de investigación 39

3.1.2. Población 39

3.1.3. Muestra 39

3.1.4 Análisis de información 40

3.1.5 Diseño experimental 40

3.1.6. Obtención de larvas 40

3.1.7. Desarrollo de larvas en dos sustratos 41

3.1.8 Beneficio animal 42

3.1.9. Análisis del efecto de los sustratos en proporción elevada en carbohidratos y proteínas sobre los componentes nutricionales en la especie H. illucens 42

3.1.10 Evaluación del efecto de dos sustratos alimentación sobre el perfil de ácidos grasos y aminoácidos en la H. illucens. 45

3.1.11. Estimar el impacto potencial de la inclusión de harina de H. illucens en la alimentación de gallinas ponedoras según sus requerimientos nutricionales. 46

3.1.12. Perspectiva económica 46

Capítulo 4. Resultados y discusión 47

4.1 Descripción característica de la *Hermetia illucens* 47

4.1.1. Morfología 48

4.1.2. Distribución 53

4.1.3. Etología 53

4.1.4. Adaptación 58

4.1.5. Órganos de los sentidos 58

4.1.6. Ciclo de vida 59

4.2. Análisis del efecto de los sustratos con mayor contenido en carbohidratos y proteínas sobre los componentes nutricionales de la harina *H. illucens* 62

4.3. Evaluación del efecto de dos sustratos ricos en carbohidratos y proteínas sobre el perfil de aminoácidos y ácidos grasos en la *H. illucens.* 64

4.4 Estimación del impacto potencial de la inclusión de harina de *H. illucens* en la alimentación de gallinas ponedoras según sus requerimientos nutricionales 73

Capítulo 5. Conclusiones 84

Capítulo 6. Recomendaciones 86

Referencias 87

Apéndices 102

Lista de tablas

Tabla 1 Clasificación taxonómica de la H*ermetia illucens* 48

Tabla 2 Monitoreos de temperaturas, humedad relativa y producción en gramos de larvas 56

Tabla 3 Ciclo de vida *H. illucens* 59

Tabla 4 Peso y longitud por tratamiento y por réplica de la *H. illucens* 60

Tabla 5 Componentes nutricionales de la *H.illucens* según las dietas 63

Tabla 6 Aminoácidos presentes en la harina de *H. illucens* 66

Tabla 7 Clasificación de los ácidos grasos presentes en la harina de *H. illucens* 69

Tabla 8 Ácidos grasos presentes en harina de larva de *H. illucens* 70

Tabla 9 Valor nutricional y comparación de algunas materias primas con la harina de *H. illucens* obtenida en diferentes sustratos 73

Tabla 10 Ácidos grasos presentes en algunas materias primas comparados con la harina de *H. illucens* obtenida en diferentes sustratos 76

Tabla 11 Requerimientos nutricionales de gallinas ponedoras vs componentes nutricionales de la *H. illucens* 78

Tabla 12 Componentes nutricionales de un concentrado vs componentes nutricionales de la *H. illucens* 80

Lista de figuras

Figura 1 Adulto de *H. illucens* 49

Figura 2 Vista ventral de apéndices terminales del abdomen indicando dimorfismo sexual en *H. illucens* 50

Figura 3 Huevos de *H.illucens* 50

Figura 4 Larva de *H. illucens* y sus tres segmentos 51

Figura 5 Larvas obtenidas en los sustratos evaluados. L1, L2, L3, L4, L5, L6 (prepupa) 52

Figura 6 Pupa en estado interna de metamorfosis completa de *H. illucens* 52

Figura 7 Monitoreos de Temperatura durante el estudio 55

Figura 8 Monitoreos de Humedad durante el estudio 55

Figura 9 Pesos por larva de la *H. illucens* según los tratamientos 61

Figura 10 Longitud por larva de la *H. illucens* según los tratamientos 61

Figura 11 Harina de *H. illucens* 63

Lista de apéndices

Apéndice A Cronograma de actividades..... 102

Apéndice B Presupuesto para el desarrollo del proyecto..... 102

Apéndice C Áreas para el desarrollo de la *Hermetia illucens* 103

Apéndice D Recolección de posturas 103

Apéndice E Desarrollo de la investigación y toma de muestras..... 103

Apéndice F Pesaje de larva 104

Apéndice G Larvas según los tratamientos empleados..... 104

Apéndice H Larvas l5 y L6..... 105

Apéndice I Larvas según los tratamientos empleados 105

Apéndice J Larvas secadas..... 105

Apéndice K Harina larvas de *Hermetia illucens* bajo tratamientos..... 106

Apéndice L Ácidos grasos *Hermitia illucens* T1 106

Apéndice M Ácidos grasos Harina *Hermetia illucens* T2 107

Introducción

El uso de insectos en la alimentación de aves, particularmente en gallinas, data desde hace muchos años, puesto que naturalmente son entomófagos o insectívoros y al pastorear se alimentan de cucaracha, larva de moscas, entre otras especies (Avendaño et al., 2020). En los últimos años, se ha observado un gran interés en la cría de insectos para piensos en la alimentación animal, este se basa en aprovechamiento del potencial nutritivo con el fin de mejorar la sostenibilidad de los sistemas productivos, los diferentes estudios en el mejoramiento de los métodos de crianza y los cambios en las normativas del mundo han permitido que se puedan producir insectos en masa como alimento animal y humano generando el crecimiento del sector (Parodi et al., 2021).

El interés en apoyar la entomofagia como alternativa en los sistemas de producción pecuaria, se genera a través de los diferentes estudios que demuestran un potencial en la calidad nutricional de los insectos, uno de ellos fue el realizado por Ghosh, et al (2017), en sus resultados observaron que la mayoría de las especies contenían una gran cantidad de proteína con baja variación (54–58%), pero *Protaetia brevitarsis* contenía la menor cantidad (44,2%). El contenido de grasa fue muy variable (11,9 a 34,5%) y *Tenebrio molitor* poseía la mayor cantidad (34,5%). A diferencia de las carnes animales convencionales, los insectos contenían un mayor contenido de fibra, que oscilaba entre el 4 y el 11%; así mismo, Onyeike y colaboradores (2005), una vez evaluaron la composición aproximada de nutrientes, el valor energético, las concentraciones de minerales, la composición de aminoácidos y la puntuación química de las larvas del escarabajo rafia de la palma (*Oryctes rhinoceros*) y del gorgojo (*Rhyncophorus*

pheonicis), en sus resultados observaron que los valores de humedad, cenizas y proteína cruda fueron significativamente ($p < 0,05$) mayores en *O rhinoceros* que en *R pheonicis*, mientras que ocurrió lo contrario para los valores de grasa cruda, carbohidratos totales y contenido energético. El contenido de proteína cruda de ambas muestras fue alto, con un valor de 42,3 ± 0,84% para el picudo de la palma y 31,6 ± 0,59% para el picudo de la palma, mientras que la grasa cruda fue alta (17,3 ± 1,2%) en el picudo de la palma y muy baja (0,55 ± 0,10%) en el escarabajo de la palma.

Onyeike et al (2005), afirman en su investigación que el poder calorífico en kcal por 100 g -1 de muestra fue de 425 en *R pheonicis* y fue significativamente mayor ($p < 0,05$) que el valor de 285 en *O rhinoceros*, debido a una grasa cruda y carbohidratos totales relativamente mayores en el primero en comparación con el segundo. Las concentraciones de minerales fueron altas y diferentes para todos los elementos, siendo *O rhinoceros* el que tenía el nivel más alto de muchos de los elementos minerales (calcio, magnesio, potasio, manganeso, hierro y fósforo) en comparación con *R pheonicis*, lo que coincide con un nivel significativamente mayor ($p < 0,05$) contenido de cenizas de 12,7 ± 0,81% en *O rhinoceros* frente al valor de 4,2 ± 0,45% de cenizas en *R pheonicis*, ya que estos proporcionan una buena fuente de proteínas, minerales, vitaminas y energía, que pueden ser más baratas que las proteínas de vertebrados ~~l~~as comunidades rurales pobres, su consumo ha evitado muchos casos de desnutrición (FAO, 2013). Los insectos tienen un mayor contenido de proteína por peso que otros alimentos de origen animal y vegetal, como la carne de res, el pollo, el pescado, la soja y el maíz (Govorushkoa, 2019).

Al igual es obligatoria la selección adecuada de especies entomológicas para piensos en alimentación animal, basada en la idoneidad de la producción en masa y características como la robustez y el suministro de proteína/biomasa y el uso previsto, además de las consideraciones de costos en relación con su producción, que pueden variar de acuerdo al sustrato alimenticio para su reproducción y crecimiento, como por ejemplo sobras orgánicas y subproductos de cosecha que suplan los requerimientos nutricionales entre éstos micronutrientes tanto en larvas como en adultos (Rumpold et al., 2013).

Entre las especies de mayor interés, debido a su corto periodo productivo, el potencial nutricional, así como la capacidad de bioconversión de sobras orgánicas y alta biomasa en pequeños espacios contribuyendo a la descontaminación del medio ambiente está la mosca soldado negra (Black Soldier Fly, BSF) (Mikołajczak et al., 2022).

La mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) es considerada eficiente en el reciclaje de materia orgánica, si bien, se alimentan de este recurso en descomposición, solo lo hace durante el estadio de larva, por lo cual difícilmente está asociada con la transmisión de enfermedades, esto debido a que en la larva existen de manera natural antibióticos, por lo que la inocuidad de su biomasa no se ve afectada (Makkar et al., 2014).

El aumento considerable del uso de *H. illucens* como recurso proteico sostenible, se establece dada las ventajas que se han generado a través del tiempo; siendo entre las más importantes la calidad nutricional tanto en proteína como en grasa, la utilización eficiente de residuos orgánicos que no pueden ser usados por otros animales contribuyendo a la recirculación

de nutrientes y disminuyendo el negativo impacto ambiental que éstos generan (Miranda et al., 2021). Para acelerar el flujo de descomposición y conversión de las sobras orgánicos, potencialmente se puede utilizar especies de insectos y, las larvas de la mosca soldado negra (*H. illucens*), se consideran eficientes en las tasas de crecimiento y en la conversión de las sobras orgánicas para producir alimento rico en aminoácidos (Spranghers et al. 2017).

Bajo el contexto en mención, la producción de mosca soldado además de constituir una fuente alternativa nutricional para piensos en la alimentación animal, también contribuyen a mitigar el gran aumento de los residuos orgánicos generados por la humanidad que se considera una amenaza no solo para la salud humana sino también para el medio ambiente (Siddiqui et al., 2022).

La harina obtenida a partir de la larva de mosca soldado negra (*H. illucens*) ha sido una de las propuestas más innovadoras y de mayor relevancia en alternativas para la alimentación de diferentes especies pecuarias, gracias a que esta especie de insecto puede desarrollarse en diferentes fuentes de sustrato, son especies voraces capaces de transformar sustratos en abonos orgánicos, obteniendo como resultado larvas en cortos periodos de tiempo ricas en nutrientes como lípidos y proteínas principalmente. Estas larvas son disecadas, molidas y procesadas para la obtención de una harina netamente proteica la cual se puede reemplazar ciertos niveles de dietas comerciales dentro del campo de la producción animal (Molina, 2021).

Según Maurer (2016), utilizar harina de *H. illucens* como una fuente de proteína en la alimentación de gallinas ponedoras no afecta negativamente la producción de huevos, la

eficiencia alimenticia ni el consumo de alimento. Se ha comprobado que su rendimiento es similar al de las harinas de maíz y soya (Cutrignelli et al., 2017). La harina de larvas de *H. illucens* presenta niveles de proteína más elevados en comparación con las harinas de soya (Veldkamp et al., 2015).

La *H. illucens* es materia prima alimenticia rica en minerales, aminoácidos esenciales y en proteína con valores de hasta el 60% o más, aunque esto dependa de los insumos para alimentarlas, esto demuestra que su alto contenido de proteína provoca que sus valores energéticos metabolizables sean altos. Los niveles de uso de *H. illucens* han permitido reemplazar hasta el 100% de la soya, teniendo en cuenta resultados positivos en la producción de huevos y el consumo de éste, teniendo en cuenta las principales características importantes de un huevo de calidad como el color de la yema, la resistencia de la cascara y la calidad nutricional del interior del huevo (Juárez, 2020).

Capítulo 1. Efecto de dos sustratos alimenticios sobre el perfil de ácidos grasos y aminoácidos en la harina de larva de *Hermetia illucens* y su potencial inclusión en dietas en aves de postura

1.1 Planteamiento del problema

El índice de crecimiento poblacional en el mundo va en aumento, actualmente existe 8.000 millones de personas en el mundo y para el 2037 se espera que la población sea de 9.000 millones (ONU, 2022). Así mismo, se prevé un aumento en el consumo de productos de origen animal del 60 – 70%; lo que implica mayores exigencias en la producción de recursos alimenticios (Arévalo., et al 2022).

A pesar de ello, la seguridad alimentaria no está garantizada, debido a causas como el cambio climático, el impacto negativo del estilo de vida moderno, incluso en el aumento del uso de plásticos desechables que se generó durante la pandemia COVID 19 (Jue, Z., et al 2022), a lo anterior se le debe sumar la falta de aprovechamiento de sobras orgánicas y las oportunidades para que estos nutrientes sean usados apropiadamente.

Entendiendo la grave situación a la cual se enfrenta a la humanidad, es necesario reconsiderar fuentes alimenticias de ciclo productivo corto, de esta manera la industria avícola ha venido creciendo, es así como, para el año 2021 en Colombia alcanzó una tasa de crecimiento de 4.4%, (Fenavi., 2021). No obstante, es indispensable superar la dificultad que este sistema productivo presenta, la cual radica en la alimentación basada en concentrados realizados a partir de cultivos de maíz y soya, sistemas que requieren grandes cantidades de insumos agropecuarias

y recursos energéticos (Karlsson et al., 2021); insumos que, en el caso de Colombia, deben importarse, todos estos factores representan altos costos en la canasta familiar.

Esta situación genera retos y dificultades en la alimentación animal, principalmente y como motivo de estudio de esta investigación, en la bio disponibilidad de proteína de alta calidad y ácidos grasos, para la obtención de un huevo con valor agregado, de ahí que, se estén implementando alternativas más ecológicas, que incidan en una producción debidamente sostenible ambiental y económicamente (Figueredo y Albarracín 2021).

En respuesta a estas necesidades, ha surgido con gran fuerza la zoocrianza y producción de insectos para el consumo animal, como una estrategia viable para la producción de alimentos en el futuro (Avendaño et al., 2020), de esta manera se propuso la larva de mosca soldado negra , caracterizada por ser organismos eficientes en la transformación de sobras orgánicas, metabolizándolos en proteína sustentable, de alto valor nutricional, lo que permite que indirectamente se aporte a la economía circular ecológica (Pachamango et al., 2022).

Actualmente, las harinas de insectos se han considerado materias primas prometedoras en la nutrición animal, debido a que se caracterizan por un alto contenido de proteína, grasa, además de propiedades beneficiosas; la mosca soldado negro (*H. illucens*) es una de las especies más estudiadas debido a su alta fertilidad, corto ciclo de vida, alta tasa de conversión de proteína de calidad y buena composición de ácidos grasos que promueven una buena salud (Mikołajczak et al., 2022). Por lo anterior, se hizo necesario determinar los componentes nutricionales de la *H. illucens* bajo las condiciones del bioterio de la universidad Francisco de Paula Santander de

Ocaña, ubicada en la región del Catatumbo y las diferencias de acuerdo a los sustratos alimenticios, como estrategia de la optimización en la implementación de este recurso alternativo. Puesto que la información o referencias provienen de otras latitudes, con otras condiciones ambientales diferentes a los de la zona de la provincia, se requirió conocer con exactitud el perfil bromatológico y contenido de ácidos grasos y aminoácidos de la harina de larva de mosca soldado negra (*H. illucens*), su potencial como recurso nutricional en la dieta de aves de postura con miras a la optimización de índices productivos y calidad del huevo, producido en la granja experimental de la Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña y hacer las respectivas capacitaciones para implementar el uso de este recurso en toda la zona del Catatumbo.

1.2 Problema científico

La demanda de proteína de origen animal y los altos costos de producción, representados en mayor porcentaje, entre 60 y 70% en la alimentación de los animales, suponen la principal amenaza a la producción afectando de manera negativa los márgenes de ganancia de los sistemas pecuarios (Núñez- Torres, 2017). Por consiguiente, se aúnan esfuerzos en el estudio de estrategias alimenticias que permitan el uso de materias primas no convencionales, como es el caso del recurso entomológico, caracterizado por su aporte aminoácidos y ácidos grasos de alto valor biológico a bajo costo, puesto que, su reproducción y cosecha se realiza a base de sustrato de sobras orgánicas; al mismo tiempo, que pueden catalogarse como grandes bio convertidores, que ayudan al medio ambiente y reducen los costos de producción, por lo que se sitúa como objeto de estudio, la crianza y producción de larva mosca soldado negra (*H. illucens*) como alternativa de proteína disponible en el potencial alimenticio de aves de postura. (Cabrera., y

López, 2021). De acuerdo a lo anterior, se hace necesario conocer el aporte nutricional de la mosca soldado negra en zoocría bajo las condiciones del bioterio de la universidad Francisco de Paula Santander de Ocaña.

1.3 Pregunta de investigación

¿Tendrá un efecto el porcentaje de CHO y proteína en los sustratos a suministrar en *H illucens* influyendo en el valor nutricional del perfil de ácidos grasos y aminoácidos de la harina a incluir en dietas de aves de interés pecuario en etapa de postura?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar el efecto de dos sustratos alimenticios sobre el perfil de ácidos grasos y aminoácidos de la harina de larva de *H. illucens* y su potencial inclusión en la alimentación de aves en postura.

1.4.2 Objetivos específicos

Analizar el efecto de los sustratos ricos en carbohidratos y proteínas sobre los componentes nutricionales en la especie *H. illucens.*

Evaluar el efecto de dos sustratos ricos en carbohidratos y proteínas sobre el perfil de aminoácidos y ácidos grasos en la *H. illucens*.

Estimar el impacto potencial de la inclusión de harina de *H. illucens* en la alimentación de gallinas ponedoras según sus requerimientos nutricionales.

1.5 Justificación

La búsqueda de fuentes sostenibles y nutritivas de alimentos para la producción animal se ha vuelto esencial en un mundo donde la demanda de proteína animal está en constante aumento. En este contexto, la harina de larva de *H. illucens,* ha surgido como una alternativa prometedora en la alimentación en el sector pecuario debido a su alto contenido proteico, de ácidos grasos y su capacidad para transformar subproductos orgánicos en materias nutritivas de interés en la producción pecuaria (Cullere et al., 2016).

La cría de larvas de *H. illucens* para obtener harina proteica se considera un proceso ambientalmente sostenible. Estas larvas tienen la capacidad única de convertir subproductos orgánicos, como sobras de cocina y residuos agrícolas, en proteína de alta calidad (Surendra, et al, 2020). Al incorporar la harina de larva en la alimentación animal, se puede reducir la presión sobre las fuentes tradicionales de alimentos en la producción pecuaria, como la soya y el pescado, que a menudo tienen un impacto ambiental significativo debido a la deforestación y la sobreexplotación pesquera (Newton, 2015). Además, la harina de esta especie suministra una proporción equilibrada de aminoácidos esenciales, incluidos aquellos que suelen ser limitantes en las dietas avícolas, como la metionina y la lisina (Spranghers et al., 2017).

Este recurso se presenta como un ingrediente versátil en la formulación de dietas para aves ya que, al utilizarse en diferentes etapas de producción avícola, adaptándose a las

necesidades nutricionales específicas de cada fase. Además, su procesamiento, manejo y fácil digestibilidad es de gran ayuda su integración en las prácticas actuales de alimentación animal.

Este trabajo permitió generar conocimiento sobre la composición de la harina de *H. illucens* en cuanto al perfil bromatológico haciendo énfasis en los ácidos grasos y aminoácidos; al usar dos sustratos de residuos orgánicos, uno con alto contenido en carbohidratos y el otro con elevado contenido en proteínas; así mismo, adaptando los métodos de crianza y producción de la larva y determinar el potencial como alternativa alimenticia, bajo condiciones climáticas propias del municipio Ocaña norte de Santander; igualmente observar la capacidad bio conversora de la larva en los residuos orgánicos para el aprovechamiento y recirculación de nutrientes.

1.6 Delimitaciones

1.6.1 Delimitación operativa

Se trabajó con larvas de mosca soldado negra (*H. illucens*), se comenzó con un pie de cría de 2000 larvas, las cuales llegaron a estado adulto y realizaron la postura, estos huevos se obtuvieron de las trampas que fueron colocadas para tal fin. Se recolectaron los huevos y se ubicaron en contenedores plásticos, cuando eclosionaron las larvas se dividieron en dos tratamientos, las larvas de un tratamiento fueron alimentados con sobras orgánicas de cocina con alto contenido en carbohidratos, y las larvas del otro tratamiento, alimentadas con sobras orgánicas con alto contenido en proteínas, obtenidas del restaurante de la UFPSO. Se contó con la colaboración del profesional de apoyo encargado del bioterio.

1.6.2 Delimitación conceptual

En la investigación se tuvieron en cuenta conceptos como producción de insectos, zoocría entomológica, alimentación, bioterio, ciclo de vida, materias primas alimentarias alternativas.

1.6.3 Delimitación geográfica

El ensayo se realizó, en el bioterio de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, sus coordenadas son 8°14'17.6"N 73°19'15.5"W, con precipitación pluvial anual de 1162 mm, a 1200 msnm, con una humedad relativa del 70% y una temperatura media de 21°C - 25°C, bosque seco tropical de acuerdo a clasificación zonas de vida de Holdridge (Holdridge, 1987).

1.6.4 Delimitación temporal

La investigación se desarrolló en un tiempo de 10 meses, durante los cuales se hizo recolección de información, adaptación de la *H. illucens*, producción de las larvas, procesamiento de la harina y análisis de la información obtenida.

Capítulo 2. Marco referencial

2.1 Marco histórico

H. illucens, comúnmente conocida como la mosca soldado negra, es una especie de insecto fascinante reconocida por sus singulares contribuciones ecológicas y aplicaciones en el manejo de residuos y la nutrición animal. Esta descripción se basa en su visión general en fuentes científicas para proporcionar una visión general de sus características físicas y ciclo de vida (Cabrera & López 2019). El adulto de *H. illucens,* es una mosca de tamaño mediano a grande, con un cuerpo robusto y corpulento que suele medir entre 16 y 18 milímetros de longitud (Gobbi, (2012). Presenta un distintivo color azul-verde metálico, y sus alas son membranosas con tonalidades marrones ahumadas y un patrón característico (Sheppard et al., 2002; Tomberlin et al., 2009). El ciclo de vida de la *H. illucens*, se da en las siguientes etapas:

Etapa de Huevo: Las hembras adultas de la mosca soldado negra depositan pequeños huevos de color crema en grupos, generalmente en materia orgánica en descomposición rica en nitrógeno (Tomberlin et al., 2001). Los huevos eclosionan en larvas en pocos días bajo condiciones ambientales propicias.

Etapa de Larva: La etapa larval o "larva" se caracteriza por una alimentación intensiva de residuos orgánicos, incluidos restos de cocina y subproductos agrícolas. Las larvas desempeñan un papel crucial en la bioconversión, convirtiendo eficientemente la materia orgánica en biomasa rica en proteínas y grasas (Gobbi., 2012).

Etapa de Pupa: Las larvas buscan un área seca y resguardada para pupar. La pupación implica metamorfosis, con la transición de larvas a moscas adultas (Sheppard et al., 2002).

Etapa Adulta: Las moscas adultas de la mosca soldado negra no se alimentan y tienen una vida relativamente corta, que varía desde unos pocos días hasta un par de semanas. Los adultos se centran en la reproducción, completando así el ciclo de vida (Diener et al., 2009).

Las larvas y pre pupas de la mosca soldado negra se pueden criar satisfactoriamente con sobras orgánicas domésticas y utilizarse como alimento para aves de corral, ofreciendo una forma sostenible potencial de reciclar nutrientes subvalorados. Los resultados de los estudios mencionados a continuación son muy diversos, debido a que se necesita más investigación sobre el contenido nutricional de las larvas de *H. illucens*, ya que este puede cambiar de acuerdo al sustrato en el que se alimenten, al estadio del ciclo de vida y al beneficio que se les hace para obtener la harina y se debe realizar una estandarización de la producción (Gobbi., 2012).

La investigación que realizó Kawasaki et al (2019) determinó si las larvas y pre pupas enteras (no desgrasadas) de *H. illucens* criadas con residuos orgánicos domésticos experimentales podrían sustituir la harina y aceite de soya como ingredientes en las dietas de gallinas ponedoras. Si bien no se observaron diferencias significativas en la ingesta de alimento y la tasa de puesta de huevos de las gallinas durante todo el experimento, el peso de los huevos y el grosor de la cáscara de los huevos fueron mayores en el grupo alimentado con pre pupas que en los otros grupos.

Además, aunque la diversidad de microbiota cecal fue significativamente mayor en el grupo alimentado con pre pupas que en el grupo control, no se observaron diferencias significativas en los géneros bacterianos conocidos por causar intoxicaciones alimentarias al comparar los grupos de tratamiento. Sin embargo, las poblaciones de *Lactobacillus* y *Bifidobacterium sp* fueron significativamente más bajas en el grupo de tratamiento que en el grupo control. El contenido de grasa en *H. illucens* posiblemente estuvo relacionado con los cambios en microbiota cecal. Por lo tanto, dado que la grasa de *H. illucens* era deficiente en ácidos grasos esenciales, se debe prestar especial atención al contenido de grasa y la composición de ácidos grasos en el caso de la inclusión regular de aceite de larvas y pre pupas de *H. illucens* como ingrediente en las dietas de aves de corral (Kawasaki et al., 2019).

De igual manera el estudio que realizó Wang, S. et al (2017), determinó que las pre pupas tienen altas proporciones de proteínas y grasas y pueden servir como alimento para el ganado y como materia prima para la producción de biodiesel. Se analizaron los efectos de las sobras alimentarias, porquinaza, pollinaza y bovinaza sobre el potencial reproductivo y la composición de nutrientes de la *H. illucens.* La tasa intrínseca de aumento de biomasa de *H. illucens* alimentados con desechos de alimentos (0,1249 d-1) fue significativamente mayor que la tasa de aquellos alimentados con porquinaza (0,1167 d-1), pollinaza (0,1154 d-1) y bovinaza (0,1049 d-1). El contenido de cenizas de *H. illucens* alimentado con residuos de alimentos (3,08 g/100g MS· de materia de pre pupa liofilizada (LPM)) fue significativamente menor que el de aquellos alimentados con estiércol de pollo (3,7 g/100g MS-1 LPM) y estiércol de vaca (4,9 g/100g MS· LPM). Los contenidos de grasa cruda, 37,24 g/100g MS LPM, y proteína, 43,6 g/100g MS LPM, en pre pupas alimentadas con desechos de alimentos fueron los más altos entre los cuatro

tratamientos. El rendimiento reproductivo y la composición de nutrientes pre pupal indicaron que los desechos de alimentos eran el alimento más adecuado para *H. illucens*. Los resultados de este estudio demuestran además que las pre pupas de *H. illucens* tienen un gran potencial para su uso como fuente de proteínas y grasas en alimentos para animales y como material de biodiesel. Y por último en otro estudio realizado por Spranghers et al., (2017), investigaron que las larvas de mosca soldado negra son convertidores de desechos orgánicos en biomasa comestible, cuya composición puede depender del sustrato. En este estudio, las larvas se cultivaron en cuatro sustratos: alimento para pollos, desechos vegetales, digesto de biogás y desechos de restaurantes. Se liofilizaron muestras de pre pupas y sustratos adelantándose análisis proximales de aminoácidos, ácidos grasos y minerales. Y encontraron los siguientes resultados que el contenido de proteína de las pre pupas varió entre 39,9 y 43,1 g/100g de materia seca (MS) entre tratamientos. Las diferencias en el perfil de aminoácidos de las pre pupas fueron pequeñas. Por otro lado, el contenido de extracto etéreo (EE) y de cenizas difirió sustancialmente. Las pre pupas criadas con digestrato tuvieron un bajo contenido de EE y un alto contenido de cenizas (21,8 y 19,7 g/100g MS, respectivamente) en comparación con las criadas con desechos vegetales (37,1 y 9,6 g/100g MS, respectivamente), alimento para pollos (33,6 y 10,0 g/100gMS, respectivamente) y residuos de restaurantes (38,6 y 2,7 g/100g MS, respectivamente). Los perfiles de ácidos grasos pre púpales se caracterizaron por altos niveles de C12:0 en todos los tratamientos y concluyendo que el contenido y la calidad de las proteínas eran altos y comparables para las pre pupas criadas en diferentes sustratos, la mosca soldado negra podría ser una fuente interesante de proteínas para la alimentación animal.

Investigaciones como la de Barragan-Fonseca et al (2017), expone que la larva de la mosca soldado negra es rica en proteínas, grasas, minerales, vitaminas y quitina, y puede ser criada en substratos orgánicos como residuos vegetales, estiércol animal o desperdicios alimentarios; la larva de la mosca soldado negra puede reemplazar parcial o totalmente la harina de soya o la harina de pescado en las dietas de aves y cerdos, sin afectar negativamente su rendimiento productivo, calidad de carne, digestibilidad, antioxidantes e inmunidad; la larva de la mosca soldado negra también tiene potencial para ser usada en la alimentación de rumiantes, pero se requiere más investigación al respecto; los principales desafíos para el uso masivo de la larva de la mosca soldado negra son las regulaciones legales, la aceptación del consumidor, el costo, la disponibilidad y la estandarización de los procesos de producción y procesamiento.

Sheppard., et al (2002) evaluaron el uso de larvas o harinas de larvas de mosca soldado negra en ensayos con pollos, cerdos y tilapias, pues sus características la convierten en una materia prima de fácil incorporación y precisa en la formulación de dietas para animales, obteniendo proteína cruda y lípidos altamente deseables por su contenido de cadenas medias de ácidos grasos monoinsaturados.

Los recursos marinos usados en la alimentación pecuaria están experimentando una disminución lo que conlleva a una escasez, en la cantidad de harina de pescado requerida para satisfacer la demanda de proteína. Esta situación se debe a la extracción excesiva e especies marinas, el cambio climático, la contaminación, entre otros factores (FAO, 2020). Por lo tanto, una de las alternativas proteicas que se tienen en cuenta son los insectos, uno de los más prometedores; El estudio realizado por Sheppard et al., (2002)) se probaron dos harinas de insectos diferentes en distintas proporciones de reemplazo de harina de pescado (15,0 y 30,0

g/100gMS) en dietas para *Oncorhynchus mykiss*. Este estudio cubre diversos aspectos relacionados con el crecimiento, la utilización de proteínas, el estado fisiológico del pez y la calidad del producto final. La inclusión de harinas de insectos no tuvo efectos negativos en el crecimiento, la utilización de proteínas y en el estado fisiológico del pez. En el nivel más alto de reemplazo de harina de pescado con *Tenebrio molitor*, los peces mostraron una mayor digestibilidad de la proteína, una reducción en el índice víscera somático y un mayor catabolismo aeróbico, generando un ambiente pro oxidativo que fue compensado por un aumento en las enzimas antioxidantes, revelando la importancia de elegir la harina de insectos adecuada. El estudio demuestra que la harina de insectos puede ser una alternativa viable para el reemplazo parcial de harina de pescado en la trucha arcoíris, pero se necesitan más estudios para determinar la harina de insectos más adecuada para este modelo pecuario y para tratar la reducción de ácidos grasos omega-3 (Melechón et al., 2018).

2.2 Marco conceptual

Según Barroso et al. en el 2018 mencionaron que, *H. illucens* es un insecto de la familia Stratiomyidae, nativa de las zonas tropicales, subtropicales y templadas de América, su enemigo natural es el *Trichopria* sp que parasita sus pupas. Se ha utilizado como fuente de proteína en la alimentación animal debido a su alta tasa de crecimiento, alto contenido proteico y bajo costo de producción.

De acuerdo con Reátegui et al., (2020), *H. illucens* es una especie de mosca soldado negra que ha sido identificada como una fuente alternativa de proteína en la alimentación animal

y humana, con el potencial de reducir la dependencia de la industria pesquera y la agricultura en la producción de proteína con destino pecuario.

Según Newton et al. (2015), *H. illucens* es una especie de insecto que ha demostrado ser eficaz en la conversión de residuos orgánicos en proteína de alta calidad, lo que lo convierte en una posible solución a los desafíos globales de sostenibilidad alimentaria y ambiental.

2.3 Marco teórico

2.3.1 Teoría general de sistemas

La teoría general de sistemas (TGS) maneja un enfoque interdisciplinario buscando entender y explicar los sistemas en su conjunto, asumiendo como formas complejas que se hallan en continua interacción y cambio con su entorno (Von Bertalanffy, 1989).

Dentro de dicha teoría los principios de los sistemas se entienden como entidades complejas compuestas por elementos que se encuentran interrelacionados, tienen un propósito que guía su comportamiento, interactuando con su entorno y estando al mismo tiempo influenciados por él, estos además, tienen una estructura determinada por el propio comportamiento y la innata capacidad de adaptación además cuentan con una jerarquía en niveles, partiendo de los elementos individuales hasta el mismo sistema completo. Al momento de aplicación de la teoría se hace en diferentes campos como la biología, la psicología, ingeniería, informática y administración y en este caso para aportar en las ciencias pecuarias. Podemos mencionar entre las ventajas de la teoría general de sistemas se aborda el análisis de los sistemas en su totalidad, se consideran el entorno y sus componentes, su capacidad de integrar

diferentes disciplinas y perspectivas para comprender un sistema complejo, la identificación de patrones y estructuras útiles para la toma de decisiones.

Aún con las mencionadas ventajas, se deben considerar algunas debilidades o críticas como, la dificultad en la aplicación práctica de la teoría, pues es complejo el abordaje en los sistemas reales, también, un marco metodológico claro para la aplicación de la teoría y la posibilidad de que se utilice de manera simplista para justificar decisiones o acciones (Von Bertalanffy, 1989; García Sánchez, 2011; Martínez, 2006 y Scott, 2013).

2.3.2 Teoría de la seguridad alimentaria

La seguridad alimentaria se refiere a la situación en la que todas las personas tienen acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, seguros y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimentarias y preferencias culturales, garantizando así una vida activa y saludable (FAO, 1996).

La FAO en el 2001 consideraron algunas dimensiones respecto de la seguridad alimentaria, mencionando principalmente cuatro dimensiones; cuando se refiere a disponibilidad hace énfasis en la producción de alimentos y la capacidad para satisfacer la demanda alimentaria de la población; respecto de la accesibilidad, se menciona que las personas deben poder tener la capacidad física y económica para acceder a los alimentos. Según Pistrup-Andersen (2009), en esta teoría sostiene que la seguridad alimentaria se logra cuando todas las personas tienen acceso físico, social y económico a alimentos adecuados y nutritivos. Con relación a la utilización, es la capacidad de las personas para utilizar los alimentos que consumen de manera efectiva, es decir,

para absorber los nutrientes necesarios para su salud. De acuerdo a Kennedy y Bouis (1993), esta teoría sostiene que la seguridad alimentaria se logra cuando la población tiene acceso a alimentos nutritivos y los utiliza adecuadamente para satisfacer sus necesidades nutricionales. Con relación a la estabilidad, se dice que es la capacidad de la población para acceder a alimentos de manera constante y sostenible a lo largo del tiempo; Sen (1981) argumenta que, la teoría de la estabilidad, se logra cuando la disponibilidad, el acceso y la utilización de alimentos se mantienen estables en el tiempo, incluso en situaciones de crisis o cambio.

Dentro de todo, existen además factores que afectan la seguridad alimentaria como la pobreza, la desigualdad, la falta de acceso a recursos, la falta de tecnología, el cambio climático, las crisis económicas y los conflictos armados (FAO, 2020).

Al mencionar las políticas y estrategias que mejoran la seguridad alimentaria se mencionan que sirven para implementar políticas y estrategias a nivel nacional e internacional como la promoción sostenible, la agricultura resiliente al clima, el mejor acceso a los recursos y tecnología para los productores y las comunidades rurales, además, asegurar que las políticas y prácticas comerciales sean justas y equitativas, también fortalecer los sistemas de protección social y de salud para garantizar el acceso a alimentos de calidad, mejorar la educación y la información sobre nutrición y alimentación saludable ((FAO, 2002).

La seguridad alimentaria se refiere al conjunto de medidas y acciones destinadas a garantizar que los alimentos sean inocuos, es decir, que no causen daño a la salud de las personas que los consumen. Esto implica la protección de los alimentos desde su producción hasta su

consumo, incluyendo la manipulación, el procesamiento, el almacenamiento y la distribución, además de la inocuidad, la seguridad alimentaria también implica el acceso suficiente y regular a alimentos nutritivos y adecuados para satisfacer las necesidades nutricionales de las personas, así como la protección de los derechos de los consumidores y la promoción de prácticas alimentarias saludables y sostenibles. En resumen, la seguridad alimentaria busca asegurar que todos tengan acceso a alimentos seguros, nutritivos y suficientes para mantener una buena salud y bienestar (FAO, 2011).

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son una iniciativa de las Naciones Unidas que busca abordar los desafíos globales más apremiantes, incluyendo la pobreza, la desigualdad, el cambio climático y la paz y la justicia. Los objetivos 2, 8 y 17 son particularmente relevantes para la seguridad y soberanía alimentaria. El ODS 2 tiene como objetivo "Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y mejorar la nutrición y promover la agricultura sostenible". Este objetivo reconoce las interrelaciones entre el apoyo a la agricultura sostenible, el empoderamiento de los pequeños agricultores, la promoción de la igualdad de género, el fin de la pobreza rural, el aseguramiento de estilos de vida saludables, el enfrentamiento al cambio climático y otros temas abordados dentro del conjunto de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible en la Agenda de Desarrollo Post-2015. El ODS 8 tiene como objetivo "Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos". Este objetivo reconoce que el crecimiento económico es esencial para reducir la pobreza y mejorar los niveles de vida, pero también debe ser inclusivo y sostenible. El trabajo decente es un componente clave para lograr este objetivo, ya que proporciona a las personas ingresos estables y les permite acceder a alimentos nutritivos. El ODS 17 tiene como objetivo

"Fortalecer los medios de implementación y revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible". Este objetivo reconoce que, para lograr los otros 16 ODS, se requiere una cooperación internacional sólida y efectiva. Esto incluye el fortalecimiento de las capacidades nacionales, el aumento del comercio justo, el fomento de la inversión en tecnologías sostenibles y el fortalecimiento de las alianzas entre gobiernos, sociedad civil, sector privado y otros actores (FAO, 2013 & FAO, 2021).

En cuanto al uso de materias primas alternativas como insectos para mejorar la seguridad alimentaria, hay varias especies que están siendo investigadas por su potencial como fuentes alternativas de proteína. Algunas especies comunes incluyen la mosca soldado negra (H. *illucens*), el tenebrio (*Tenebrio molitor*) y la zophoba (*Zophobas morio*). Estos insectos pueden ser criados en substratos orgánicos como residuos vegetales, estiércol animal o sobras pecuarias. Además, tienen una alta eficiencia en la conversión de alimento en biomasa y son ricos en proteínas, ácidos grasos y minerales. El uso de insectos como fuente alternativa de proteína puede tener varios beneficios (Harsányi et al., 2020) En primer lugar, puede ayudar a reducir la dependencia de fuentes tradicionales de proteína como la soya o la harina de pescado. En segundo lugar, puede ayudar a reducir el impacto ambiental de la producción de alimentos al utilizar residuos orgánicos como substrato para criar insectos. En tercer lugar, puede proporcionar una fuente adicional de ingresos para los pequeños agricultores que pueden criar insectos para su propio consumo o venderlos como alimento para animales en la producción pecuaria (Lu et al., 2022).

Así pues, los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2, 8 y 17 son fundamentales para mejorar la seguridad y soberanía alimentaria. El uso de materias primas alternativas como insectos puede ser una forma efectiva de mejorar la seguridad alimentaria al proporcionar una fuente adicional de proteína nutritiva. Sin embargo, aún se requiere más investigación para determinar las mejores prácticas para criar insectos a gran escala y garantizar su aceptación por parte del consumidor.

2.4 Marco legal

2.4.1 Internacional

El uso de insectos en la alimentación animal ha sido regulado por diversas organizaciones internacionales. A continuación, se presentan algunas de las principales legislaciones internacionales en este ámbito, junto con sus respectivas citas y referencias:

La Comisión Europea ha autorizado el uso de insectos en la alimentación animal a través del Reglamento (UE) 2017/893 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de mayo de 2017, por el que se modifican los Reglamentos (CE) N°999/2001 y (CE) N°142/2011 en lo que respecta a las normas de higiene aplicables a los subproductos animales no destinados al consumo humano y los productos derivados de los mismos, y se deroga el Reglamento (UE) N°142/2011. Este reglamento establece las condiciones higiénicas y sanitarias que deben cumplir los insectos utilizados en la alimentación animal (Reglamento Europeo UE, 2017).

La Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha publicado el informe "Insects for animal feed" en 2014, donde se describen las oportunidades y los desafíos asociados con el uso de insectos en la alimentación animal, incluyendo la legislación y las regulaciones pertinentes en diferentes países y regiones (FAO, 2014).

La Asociación Europea de Insectos para la Alimentación Humana y Animal (IPIFF) ha publicado una guía práctica sobre la regulación del uso de insectos en la alimentación animal en la Unión Europea. Esta guía describe los requisitos legales y técnicos que deben cumplirse para el uso de insectos como alimento para animales (IPIFF, 2017).

Reglamento (UE) 2017/893 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de mayo de 2017, por el que se modifican los Reglamentos (CE) N°999/2001 y (CE) N°142/2011 en lo que respecta a las normas de higiene aplicables a los subproductos animales no destinados al consumo humano y los productos derivados de los mismos, y se deroga el Reglamento (UE) N° 142/2011 (2017). Diario Oficial de la Unión Europea, L 138, 1-18.

Actualmente, en Colombia no existe una regulación específica que regule el uso de insectos en la alimentación animal. Sin embargo, existen leyes y normativas que establecen las regulaciones y lineamientos generales para la producción y comercialización de alimentos para animales en el país.

La regulación aplicable al uso de insectos en la alimentación animal en Colombia se encuentra en la Resolución 4572 de 2010 del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), que

establece los requisitos sanitarios para la producción, comercialización y uso de alimentos para animales. En dicha resolución se establecen las regulaciones generales para la elaboración de alimentos para animales, incluyendo la calidad e inocuidad de los mismos (Instituto Colombiano Agropecuario, 2010).

Además, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural ha publicado la Resolución 366 de 2019, que establece los lineamientos técnicos para la producción, importación y comercialización de alimentos para animales en Colombia. Esta resolución establece los requisitos de calidad e inocuidad que deben cumplir los alimentos para animales, incluyendo los productos derivados de insectos (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019).

2.5 Marco metodológico

Existen diferentes metodologías para evaluar la eficiencia de las larvas de *H. illucens*, aquí se mencionan algunos de los autores más representativos:

El experimento de Cayra-Valencia (2023) se condujo bajo un diseño completamente aleatorizado (DCA), en el cual se alimentó a larvas de BSF con 4 sustratos: T0 (sustrato estándar de la Universidad Católica de Santa María), T1 (mezcla de frutas), T2 (suero de leche y ensilaje), y T3 (brácteas de alcachofa y suero de leche) los cuales previamente fue evaluada su composición nutricional; los resultados obtenidos muestran que el crecimiento de las larvas se vio favorecido con T0 (17.12±0.003a),en tanto el peso se vio favorecido con T0 (3.85±0.35a). En el valor nutricional las que mostraron mejores resultados fueron las larvas alimentadas con T3 con un resultado de 55.27% de proteína cruda (PC); No obstante, el mayor mérito económico se

obtiene al criar las larvas del T2 con 63.85%. Por lo tanto, el sustrato que mostros mejores resultados en el análisis físico-químico (PC 18,96%), y posteriormente teniendo mejores resultados en la alimentación de las larvas de *Hermetia illucens* dando valores positivos en cuanto crecimiento (16.28±0.01b), producción (3.56±0.3b), composición nutricional (PC 55,27%) y también tuvo buenos resultados en el mérito económico (13.14%) fue T3 a comparación de otros sustratos.

En el caso de Kawasaki et al., (2019) el diseño experimental utilizado fue de cuatro tratamientos: control (sin larvas), T1 (con 100 larvas), T2 (con 200 larvas) y T3 (con 300 larvas). Las variables respuestas fueron: el peso, la humedad, el contenido de proteína bruta, grasa bruta, ceniza y energía bruta de las larvas y pre pupas obtenidas después de 14 días de cría. Los resultados obtenidos de dicho estudio concluyeron que el aceite de *Hermetia illucens* no afectó el peso corporal ni la tasa de puesta de huevos de las gallinas ponedoras, ni la altura de las vellosidades y la profundidad de las criptas en el intestino delgado.

En el estudio de López-Rivas (2023) Los tratamientos consistieron en alimentar a las larvas con diferentes tipos y cantidades de residuos restauranteros: carne, verdura o mixto. El control consistió en alimentar a las larvas con un alimento comercial para aves. El autor midió las variables dependientes relacionadas con el crecimiento y la supervivencia de las larvas, la calidad de la biomasa animal y el fertilizante orgánico. El autor realizó análisis estadísticos para comparar los resultados entre los tratamientos y el control, y los resultados obtenidos indican el residuo de cafetería es poco revalorizado por este medio, ya que se obtiene poca biomasa para ser utilizada como fuente de alimentación animal y la composición proximal de los residuos

restauranteros contiene los macronutrientes (carbohidratos, proteína y grasa) necesarios para obtener una alta eficiencia de conversión de la larva de mosca soldado negro obteniendo un mejor rendimiento que usando dietas balanceadas como la dieta Gainesville.

Por otro lado, los investigadores Pachamango, Carrasco, y Roy. (2022) en su estudio el diseño experimental utilizado fue el de bloques completamente al azar (BCA), con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en diferentes proporciones de residuos orgánicos (frutas, verduras y carne) y sustrato (aserrín). Y en los resultados se determinó la eficiencia de reducción de residuos orgánicos mediante la ingesta de las larvas (*H. 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.

En el estudio de Sheppard, Tomberlin, Joyce, Kiser, y Sumer, (2002) el diseño experimental utilizado fue el de grupos aleatorios, ya que se asignaron al azar las larvas a diferentes tratamientos con distintas proporciones de harina de trigo (50%), harina de maíz (20%) y harina de alfalfa (30%) (Dieta balanceada Gainesville). Los autores compararon los resultados obtenidos con cada tratamiento usando análisis estadísticos y concluyeron que el mejor alimento para las larvas es una mezcla de 50% harina de trigo y 50% harina de maíz.

Capítulo 3. Diseño metodológico

3.1 Producción y análisis de harina de *H. illucens*

3.1.1 Tipo de investigación

Esta investigación fue de tipo aplicada, estudio de caso, centrando esfuerzos en hallar alternativas que disminuyeran los costos en la alimentación animal. Se desarrolló mediante un enfoque cuantitativo. Para, el estudio se utilizó un diseño completamente al azar, con dos tratamientos y tres réplicas técnicas para evaluar la homogeneidad de características de biomasa en cuanto a peso y longitud de las larvas de mosca y características físicas y químicas de la harina.

3.1.2. Población

Para la realización de este estudio se usó la *H. illucens* en estado larvario. Se obtuvieron en el bioterio de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, donde se desarrolló el ciclo completo de la misma.

3.1.3. Muestra

La muestra fue conformada por larvas de *H. illucens* en etapa de pre pupa, en cantidades de 40g por replica para que pudieran descomponer los sustratos.

3.1.4 Análisis de información

Para la determinación de las condiciones diferenciales de los tratamientos dispuestos, se aplicaron métodos estadísticos descriptivos (media) con el programa SPSS versión 22®. Se evaluaron las condiciones contrastantes de producción de *H. illucens* de acuerdo con temperatura, humedad, en relación con el consumo. Así mismo se realizaron estadísticos descriptivos (media) para evaluar la respuesta nutricional de la *H. illucens* alimentadas con sustratos con alta proporción de proteína y carbohidratos.

3.1.5 Diseño experimental

Diseño completamente al azar, con dos tratamientos y tres réplicas técnicas para evaluar la homogeneidad de características de biomasa en cuanto a peso y longitud de las larvas de mosca y características físicas y químicas de la harina.

3.1.6. Obtención de larvas

Se realizó un diseño completamente al azar, los tratamientos fueron el sustrato alimenticio (T1: sustrato alto en carbohidratos, T2: sustrato con mayor proporción en proteínas, tres réplicas por tratamiento n=6), las larvas se alimentaron de los sustratos, se realizó la obtención de larvas en el bioterio de la UFPSO, inicialmente se hizo la colecta de los huevos de *H. illucens* colocados por la hembra adulta en las trampas, después se tomaron los huevos de las trampas y se ubicaron en un tubo que en uno de sus extremos posee una malla mosquitera de 1 mm, posteriormente, los tubos con los huevos se dispusieron en recipientes que albergan sustrato

húmedo (alimento reciclado de aves ponedoras del proyecto avícola de la UFPSO), para alimentar las larvas, este proceso tuvo una durabilidad de 2 a 4 días, hasta que las larvas eclosionaran, se esperó que cumplieran 4 días de eclosionadas, se tamizaron y luego se distribuyeron en los sustratos de acuerdo al tratamiento.

3.1.7. Desarrollo de larvas en dos sustratos

Se dividieron en dos grupos experimentales con tres replicas técnicas con una siembra de 40 g de larvas por tratamiento, un primer grupo (tratamiento 1) se tomaron larvas al sexto día de vida y se dispusieron en un sustrato alto en carbohidratos a partir de sobras orgánicas (arroz, subproductos de harina de trigo más maíz, papa, yuca) de la producción de restaurante universitario; el segundo grupo (tratamiento 2) se dispuso de un sustrato alto en proteínas (Carne res, cerdo, pollo, huevo y pescado) también obtenido del restaurante universitario, cada uno tuvo tres replicas, para un total de 6 unidades experimentales.

La implementación del estudio tardo alrededor de 10 meses, se inició con la revisión de literatura, luego el periodo de adaptación y/o acostumbramiento que duró alrededor de dos meses y por último el tiempo de toma de datos, que en este caso fueron 3 meses; posteriormente se obtuvo la harina en el laboratorio de nutrición de la UFPSO, se enviaron las muestras a laboratorio de bromatología y análisis instrumental de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín y al finalizar se hicieron los respectivos análisis de las observaciones obtenidas.

3.1.8 Beneficio animal

A los 14 días se cosecharon las larvas y se llevaron al congelador a -18°C, según la metodología establecida por ANSES (2015), luego del sacrificio se llevaron a 55°C en un horno de secado por 36 horas, y luego de obtenido la materia seca se realizó la molienda a 1 mm para la obtención de harina. El procedimiento contó con el aval de ética de la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña cuyo número de acta de aprobación es 0003 del 29 de marzo de 2023.

3.1.9. Análisis del efecto de los sustratos en proporción elevada en carbohidratos y proteínas sobre los componentes nutricionales en la especie H. illucens

Para las pruebas bromatológicas se realizaron una mezcla de las réplicas técnicas de cada tratamiento, enviando una muestra de 150g para su análisis al laboratorio de análisis químico y bromatológico de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín con registro ICA LB0000432021 del 7 de diciembre del 2021 en donde se determinó:

3.1.9.1. Contenido de extracto etéreo. EE. Se pesó (P1) una cantidad de la muestra (3g) ya triturada y seca, luego se llevó a un dedal de celulosa. Posteriormente se le adicionó 90 mL de n-hexano en un crisol previamente pesado (P0). Se llevó a montaje de Soxhlet y la extracción se efectuó durante 12 horas en tres baches de 4 horas. Se evaporó el solvente, se transfirió a un desecador y se pesó (P2). Para el cálculo del porcentaje de extracto etéreo se utilizó la siguiente ecuación:

%EE= (P_2-P_0)/P_1 X 100

3.1.9.2. Contenido de proteína cruda. Según el método de A.O.AC 970.22 (2012).

Se pesó una cantidad de muestra seca entre 0.2500-1.000 g en un papel filtro previamente tarado.

Se llevó la muestra al tubo digestor y se adicionó 16.7 g de catalizador K2SO4, 0.01 g CuSO4 y 0.6 g TiO2 y 10 ml de ácido sulfúrico al 96%. Se preparó un blanco utilizando un papel filtro. Los tubos digestores se llevaron al equipo de Digestión de nitrógeno durante 45 minutos a 420°C y se dejaron enfriar.

Se llevó la muestra al proceso de destilación, adicionando 50 ml de agua destilada, 50 mL de NaOH al 40% y 50 mL de H_3 〖BO〗_3, al recoger el destilado se procedió a destilar adicionando 3 gotas de indicador de Tashiro y se valoró con solución volumétrica de HCl 0.1 N hasta que la titulación tomara color verde a violeta permanece por 30 segundos.

El cálculo del contenido de proteína se realiza con la ecuación planteada por la AOAC (2012):

% N= ((14 mg/meq)*(V_m-V_b)*N)/W*100.

3.1.9.3. Contenido de humedad. Se determinó por método gravimétrico (931.04) descrito en la metodología de la Association of Analytical Communities AOAC 2012 (Thiex,, et all 2012).

Se pesó una cantidad de muestra 10 gramos. (P0) y se llevó la muestra a secado en estufa convencional a 105±0.2°C hasta alcanzar un peso constante (P1). El resultado se reporta como el contenido de humedad en base humedad (Xbh), según la siguiente ecuación contenido de humedad (Xbh)= (P_1-P_0)/P_0 planteada por (Thiex,, et all 2012).

3.1.9.4 Contenido de Cenizas. Previamente al procedimiento se calentaron los crisoles vacíos a 550°C durante 2 h, se dejaron enfriar (hasta ±40°C) en la mufla y se llevaron al desecador y pesaron a temperatura ambiente (C0). Se pesó una muestra de 2 g de muestra en un crisol previamente tarado y deshumedecido (C1).

Se colocaron los crisoles con la muestra en la mufla y se calcinaron a 550°C durante 1 h retiraron y dejaron enfriar hasta temperatura ambiente.

Adicionaron 3 gotas de agua destilada y se volvieron a calcinar durante 5 h hasta cenizas blancas o grisáceas.

Pre- enfriaron en la mufla apagada (hasta ±40°C) y traspasaron al desecador y pesaron a temperatura ambiente (C2). Si el residuo al terminar la incineración es negro se debe solubilizar con 2 mL de agua destilada y se vuelve a calcinar. Para calcular el porcentaje de cenizas (%p/p) se aplica la siguiente ecuación: Porcentaje de cenizas (%C) = (C2-C0) /C1*100 (Thiex,, et all 2012).

3.1.9.5 Digestibilidad de la harina de *H. illucens.* Se realizó mediante técnica con pepsina para a cuantificar las proteínas digeribles de origen animal (AOAC, 2012).

3.1.10 Evaluación del efecto de dos sustratos alimentación sobre el perfil de ácidos grasos y aminoácidos en la H. illucens.

Se realizaron una mezcla de las réplicas técnicas de cada tratamiento y se enviaron 150g tanto para el perfil de ácidos grasos como para los aminoácidos al laboratorio de análisis instrumental de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín.

Para el análisis del perfil de ácidos grasos se usó técnica de cromatografía de gases. La Cromatografía de gases uno de los sistemas de detección más empleados es el detector de ionización de llama (FID). En estos dispositivos, el gas que sale al final de la columna pasa por una fuente de ionización y causa entre los electrodos una corriente eléctrica que es la responsable de dar lugar a la señal analítica. Este tipo de detectores responden a todos los compuestos orgánicos, mientras que los compuestos de tipo inorgánico no originan ninguna respuesta cuantitativa. Además, generan cromatogramas con una línea base estable que no se ven afectados por fluctuaciones en la temperatura o variaciones en el flujo y presión de gas portador, pudiéndose detectar un amplio rango de concentraciones (Fuentes Soriano, 2019).

El análisis del perfil de aminoácidos de la harina de *H. illucens* se hizo a través de la técnica absorción atómica o por la técnica de absorción iónica. Se contó con un Espectrómetro de absorción Atómica marca GBC, modelo AVANTA Σ, acondicionado para operar por aspiración directa (Llama). A demás se dispuso de horno de grafito y Auto muestreador para análisis por horno de grafito.

3.1.11. Estimar el impacto potencial de la inclusión de harina de H. illucens en la alimentación de gallinas ponedoras según sus requerimientos nutricionales.

Para estimar, el impacto de la inclusión de la harina de H. illucens en dietas de gallinas ponedoras, se realizó una comparación de las características nutricionales de las dietas que incluyen la harina de *H. illucens* con las del concentrado comercial, esto se hizo tomando como referencia los requerimientos nutricionales específicos para gallinas de postura en pico de producción. Se analizaron parámetros como el contenido de proteína, grasas, carbohidratos, vitaminas y minerales para evaluar si la harina de *H. illucens* cumple con los estándares nutricionales requeridos para mantener la salud y la producción óptima de las gallinas ponedoras. Además, se llevó a cabo un análisis económico para determinar el costo-beneficio de la inclusión de la harina de *H. illucens* en las dietas de las gallinas ponedoras en comparación con el concentrado comercial. Se estimaron los costos por kilo de la harina en relación con los del concentrado comercial.

3.1.12. Perspectiva económica

Además de la comparación nutricional, se llevó cabo un análisis económico para determinar el costo-beneficio de la inclusión de la harina de *Hermetia illucens* en las dietas de las gallinas ponedoras en comparación con el concentrado comercial. Se evaluarán los costos asociados con la adquisición y la utilización de la harina de *Hermetia illucens* en relación con los del concentrado comercial. Se consideraron factores como el precio de compra, la eficiencia de conversión alimenticia, la producción de huevos y cualquier otro costo relacionado con la alimentación de las aves.

Capítulo 4. Resultados y discusión

4.1 Descripción característica de la *Hermetia illucens*

Los insectos conforman la mayor cantidad de organismos en la Tierra, estimándose alrededor de 5.5 millones de especies, de las cuales se cree que un 80% aún no se ha catalogado. Estos seres desempeñan diversas funciones vitales en los ecosistemas, incluyendo la polinización de cultivos, la regulación de plagas y sirviendo como alimento para otros animales, según International Science Council (2021).

La clasificación taxonómica, dentro de los seres vivos, desempeña un papel crucial al organizar y comprender la amplia diversidad de la vida. Este enfoque provee un marco sistemático para la identificación y estudio de los organismos, utilizando una nomenclatura binomial que combina el género y la especie, elementos esenciales de esta clasificación. Esta metodología ofrece una manera universal de referirse a los organismos, evitando así confusiones derivadas de los nombres comunes, los cuales pueden variar según la región o el idioma (Gobbi, 2012).

La *Hermetia illucens* (Linnaeus,1758), es una mosca, aunque suele confundirse con una avispa, porque produce un zumbido fuerte cuando vuela, es conocida con el nombre de mosca soldado negra, nativa de las regiones subtropicales, tropicales y templadas de América; sin embargo, se encuentra distribuida por todo el mundo (Cabrera y López, 2021) su clasificación taxonómica, se encuentra constituida de la siguiente manera (tabla 2).

Tabla 1

Clasificación taxonómica de la Hermetia illucens

Clasificación	Descripción
Reino	Animalia
Filo	Artrópoda
Subfilo	Hexápoda
Clase	Insecta
Subclase	Pterigota
Orden	Díptera
Suborden	Brachycera
Infraorden	Orthorrhapha
Familia	Stratiomyidae
Subfamilia	Hermetiinae
Género	*Hermetia*
Especie	*Illucens*

Nota. Información obtenida de Cabrera y López (2021**).**

4.1.1. Morfología

Los *Brachycera* son el grupo más diversificado de dípteros, al cual pertenece la familia Stratiomyidae, con alrededor de 2600 especies integradas en aproximadamente 400 géneros. (Weththasinghe & Hansen 2021).

Los adultos exhiben una amplia gama de variaciones morfológicas destacadas. La hembra generalmente supera en tamaño al macho, con colores que van desde el negro hasta el verde y el azul, a menudo con un brillo metálico. Poseen dos alas translúcidas en el primer segmento

torácico y miden entre 15 y 20 mm de longitud; sin embargo, en esta investigación se hallaron medidas 0,64 mm a 1,017mm. Sus antenas son alargadas y constan de tres segmentos, con un tono blanco cerca del extremo de cada pata. El único propósito del adulto es la reproducción, por lo que no se alimenta; su sistema bucal está adaptado exclusivamente para esta función. El apareamiento suele tener lugar aproximadamente dos días después de la eclosión del corion del individuo, de pupa a adulti (Diclaro & Kaufman, 2009) (Figura 1).

El órgano reproductor masculino es de longitud moderada y exhibe dos pares de lóbulos laterales posteriores, así como un par de cercos y unos gonostilos mínimamente desarrollados. La estructura conocida como complejo edeagal es delgada y se extiende puntiagudamente en su extremo distal, acompañada de una furca genital de forma subtriangular. La estructura genital femenina consta de un par de cercos largos, cada uno compuesto por dos segmentos. En su extremo distal, presenta una placa subgenital larga y puntiaguda, así como una furca genital de forma subtriangular. Esta estructura genital es el único rasgo de dimorfismo sexual presente en esta especie (Gobbi, 2012) (Figura 2).

Figura 1

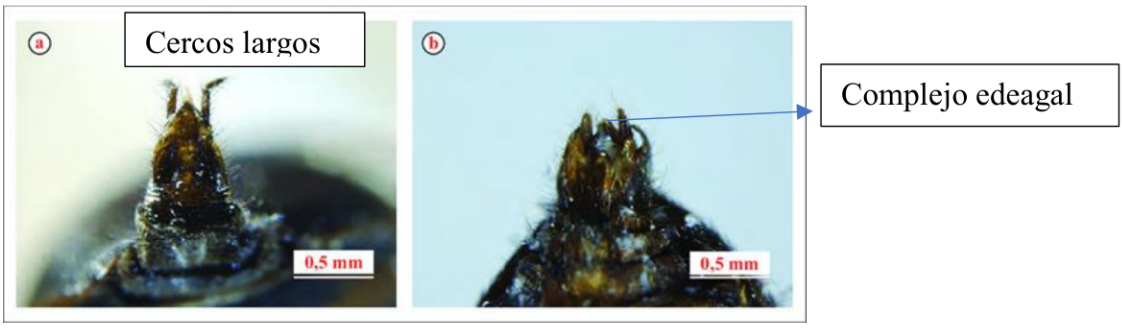
Adulto de H. illucens



Nota. Vista dorsal de *H. illucens*

Figura 2

Vista ventral de apéndices terminales del abdomen indicando dimorfismo sexual en H. illucens

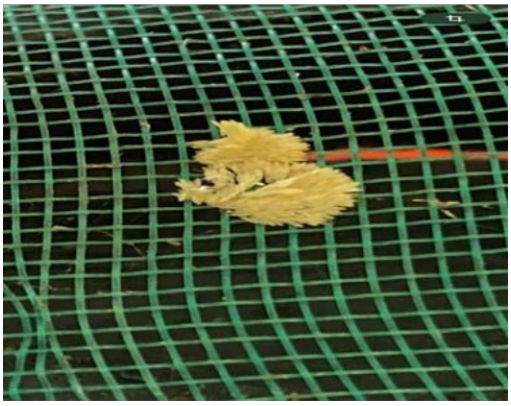


Nota. a) Hembra y b) macho de H. illucens. Tomada de Jaramillo (2019).

Los huevos tienen una forma ovalada y miden alrededor de 1,0 ± 0,01 mm de longitud, con una variación de color que va desde blanco hasta amarillo claro, y presentan una superficie lisa. A medida que avanza la incubación, el tono amarillo claro de los huevos se intensifica. Después de 60 horas de incubación, pueden notarse los ojos en forma de manchas rojas, y a las 72 horas se puede distinguir claramente la cápsula cefálica (Jaramillo., et al 2019) (Figura 3).

Figura 3

Huevos de H.illucens

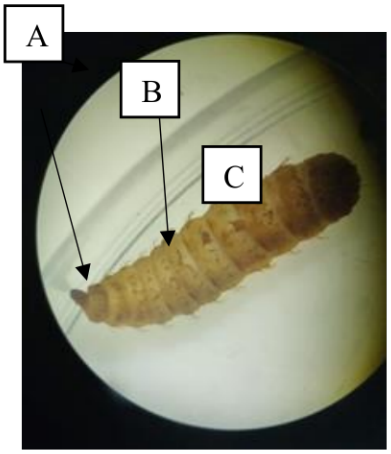


Nota. Figura obtenida por el autor

Según Tomberlin y Sheppard (2002) la estructura general de la larva mide hasta 3cm de longitud; sin embargo, en esta investigación se obtuvieron medidas entre 0,64mm a 1,02 mm, por otro lado, las larvas, son opacas y blanquecina, presentando quetas (pelos) características en ambas caras del cuerpo (lado ventral y lado dorsal), se caracteriza por ser apoda, alargada y con forma fusiforme, con una depresión dorsal-ventral. Su tegumento endurecido está compuesto por placas calcáreas, redondeadas, que muestran segmentación visible, siendo el extremo anterior afilado y el posterior redondeado. Esta estructura se divide en tres regiones: la cápsula cefálica (CC), tres segmentos torácicos (ST) y ocho segmentos abdominales (SA), como se muestra en la (Figura 4). Hay una distinción en la quetotaxia de los segmentos torácicos y abdominales, y a medida que la larva madura, su tegumento se vuelve más esclerotizado. Además, pasa por seis estadios larvales (L1, L2, L3, L4, L5, repupa).

Figura 4

Larva de H. illucens y sus tres segmentos

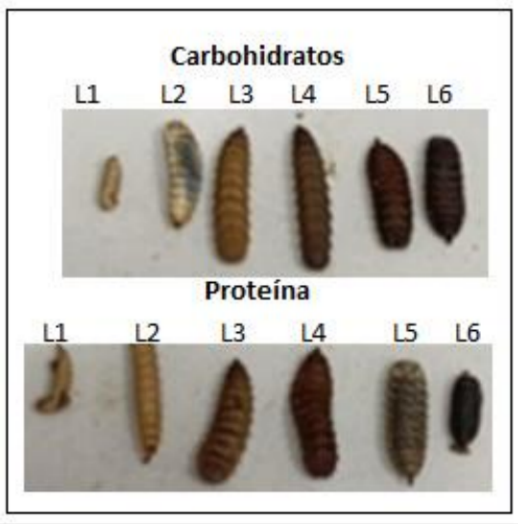


Nota. Donde A: Cápsula cefálica, B: Segmento toráxico, C: Segmento abdominal. Figura obtenida por el autor.

Durante la etapa de prepupa, se observa el fortalecimiento y el oscurecimiento de la capa externa del cuerpo. Después de un periodo de tiempo, esta etapa da paso a la pupa, en la que el organismo presenta una notable ausencia de movimiento, por la formación del corión entrando internamente a los procesos de metamorfosis completa (holometábolo) como señala Newton (2015) (Figura 5) (Figura 6).

Figura 5

Larvas obtenidas en los sustratos evaluados. L1, L2, L3, L4, L5, L6 (prepupa)



Nota. Figura obtenida por el autor. Donde L1: Tamaño más pequeña de larva; de igual forma, las demás clasificaciones.

Figura 6

Pupa en estado interna de metamorfosis completa de H. illucens



Nota. Figura obtenida por el autor.

4.1.2. Distribución

La *H. illucens* forma parte de un conjunto de especies que pertenecen a la subfamilia Hermetinae, dentro del orden Díptera. Es la especie más extendida dentro de su grupo, encontrándose en regiones tropicales húmedas, subtropicales y templadas cálidas. Aunque es originaria de América, ha sido introducida en diversas regiones del mundo (Cabrera & López, 2021).

4.1.3. Etología

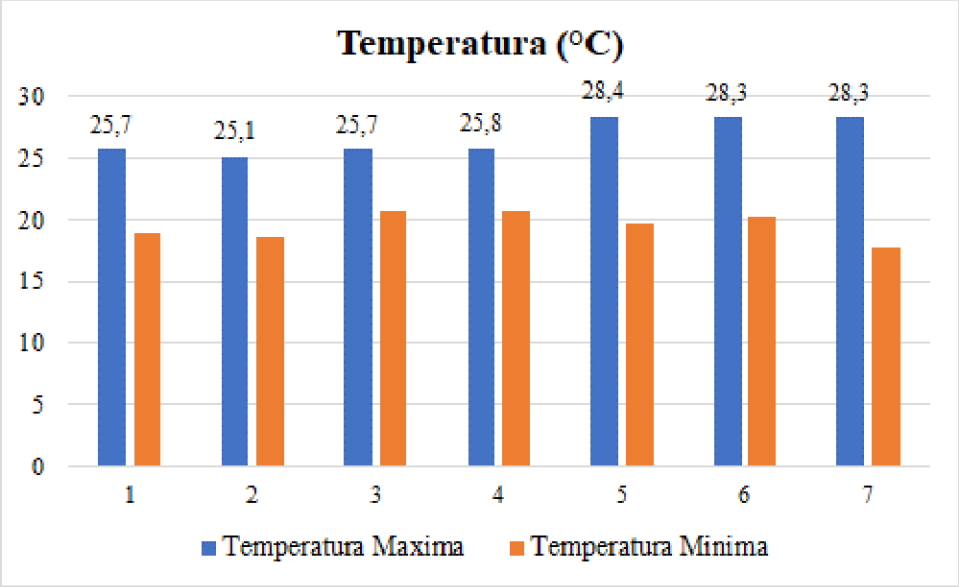
Los individuos adultos de *H. ilucens* habitan, se reproducen y depositan sus huevos en grietas y fisuras próximas al entorno donde se encuentran las larvas, tienen la capacidad de consumir una variedad de alimentos, incluyendo estiércol, carne en descomposición, así como frutas y vegetales (Gobbi et al., 2012). En condiciones controladas, como es el caso del presente estudio, los adultos tuvieron algunos inconvenientes en el apareamiento con relación al tamaño de la jaula 80cm X 57cm X 114cm (ver apéndice A) debido a que la cópula se realiza durante el vuelo el espacio era muy reducido, por lo tanto, no podían realizar la copula y se disminuían las posturas concordando con el estudio de Tomberlin et al. (2002). Según estos autores el macho

intercepta a la hembra en el aire descendiendo en la copula., hecho que se pudo comprobar en esta investigación. Los adultos no se alimentan en cautiverio, solo toman agua. En condiciones naturales suelen tener habito florícola (Newton et al., 2005). En este estudio no se registraron específicamente las actividades de cópula y apareamiento, sin embargo, se obtuvieron datos de aproximadamente 100 posturas de 300 huevos por postura, datos que difieren de los realizados por Sheppard (2002) y Tomberlin y Sheppard (2001) que sugieren que una hembra puede producir entre 500 y 700 huevos en múltiples posturas; en condiciones controladas para la copula se requiere estímulos sensoriales, como colocar diferentes materiales en descomposición como estiércol de animales, subproductos de la leche (suero), frutas (mandarina, naranja) para estimular los apareamientos y por ende las posturas, en el presente trabajo se identificó como el más eficaz al estímulo olfativo producido por la mandarina (*Citrus reticulata*).

Los ojos del adulto de *H. illucens* presentan características de fotorrecepción que también juegan un papel importante ya que estimulan el apareamiento (Juárez 2024). Luego del apareamiento se colocaban los huevos, estos eclosionaban en este estudio alrededor de 5 a 10 días dependiendo de la temperatura y la humedad (Figura 7, Tabla 2), a más baja temperatura requieren más días para eclosionar, contrario a la investigación reportada por Tomberlin y Sheppard (2001) quienes mencionan que la eclosión ocurre a los 4 días con temperaturas constantes de 24 °C a 29.3°C. El desarrollo de un insecto se puede describir mediante una curva de rendimiento térmico (temperatura mínima, óptima y máxima) y de humedad, si pasa los umbrales de desarrollo el insecto se pone lento en sus procesos o se detiene. En este estudio se pudo observar que los adultos morían al disminuir la temperatura de 17°C, ocurriendo igual con humedades superiores a 85% (Figura 7).

Figura 7

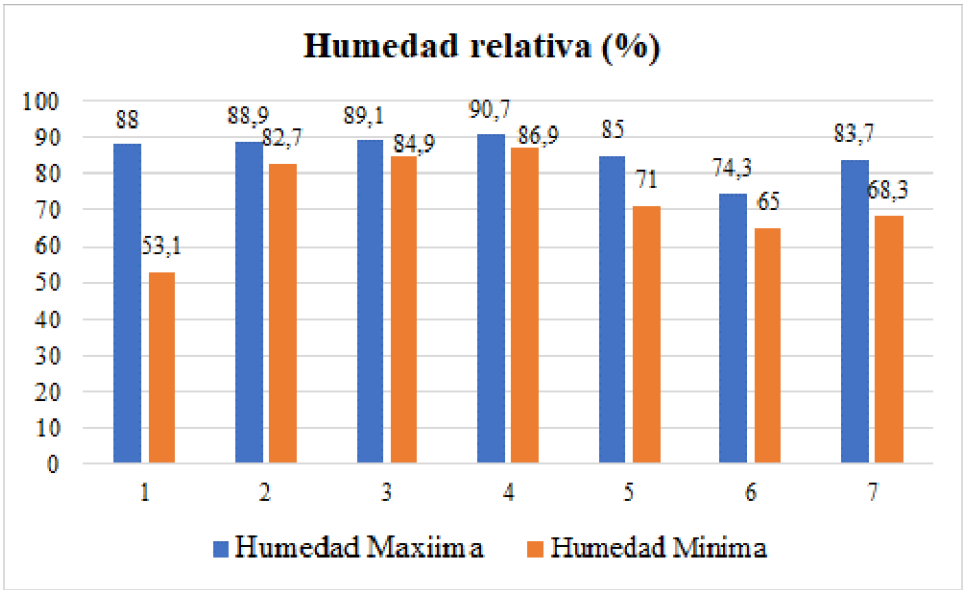
Monitoreos de Temperatura durante el estudio



Nota. Temperaturas máximas y mínimas tomadas durante el desarrollo de la investigación.

Figura 8

Monitoreos de Humedad durante el estudio



Nota. Humedad máxima y mínima tomadas durante el desarrollo de la investigación.

En la tabla 2 se observan las fluctuaciones de temperatura y humedad con respecto a la ganancia de peso en gramos de las larvas, en un rango de temperaturas entre 16.9 °C y 32.3 °C. Se nota una disminución en la producción cuando la temperatura es más baja. En cuanto a la humedad relativa, con un porcentaje superior al 80%, también se observa una disminución en la producción de larvas, tanto en el tratamiento de carbohidratos como en el de proteínas.

Tabla 2

Monitoreos de temperaturas, humedad relativa y producción en gramos de larvas

Parámetros		**Noviembre**				**Diciembre**				**Enero**	
T°C	**Max**	25,7	25,1	25,7	25,8	28,4	28,3	28,3	31,5	30,5	32,3
	Min	19	18,6	20,7	20,7	19,7	20,2	17,8	18	17,6	16,9
HR %	**Max**	88	88,9	89,1	90,7	85	74,3	83,7	81,7	79,7	76
	Min	53,1	82,7	84,9	86,9	71	65	68,3	65,6	63,4	57,3
Carbohidrato (g)		61	76	31	38	31	11	10	26	9	16
Proteína (g)		82	43	12	10	28	8	19	18	12	20

Nota. Donde T corresponde a temperatura, Hr corresponde a humedad relativa, Max: máximo y Min a mínimo.

Las larvas requieren de alimento rico en proteína y con humedad adecuada ya que la temperatura y la humedad tienen efectos sobre el desarrollo la longevidad y ovoposición. En el presente estudio se presentaron problemas al eclosionar las larvas ya que concentrado de gallinas ponedoras, utilizado en los dos primeros días después de eclosionar se contaminaba con hongos por humedad superior al 80 %. Cabe resaltar que si la humedad es muy alta dentro del alimento las larvas pueden morir ahogadas. Una vez emergían las larvas se movían muy rápido y comían

vorazmente dependiendo de la temperatura y humedad esta información es corroborada por Jaramillo et al., (2019).

La humedad del sustrato es de vital importancia en el proceso de cría, ya que en niveles superiores a 80% se dificulta la separación de las larvas de los sustratos, lo que afecta la eficiencia del proceso. Sin embargo, en humedades hasta el 80% hubo un crecimiento más rápido de las larvas, constatado también en el trabajo de Cayra Valencia (2023).

En esta investigación se presentaron problemas para cosechar las larvas de los tratamientos ricos en proteína ya que la humedad del sustrato era muy alta, superior a1 80%, lo que dificultó la separación de pupas del aglutinado, lo que es coherente con estudios que han demostrado que un rango de humedad entre el 52% y el 70% facilita la separación de las larvas y aumenta el rendimiento total de biomasa (Barragan-Fonseca et al., 2017).

Se pudo confirmar en este estudio que las pupas mantenían la última cutícula después de pasar por los seis estadios de desarrollo, ocasionando la perdida de movimiento característico de esta etapa. Además, se observó que las prepupas se desplazaban hacia áreas más secas, aproximadamente dos semanas después, momento en el que se recolectaban; hallazgos similares fueron encontrados por Cabrera y López, que describen como las pupas mantienen la última cutícula externa al terminar al pasar por los seis estadios, por lo cual no presenta movimiento. Cuando termina el estadio de pupa alrededor de 2 semanas, estas se distribuyen para zonas más secas donde emerge el insecto adulto, esto se hace por el método de ampolla frontal pulsátil, lo que permite que el tegumento externo del individuo se rasgue en la región dorsal comenzando

desde la cabeza al quinto anillo y horizontalmente sobre la división que queda entre el segundo y tercer segmento.

4.1.4. Adaptación

Para el desarrollo del ciclo vital del insecto, es factible emplear diversas sobras orgánicas, así como deyecciones y subproductos alimenticios, como fuente nutricional. Esto fomenta un modelo de economía circular, en el cual los residuos se aprovechan como sustrato alimenticio. Además, requiere un consumo energético mínimo para su producción y, bajo un sistema responsable, no supone riesgos para la diversidad de los ecosistemas (Jansson, y Berggeren 2005).

La larva de *H. illucens* se pudo adaptar alimentándose con un sustrato mayor proporción en proteínas y otro alto contenido en carbohidratos con un rango de temperaturas entre los 18 y los 32°C con niveles de humedad variando entre el 59% y el 80%. La adaptación con éxito a diferentes rangos de temperatura y humedad, produjo una biomasa favorable por m2, permitiendo la producción de harina de larva utilizada como alimentos para el sector pecuario.

4.1.5. Órganos de los sentidos

En este estudio se presentaron novedades con la reproducción, en cuanto a apareamiento y a ovoposición, ya que se utilizó una lámpara de luz blanca que se encendía durante 8 horas, encontrando disminución en la tasa de reproducción en comparación a las referencias (Juárez, 2024).

Según estudio de Juárez (2024) Los fotorreceptores de la mosca soldado adulto captan el espectro electromagnético (luz verde, azul y UV) incrementando la producción de huevos hasta un 180 % en comparación a lámparas con luz blanca en jaulas adultas modificando patrones biológicos de mortalidad, fertilidad y fecundidad.

4.1.6. Ciclo de vida

Debido a su corto ciclo de vida, las hembras de *H. illucens* tienen la capacidad de poner una gran cantidad de huevos (Tabla 4). Según Cabrera y López (2021) la *H. illucens* pasa por cinco etapas de vida: huevos, donde la eclosión es rápida, seguido por larvas, pupas y pre pupas, que son fases más prolongadas, y finalmente, la fase de adultos, que es breve. A diferencia de lo reportado por Sheppard et al. (2002), el ciclo de vida de la *H. illucens* consta de seis etapas y normalmente tiene una duración de cuatro semanas, aunque esta puede variar según las condiciones ambientales. Según los datos recopilados en este estudio, el ciclo de vida se extendió a aproximadamente 6 semanas debido a las variaciones ambientales presentes.

Tabla 3

Ciclo de vida H. illucens

Ciclo	Duración en días
Huevos	4 a 10
Larvas (L1, L2, L3, L4, L5, prepupa)	15 a 18
Pupa	1 a 18
Adulto o imago	2 a 8

Nota. Diferentes etapas de *H. illucens* (Huevos, larvas, pupa y adulto).

Las larvas alimentadas con el T1 (carbohidratos) presentaron mayores pesos (0.27g ± 0,02), en comparación al T2 (larva alimentada con proteína) con pesos de (0,16±0,06). Estos

datos sugieren que las larvas alimentadas con carbohidratos tienden a ser más pesadas con relación a las alimentadas con proteína. Al comparar el crecimiento, en cuanto a longitud, las larvas que obtuvieron mayor longitud fueron las del T1 con medidas de (0,85±0,07) con relación al T2 con medidas de (0,56±0,32) (Tabla 4 y Figura 10). Se puede concluir que los mejores pesos y longitudes se obtuvieron entre de los T1 que son alimentados con carbohidratos. Entre tratamientos no hubo diferencias marcadas en sus medias y desvíos estándar, datos similares fueron reportados por Sheppard (2001).

Tabla 4

Peso y longitud por tratamiento y por réplica de la H. illucens

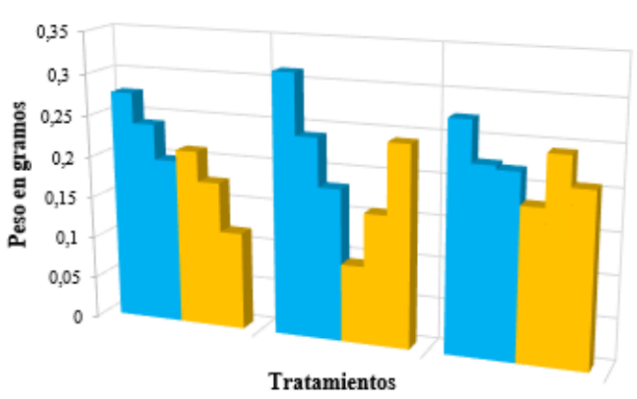
Tratamiento	Replica	Peso (g) ± DE	Longitud (mm) ± DE
T1 Larvas alimentadas con carbohidratos	1	0,27 ± 0,02	0,86 ± 0,006
	2	0,24± 0,008	0,90±0,68
	3	0.20± 0,01	0.77± 0,04
	Promedio	**0,24±0,04**	**0,85±0,07**
T2 Larvas alimentadas con proteínas	1	0,16±0,06	0,70±0,09
	2	0,19±0,04	0,83±0,161
	3	0,18±0,06	0,18± 0,064
	Promedio	**0,18±0,05**	**0,56±0,32**

Nota. DE (Desviación estándar).

Al comparar los promedios de peso por larva entre los tratamientos de Carbohidratos (T1) y Proteínas (T2), se observa que el T1 tiene un peso promedio mayor (0.24±0,04) con relación al peso promedio de T2 (0.18±0,05). Esta diferencia sugiere que el tipo de nutriente en la dieta puede influir en el crecimiento y desarrollo de las larvas. La mayor disponibilidad de carbohidratos en T1 puede haber proporcionado más energía para el crecimiento de las larvas en comparación con el T2, que se basa en proteínas (Figura 10).

Figura 9

Pesos por larva de la H. illucens según los tratamientos

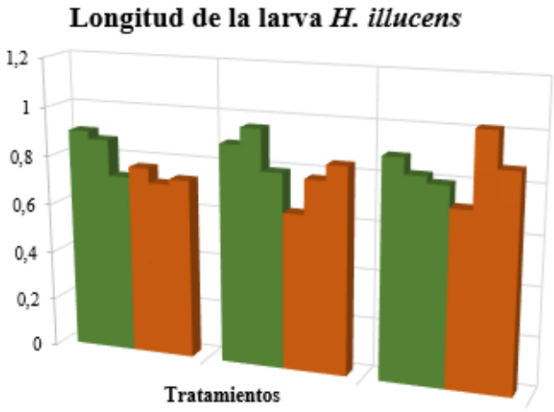


T1 Replica 1	0,2766	0,3134	0,2742
T1 Réplica 2	0,2405	0,2404	0,2251
T1 Réplica 3	0,1986	0,1824	0,2205
T2 Réplica 1	0,2121	0,0934	0,1827
T2 Réplica 2	0,1762	0,157	0,2435
T2 Réplica 3	0,1174	0,2417	0,2074

Nota. Pesos de la larva *H. illucens* en dos tratamientos con tres replicas por tratamiento.

Figura 10

Longitud por larva de la H. illucens según los tratamientos



T1 Replica 1	0,902	0,892	0,891
T1 Réplica 2	0,871	0,961	0,826
T1 Réplica 3	0,726	0,794	0,799
T2 Réplica 1	0,769	0,637	0,713
T2 Réplica 2	0,71	0,778	1,017
T2 Réplica 3	0,732	0,841	0,872

Nota. Longitud de la larva *H. illucens* en dos tratamientos con tres replicas por tratamiento.

De acuerdo al crecimiento (longitud en milímetros) entre réplicas y tratamientos, se evidenció mejores valores de crecimiento en T1 réplica 2 con (0.909 mm) seguido de T1 réplica 1con (0.869 mm), seguido de T2 réplica 3 con (0.842 mm), seguido de T2 réplica 2 con (0.833 mm), se obtuvo el menor valor de crecimiento con el T2 réplica 1con (0.7352 mm), de donde se puede concluir que los tratamientos T1 y T2 tuvieron un comportamiento parecido en cuanto al valor del crecimiento (Figura 11).

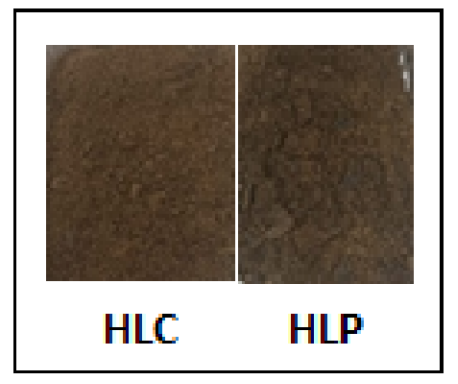
4.2. Análisis del efecto de los sustratos con mayor contenido en carbohidratos y proteínas sobre los componentes nutricionales de la harina *H. illucens*

La composición organoléptica es fundamental en la evaluación de la calidad de la harina de *H. illucens,* ya que influye en la palatabilidad, aceptabilidad y consumo. Estas características incluyen aspectos como el color, el olor, el sabor, la textura y la apariencia general de un alimento.

En cuanto al Color, la harina de las larvas de *H. illucens* puede tener un color que va desde marrón claro a oscuro, dependiendo del grado de tostado y del contenido de pigmentos presentes en la dieta de los insectos. En este estudio el T1 se describe de un tono más claro que el T2. La textura, tiende a ser fina y suave, el T2 es de consistencia más compacta que el T1 (Figura 12). Con relación al olor, en T1 y T2 fue similar al maíz tostado

Figura 11

Harina de H. illucens



Nota. Donde HLC, es harina de larva alimentada con carbohidratos y HLP es harina de larva alimentada con proteína.

En este estudio se llevaron a cabo dos ensayos con el propósito de examinar el impacto del alimento en la composición corporal de la larva y, por ende, en el valor nutritivo de la harina de larva. Los datos relativos al valor nutritivo de la harina de las larvas se detallan en la Tabla 5. A pesar de algunas diferencias entre los tratamientos T1 y T2, los valores observados para el porcentaje de proteína cruda en T1 (38.4%) y en T2 (45.8%) en la harina de larva de H. illucens son comparables a los reportados por otros investigadores como las de Smetana et al. (2019) quienes encontraron que la harina de larva contenía entre un 37% y un 63% de proteína cruda, mientras que Sheppard (2002) informó un 37.8%, y Barroso et al. (2018) un 36.2%, datos muy similares a los hallados en este trabajo. Aunque existe cierta variabilidad, la tendencia muestra homogeneidad entre los tratamientos.

Tabla 5

Componentes nutricionales de la H.illucens según las dietas

Componentes nutricionales	Sustratos ricos en carbohidrato (T1)			Sustratos ricos en proteína (T2)		
Materia seca	41.76			42.77		
Humedad	58.24			57.23		
Cenizas	4.97			5.83		
Proteína cruda	38.4			45.8		
Fibra cruda	9.8			9.5		
	Ca	**P**	**Na**	**Ca**	**P**	**Na**
Minerales	0.55	0.45	0.69	0.99	0.65	0.62
Grasa	>30.00			>30.00		
Azucares totales	1.48			0.90		
Digestibilidad	76.6			84.9		

Nota. Donde Ca: Calcio, P: Fosforo y Na: Sodio. Datos obtenidos del laboratorio de Análisis Químico y Bromatológico de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

Comparando los valores de los tratamientos analizados, se observa que el T2 obtuvo mejores resultados en cuanto a contenido de cenizas 5.83%, calcio 0.99%, fósforo 0.65% importantes estos en la dieta de gallinas ponedoras, en la formación del huevo y la salud ósea, la digestibilidad 84.9% indica la eficacia con que se pueden absorber los nutrientes disponibles en una dieta y menor porcentaje de fibra cruda 9.5%. En cuanto a contenido de sodio 0.69%, azucares totales 1.48% (Indicador de la procedencia del sustrato) y fibra cruda 9.8%, obtuvo mejor resultado el T1, el contenido de grasa para ambos tratamientos fue igual mayor al 30%, evidenciando diferencias en el valor nutricional de la harina de larva de *H. illucens* de acuerdo al sustrato con que se alimente (Segura, 2014).

4.3. Evaluación del efecto de dos sustratos ricos en carbohidratos y proteínas sobre el perfil de aminoácidos y ácidos grasos en la *H. illucens.*

Los aminoácidos esenciales son componentes fundamentales de la dieta de las aves de postura en periodos de máxima producción de huevos. Durante esta fase, las aves tienen requerimientos nutricionales específicos para satisfacer la demanda de nutrientes necesarios para la producción de huevos de alta calidad. Entre los aminoácidos esenciales clave se encuentran la metionina, la lisina y la treonina.

La metionina es esencial para la síntesis de proteínas y la producción de huevos de buena calidad. Además, desempeña un papel crucial en la función hepática y la salud del plumaje de las aves (Baker, 2009).

La lisina es un aminoácido esencial necesario para el crecimiento, la producción de huevos y la eficiencia alimentaria en las aves. La suplementación adecuada de lisina en la dieta puede mejorar la tasa de puesta y la calidad del huevo (Lemme et al., 2004).

La treonina es otro aminoácido esencial importante para las aves de postura en pico de producción. Juega un papel crucial en la síntesis de proteínas y el mantenimiento de la salud intestinal, lo que puede afectar positivamente la absorción de nutrientes y la calidad de los huevos (Baker, 2009).

La adecuada incorporación de aminoácidos esenciales como la metionina, la lisina y la treonina en la dieta de las aves de postura durante períodos de máxima producción es importante para optimizar la salud, el crecimiento y la calidad de los huevos, en el sector avícola. En la

harina de *H. illucens* se encuentra una proporción óptima de aminoácidos en esta materia prima para incluir en la dieta de gallinas ponedoras (Tabla 6).

En el presente estudio se analizó el contenido de aminoácido de harina de *H. illucens* en dos sustratos alimenticios así: El T1 sustratos rico en carbohidratos y el T2 sustrato rico en proteína.

Tabla 6 *Aminoácidos presentes en la harina de H. illucens*

Componentes nutricionales	Sustratos ricos en carbohidratos (T1) g/100g de MS	Sustratos ricos en proteína (T2) g/100g de MS
Aspártico (ASP)	2.06	3.79
Glutámico (GLU)	2.97	4.97
Serina (SER)	1.18	1.72
Histidina (HIS)	047	0.85
Glicina (GLY)	1.80	2.61
Treonina (THR)	1.08	1.54
Arginina (ARG)	3.76	5.35
Alanina (ALA)	2.36	3.46
Tirosina (TYR)	1.44	2.19
Valina (VAL)	1.97	2.77
Metionina (MET)	0.37	0.15
Fenilalanina (PHE)	1.04	1.54
Isoleucina (ISO)	1.05	1.54
Leucina (LEU)	1.88	2.98
Lisina (LIS)	1.29	2.28

Nota. Obtenido de Laboratorio de análisis instrumental de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

Al hacer un análisis comparativo en cuanto al contenido de aminoácidos de los tratamientos T1 y T2, se puede observar lo siguiente:

Teniendo en cuenta los aminoácidos Aspártico 3.79 g/100g MS como Glutámico 4.97 g/100g MS muestran un aumento significativo en T2 en comparación con T1 2.06 g/100g MS y 2.97 g/100g, esto puede sugerir que la alta concentración de proteínas en T2 favorece la síntesis de estos aminoácidos.

En cuanto a los aminoácidos de cadena ramificada que son necesarios para la síntesis de proteínas, además importantes para la formación de huevos y un rendimiento óptimo durante la producción. En este estudio los aminoácidos como la Valina 2.77 g/100g MS, Leucina 2.98 g/100g MS, Isoleucina 1.54 g/100g MS tienden a tener concentraciones más altas en T2 en comparación con T1 cuyas concentraciones son: Valina 1.97 g/100g MS, Leucina 1.88 g/100g MS, Isoleucina 1.05 g/100g MS siendo esto consistente con la naturaleza de las proteínas.

Varios aminoácidos esenciales, como Lisina 2.28 g/100g MS, Histidina 0.85 g/100g MS, Fenilalanina 1.54 g/100g MS y Treonina 1.54 g/100g MS, también muestran aumentos significativos en el T2 en comparación T1. Teniendo en cuenta lo anterior se puede decir que las proteínas proporcionan una amplia gama de aminoácidos esenciales para las funciones metabólicas de los individuos.

El resultado obtenido en el aminoácido Metionina fue de 0.15 g/100g MS para el tratamiento T2, una cantidad inferior en comparación con el tratamiento T1, que registró 0.37 g/100g MS. Esta diferencia sugiere que las larvas alimentadas con sustratos ricos en proteínas

son una fuente más eficiente de aminoácidos en comparación con aquellas alimentadas con sustratos energéticos.

Según De Marco, et al., (2015), en sus investigaciones compararon una dieta base de torta de soya con harinas de larvas de *Tenebrio molitor y H. illucens*, observaron que, la metionina (0,42) e isoleucina (0,45) para *H. illucens* fueron los aminoácidos esenciales con menos digestibilidad, mientras que los aminoácidos esenciales con mayor digestibilidad fueron arginina (0,83) e histidina (0,81). Concluyendo que las harinas derivadas de larvas de insectos podrían ser una alternativa viable en la alimentación de aves como sustituto de fuentes proteicas convencionales como la harina de soya.

Makkar, H., et al, (2014) demostraron que los niveles de metionina en todas las harinas de insectos son más altos que los de la harina de soya, mientras que los niveles de aminoácidos que contienen azufre (metionina + cistina) son más bajos en larvas de mosca soldado negra.

La harina de larva de *H. illucens* se considera una materia prima con alto contenido en ácidos grasos, algunos estudios demuestran, el uso potencial de la harina en monogástricos, como los reportados por Wood., et al. (2008) y Vieira., et al (2019).

Barroso et al. (2018), indican que los insectos son una fuente rica en lípidos saludables y escasos en lípidos no saludables, lo que implica un alto contenido de omega-3 y una baja presencia de grasas saturadas. Además, señalan que hay variaciones en el contenido de lípidos según las etapas de vida: los insectos con metamorfosis completa, que pasan por las fases

larvaria, pupal y adulta, tienden a tener un mayor contenido de lípidos y un menor contenido de proteínas durante su etapa larvaria en comparación con la etapa adulta. En este estudio se encontraron 16 ácidos grasos; es importante tener en cuenta que algunos de los ácidos grasos son derivados o ésteres metílicos de los ácidos grasos, lo que significa que están en forma esterificada, sin embargo, se clasificaron según la estructura básica del ácido graso (Tabla 7).

Tabla 7

Clasificación de los ácidos grasos presentes en la harina de H. illucens

Saturados	Monoinsaturados	Poliinsaturados
Ácido dodecanoico (C HO)	Éster metílico del ácido 9-hexadecenoico, (Z)- (CHO)	Éster metílico del ácido 8,11-octadecadienoico (CHO)
Ácido tridecanoico, 12-metil-, éster metílico (CHO)	Éster metílico del ácido 9-octadecenoico (Z)- (CHO)	11,14-Octadecadienoic acid, methyl ester (CHO)
Tetradecanoato de metilo (CHO)	Ácido mirístico, derivado de TMS (CHOSi)	
Estearato de metilo (CHO)		
Estearato de metilo (CHO)		

Nota. Ácidos grasos presentes en la harina de *H. illucens.*

Dentro de los ácidos grasos encontrados en este estudio en la harina de Larva de H. illucens (Tabla 8), se obtuvieron los siguientes resultados:

El ácido Dodecanóico, también conocido como ácido Láurico siendo un ácido graso saturado, tiene propiedades antimicrobianas naturales que pueden ayudar a prevenir la proliferación de bacterias y otros patógenos en el tracto gastrointestinal de las aves, mejora la digestión y la absorción de nutrientes, lo que puede resultar en un mejor rendimiento de crecimiento y una mayor eficiencia alimenticia (Rico., et al 2018). Este ácido tuvo la más alta

proporción en el T1 con 27.62% con relación al T2 tiene una proporción de 20.71% con relación a todos los ácidos grasos relacionados en esta investigación.

Éster metílico del ácido dodecanóico es una forma química del ácido dodecanóico, también conocido como ácido láurico está presente tanto en T122.15 como en T2 15.86 con mayor proporción en T1, se utiliza en dieta de aves, puede contribuir a las necesidades energéticas para mantener la actividad metabólica y el rendimiento (Vieira., et al 2019).

Tabla 8

Ácidos grasos presentes en harina de larva de H. illucens

Ácidos grasos	**CAS**	**Sustratos ricoselevado en carbohidrato (T1) %**	Sustratos elevados **en proteína (T2) %**
Éster metílico del ácido dodecanoico (laurato de metilo) Fórmula: C_{13} H_{26} O_2	000111-82-0	22.15	15.86
Ácido Dodecanoico (ácido láurico) Fórmula: C_{12} H_{24} O_2	000143-07-7	27.62	20.71
Lauric anhydride (anhidrido Laurico) Fórmula: C_{24} H_{46} O_2	000645-66-9	0.31	
Ácido dodecanoico, derivado de TMS (derivado de trimetilsilil del ácido dodecanoico) Fórmula: C_{15} H_{32} O_2 Si	055520-95-1	6.70	3.96
Ácido tridecanoico, 12-metil-, éster metílico Fórmula: C_{15} H_{30} O_2	005129-58-8	5.86	
Ácido mirístico, (derivado de TMS) Fórmula: C_{17} H_{36} O_2 Si	018603-17-3	1.29	
Éster metílico del ácido hexadecanoico (metil palmitato)	000112-39-0	11.99	15.24

Fórmula: C_{17} H_{34} O_2			
Ácido palmítico, derivado de TM S Fórmula: C_{19} H_{40} O_2Si	055520-89-3	1.70	1.78
Éster metílico del ácido 8,11-octadecadienoico (ácido Linoleico) Fórmula: C_{19} H_{34} O_2	056599-58-7	6.74	
Éster metílico del ácido 11-octadecenoico (ácido oléico metil éster) Fórmula: C_{19} H_{36} O_2	052380-33-3	13.74	
estearato de metilo (ácido esteárico) Fórmula: C_{19} H_{38} O_2	000112-61-8	1.84	2.81
tetradecanoato de metilo (éster metílico del ácido mirístico) Fórmula: C_{15} H_{30} O_2	000124-10-7		3.44
Éster metílico del ácido 9-hexadecenoico, (Z)- (éster metílico del ácido palmitoleico) Fórmula: C_{17} H_{32} O_2	001120-25-8		2.05
Éster metílico del ácido 9-octadecenoico (Z)- (éster metílico del ácido oleico) Fórmula: C_{19} H_{36} O_2	000112-62-9		22.40
Undecanoic acid, 11-fluoro-, trimethylsilyl ester Fórmula: C_{14} H_{29} O_2Si	026305-97-5 *		0.65
11,14-Octadecadienoic acid, methyl ester (éster metílico del ácido linoleico) Fórmula: C_{19} H_{36} O_2	056554-61-1*		10.95

Nota. Obtenido de Laboratorio de análisis instrumental de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Los ácidos grasos identificados con un * no fueron encontrados en la base de datos NIST.

Éster metílico del ácido hexadecanoico está incluido en los dos tratamientos, con mayor proporción en T2 15.24% que en T1 con 11.99% conocido como ácido palmítico, es un ácido

graso saturado, puede ser utilizado en la alimentación de aves para proporcionar energía, mejorar la palatabilidad de la dieta, apoyar el crecimiento y desarrollo adecuados, y facilitar la absorción de nutrientes esenciales. Sin embargo, es importante equilibrar su inclusión con otros nutrientes esenciales para asegurar una nutrición completa y balanceada para las aves (Wood., et al. 2008).

En T1 se encuentra presente Éster metílico del ácido 11-octadecenoico con un porcentaje de 13.74% este ácido también es conocido como ácido linoleico metil éster. Este compuesto es un tipo de ácido graso omega-6. La inclusión de este ácido en la dieta de aves de corral ha demostrado reducir el estrés oxidativo y mejorar la salud antioxidante de los animales (Vieira., et al 2019).

El Éster metílico del ácido 9-octadecenoico (Z)- es un éster metílico del ácido oleico, que es un ácido graso monoinsaturado omega-9. Su uso en la alimentación animal puede ser limitada, pero estudios sugieren que este ácido graso puede mejorar la calidad de la grasa animal de la unidad que lo consume, al aumentar la proporción de ácidos grasos beneficiosos en los tejidos (Wood., et al. 2008). En la harina de larva de *H. illucens* Se encuentra en una proporción de 22.4027) en T2, en el T1 no se encuentra.

En ambos tratamientos se encontraron en menor proporción, el ácido dodecanoico, derivado de TMS en T1 6.70 y en T2 3.96, el ácido palmítico, derivado de TMS en T1 1.70 y en T2 1.78, el estearato de metilo en T1 1.84 y en T2 (2.81) puede servir como fuente de energía eficiente para los animales de producción.

En T1se encontraron en porcentajes bajos el ácido tridecanoico, 12-metil-, éster metílico 5.86, el ácido mirístico, derivado de TMS 1.29, el éter metílico del ácido 8,11-octadecadienoico

6.74, este ácido puede influir en la composición de los lípidos en los tejidos de las aves y mejorar la calidad de la carne.

En el T2 se encontraron el tetradecanoato de metilo (3.44 y el éster metílico del ácido 9-hexadecenoico, (Z)- (2.052) en proporciones bajas, el uso en la alimentación animal puede ser limitada.

Es importante mantener un equilibrio adecuado entre estos ácidos grasos en la dieta para promover la salud general. Una ración con variedad elevada de grasas saludables puede proporcionar los nutrientes esenciales necesarios para el bienestar de los monogástricos.

4.4 Estimación del impacto potencial de la inclusión de harina de *H. illucens* en la alimentación de gallinas ponedoras según sus requerimientos nutricionales

Dentro de las dietas destinadas para la alimentación de gallinas se emplean materias como el maíz por ser fuente energética, la harina de soya como fuente proteica y la harina de pescado la cual contiene proteína de alta calidad y ácidos grasos; bajo el contexto en mención en la tabla 9 se relacionan los nutrientes y aminoácidos disponibles en las materias primas mencionadas, estos fueron relacionados con los hallados en la *H. illucens.*

Tabla 9

Valor nutricional y comparación de algunas materias primas con la harina de H. illucens obtenida en diferentes sustratos

Nutrientes	Harina de pescado	Harina soja 44%	Maíz nacional	*H.illuces* T1	*H.illuces* T2

Humedad (%)	7,0	12,1	13,6	58.24	57.23
Cenizas %	12,5	6,2	1,1	4.97	5.83
Proteina bruta %	70	44,0	7,3	38.4	45.8
Grasa %	84	1,9	3,3	>30	>30
Lisina %	4,67	2,68	0,22	1.29	2.28
Metionina %	1,80	0,59	0,15	0.37	0.15
Met + Cis %	2,25	1,25	0,31	-	-
Treonina	2,53	1,72	0,26	1.08	1.54
Triptófano %	0,65	0,57	0,06	-	-
Valina %	3,05	2,07	0,35	1.97	2.77
Arginina %	3,76	3,18	0,33	3.76	5.35

Nota. Met + Cis: Metionina + Cistina. T1: Corresponde al tratamiento con sustrato ricos en carbohidratos, T2: Corresponde al tratamiento con sustrato ricos en proteína. Los componentes nutricionales de las harinas de pescado, harinas de soja y maíz, fueron obtenidos de las tablas FEDNA.

La harina de pescado tiene el contenido más alto de proteína bruta (70%), seguida por el T2 con 45.8% y luego T1 con 38.4% las larvas de *H. illucens* (38.4% en T1 y 45.8% en T, mientras que la harina de soja tiene más alto contenido de proteína que la T1 pero menor contenido que la T2 y el maíz nacional tienen contenidos significativamente más bajos que los tratamientos de la harina de larva de *H. illucens.*

La harina de pescado tiene el contenido más alto de grasa 84%, seguida por las larvas de *H. illucens* (ambas con un contenido superior al 30%), mientras que la harina de soja y el maíz nacional tienen cantidades mucho menores.

La harina de larva de *H. illucens* en ambas condiciones (T1 y T2) tienen un contenido de humedad mucho más alto en comparación con las otras fuentes de alimentos, como Reátegui, et al (2020) indica proporciona mejor palatabilidad a la harina como producto final.

El maíz nacional tiene el contenido más bajo de cenizas, seguido por las larvas de *H. illucens* (Tanto en T1 como en T2), aunque los valores reportados para la harina de larvas son muy cercanos a los reportados para la harina de soja, cabe resaltar que el contenido de cenizas en el alimento es necesario para la formación del huevo.

Al comparar los aminoácidos presentes en diferentes materias primas, se puede observar en cuanto al contenido de Lisina que T1 1.29% y T2 2.28% superan al contenido de lisina en la harina de maíz nacional, lo mismo que la metionina en T1 0.37% superando el porcentaje obtenido en el maíz nacional 0.15%, considerando la harina de larvas superior en aminoácidos con relación al maíz nacional (Tabla 9).

La treonina en T11.08% y T2 1.54% supera al maíz nacional que tiene un porcentaje de 0.26%, en cuanto a la Valina T2 2.77% supera al contenido de la harina de soja 2.07% y a la harina de maíz nacional 0.35%, En cuanto Arginina el T2 supera en 5.35% los porcentajes en todas las harinas estudiadas concluyendo que el T2 de la Harina de larva puede suplir los requerimientos en cuanto a este aminoácido en las gallinas de postura.

Estos datos exponen que la harina de larva de *H. illucens* se percibe como materia prima promisoria como una alternativa nutritiva y con alto contenido en proteínas y grasas en comparación con las otras fuentes de alimentos que son costosas y generan mayor daño ambiental.

Los ácidos grasos hallados se presentan en la tabla 10 y estos son comparados con los reportados en harina de soya, maíz y harina de pescado.

Tabla 10

Ácidos grasos presentes en algunas materias primas comparados con la harina de H. illucens obtenida en diferentes sustratos

Ácidos grasos	**Harina de soya**	**Maíz**	**Harina de pescado**	**Harina de *H illucens* T1**	**Harina de *H illucens* T2**
Ácido miristico (%) C14:0	0,10	-	6,11	1.29	3.44
Ácido palmítico (%) C16:0	9,76	10,85	14,34	1.70	1.78
Ácido palmitoleico (%) C16:1	0,20	0,11	10,0	-	2.05
Ácido esteárico (%) C18:0	3,77	1,69	3,04	1.84	2.82
Ácido oleico (%) C18:1	23,32	36,38	15,08	13.74	22.40
Ácido linoleico (%) C18:2	52,78	52,45	1,36	6.75	10.95
Ácido linolenico (%) C18:3	6,97	0,70	0,74	-	-
Ácido linoleico conjugado (%)	-	-	-	-	-
Ácido láurico (%) C12:0			0,20	27.63	20.72

Nota. Donde T1: Corresponde al tratamiento con sustrato ricos en carbohidratos, T2: Corresponde al tratamiento con sustrato ricos en proteína. La información presentada relacionados con la harina de soja, maíz y harina de pescado fueron obtenidos de tablas brasileñas para aves y cerdos (2017).

Los ácidos grasos presentes en la harina de soya, maíz y harina de pescado son los ácidos grasos típicos encontrados en materias primas vegetales y animales ofrecidas en la alimentación pecuaria, en comparación con los ácidos grasos encontrados en la harina de larva de *H. illucens* que son más específicos de harina de pescado. También se determinó una diferencia entre los tratamientos, el T2 mostró un mayor porcentaje de ácidos grasos en comparación con el T1.

Teniendo en cuenta cada uno de los ácidos, el ácido Mirístico (C14:0) tiene un bajo porcentaje (0,10%) en relación a la harina de soya, la harina de pescado tiene un alto porcentaje (6,11%), mientras que T1 y T2 de la harina de *H. illucens* tienen porcentajes significativamente más altos que la harina de soya, siendo el T2 el más alto 3.44% siendo esto de gran importancia ya que el ácido mirístico pueden tener efectos beneficiosos en la salud intestinal de las aves al contribuir a la formación de membranas celulares y a la integridad del revestimiento intestinal. En cuanto al ácido Palmítico (C16:0) las materias primas tienen porcentajes relativamente similares, presentando la harina de larva porcentajes mucho más bajos.

El ácido Palmitoleico (C16:1) no está presente en el T1 mientras que en el T2 tiene 2.05 % esto es bueno para las aves, pues su presencia en altos porcentajes en la dieta puede afectar la relación entre ácidos grasos omega-6 y omega-3, lo que puede tener implicaciones para la salud a largo plazo si no se equilibra adecuadamente con otros ácidos grasos esenciales.

En el ácido Esteárico (C18:0) las materias primas tienen porcentajes similares, presentándose más altos porcentajes en las larvas, en relación al ácido Oleico (C18:1) la harina de maíz tiene el porcentaje más alto (36,38%) mientras que las larvas presentan porcentajes menores. En cuanto el ácido Linoleico (C18:2) las materias primas tienen porcentajes altos y las muestras de harina de *H. illucens* tienen porcentajes significativamente más bajos.

El ácido Linolénico (C18:3) no está presente en las larvas, en cambio el ácido Láurico (C12:0) está presente solo en las muestras de *H. illucens,* con porcentajes muy altos en ambos tratamientos de T1 y T2. Este hallazgo sugiere una diferencia significativa en la composición de

ácidos grasos de las larvas, lo que puede tener implicaciones importantes en términos de nutrición (aumenta la palatabilidad) y aplicaciones industriales como aglutinantes. Además, representa un recurso competitivo en el mercado de gallinas de postura debido a su valor biológico y perfil graso favorable en comparación con otros ácidos grasos utilizados comúnmente. Este ácido graso saturado de cadena media es fácilmente metabolizado por las gallinas y puede ofrecer beneficios adicionales para su salud, como la mejora de la calidad del huevo.

Es preciso abordar que los alimentos que se vayan a incluir en la dieta animal, deben cumplir con los requerimientos nutricionales de las gallinas los cuales pueden variar dependiendo de factores como la edad de las aves, genética, el ambiente y su etapa de producción, para el caso de la tabla 11, se presentan los requerimientos nutricionales de las gallinas ponedoras con rango de temperaturas de 21°C a 31°C con desempeño regular – medio y desempeño medio – superior, comparadas con los componentes nutricionales de la *H. illucens.*

Tabla 11

Requerimientos nutricionales de gallinas ponedoras vs componentes nutricionales de la H. illucens

Nutrientes	**Gallinas ponedoras con desempeño regular - medio**	**Gallinas ponedoras con desempeño medio – superior**	***H. illunces* T1**	***H. illucens* T2**
Proteina bruta %	16,16	16,36	38,40	45,80
Calcio %	4,08	4,20	0,55	0,99
Fosforo %	0,33	0,34	0,45	0,65
Sodio %	0,19	0,19	0,69	0,62
Ácido linoleico %	1,13	1,15	6,74	0,00
Lisina%	0,90	0,91	1,29	2,28
Metionina %	0,48	0,481	0,37	0,15

Metionina+cistina %	0,88	0,89	-	-
Treonina %	0,72	0,73	1,08	1,54
Triptófano %	0,20	0,21	-	-
Arginina %	0,87	0,88	3,76	5,35
Glisina+serina %	0,72	0,73	-	-
Valina %	0,84	0,85	1,97	2,77
Isoleucina %	0,70	0,71	1,05	1,54
Leucina %	1,07	1,09	1,88	2,98
Histidina %	0,25	0,25	0,47	0,85
Fenilalanina %	0,57	0,57	1,04	1,54
Fenilalanina + tirosina %	1,04	1,05	-	-

Nota. Los requerimientos nutricionales bajo un consumo de 105,4 g/día y un peso corporal de 1,850g. Información obtenida de tablas brasileñas para aves y cerdos (2017). T1: Corresponde al tratamiento con sustrato ricos en carbohidratos, T2: Corresponde al tratamiento con sustrato ricos en proteína.

En cuanto a la proteína bruta (%) las gallinas ponedoras con desempeño regular-medio tienen un requerimiento de proteína bruta del 16.16%, mientras que las gallinas ponedoras con desempeño medio-superior tienen un requerimiento de proteína bruta de 16.36%, tanto el T1 38.4% como el T2 45.8% superan significativamente los requerimientos de proteína bruta para ambos grupos de gallinas ponedoras. En lo relacionado con Calcio (%) las gallinas ponedoras con desempeño regular-medio el requerimiento de calcio es de 4.080% siendo muy similar al de las gallinas ponedoras con desempeño medio-superior que es de 4.202%, la harina de *H. illucens* T1 0.55% y T2 0.99% no cumple con los requerimientos de calcio para ningún grupo de gallinas.

El Fósforo (%) de la harina de larva supera los requerimientos del desempeño regular medio 0.337% y medio superior 0.344% en ambos tratamientos T1 0.45% y T2 0.65%.

En relación al sodio (%) en los dos tratamientos T1 0.69% Y T2 0.62% exceden los requerimientos para ambos grupos de gallinas ponedoras 0.190% y 0.193% respectivamente.

La harina de larva de *H. illucens* en la condición T1 6.74% supera significativamente los requerimientos de ácido linoleico para ambos grupos de gallinas ponedoras 1.13% y 1.15%, mientras que la condición T2 0% no lo cumple en absoluto.

En resumen, la harina de larva de *H. illucens* en las condiciones T1 y T2 es una excelente fuente de proteína y fósforo para las gallinas ponedoras, pero no cumple con los requerimientos de calcio. Además, la condición T1 supera significativamente los requerimientos de ácido linoleico, mientras que la condición T2 no contiene este ácido.

Al comparar el T1 y T2 con otro concentrado de una casa comercial reconocida cuya composición es: proteína bruta: 17%, grasa tiene 3%, Fibra: 6%, Cenizas: 15%, Humedad: 13 %, calcio: 3,6 %, Fósforo 0.40%, se concluye que el contenido de proteína, grasas, la fibra y el fósforo de los tratamientos mencionados superan el requerimiento lo que, hace de la harina de *H. illucens* un alimento adecuado para las aves en producción

Por otro lado, *H. illucens* evidencia menor costo por kilogramo de harina comparado un concentrado comercial para gallinas en etapa de producción (Tabla 12).

Tabla 12

Componentes nutricionales de un concentrado vs componentes nutricionales de la H. illucens

Nutrientes	CC	Costo del kilo de CC ($)	*H. illucens* T1	*H. illucens* T2	Costo producción de 1 kilo MS de la *H. illucens($)*
Proteína min%	15,5	2250	38.4	45.8	1775
Grasa min%	2,5		>30	>30	
Cenizas max%	15,0		4.97	5.83	
Calcio max%	3,7		0.55	0.99	
Fosforo min%	0,5		0.45	0.65	
Humedad max%	13,0		58.24	57.23	

Nota. CC: Concentrado comercial. T1: Animales alimentados con sustratos ricos en carbohidratos. T2: Animales alimentados con sustratos ricos en proteína.

Para los costos de producción de la *H. illucens*, el costo de la compra de materiales para las cabinas donde se llevó la producción de la mosca fue de $200.000 en donde se estableció una depreciación a 5 años (1825 días) para un total de $109/día más $1666 por día de agua e imprevistos ($50.000/mes: $20.000 de imprevisto + $30.000 de servicios: $1666/día). Bajo lo presentado, el costo para la producción general de *H. illucens* por día sin importar la cantidad de muestra fue de $1775. En cuanto a los costos para la alimentación de la *H. illucens,* estos tuvieron un equivalente de $0 debido a que la especie fue alimentada con sobras de cocina.

Para considerar la viabilidad de la implementación en campo, se realizó la comparación de nutrientes de un concentrado comercial con proteína mínima 15.5%, para la etapa de postura especificada (La época más prolifera es cuando alcanza la semana 32), lo que permitió observar que la *H. illucens* supera significativamente los contenidos de proteína, en el T1 38.4% y la T2 45.8%. La grasa mínima del concentrado es de 2.5% siendo superado por T1 y T2 ya que tienen

más del 30%. Con relación a las cenizas el concentrado tiene máximo 15.0%, valores superiores a los hallados en T1 (4.97%) y (T2 5.83%).

El calcio máximo en el concentrado es de 3.7% la harina larva no cumple con el requerimiento para ningún tratamiento T1 0.55% y T2 0.99%, en cuanto al fósforo mínimo en el concentrado es de 0.5% al compararlo con los tratamientos 1 0.45% y 2 0.65% de la harina de larva cumple satisfactoriamente.

La humedad es muy alta debido a la naturaleza del alimento en los T1 58.24% y T2 57.23% con relación a concentrado que es de 13.0%. El contenido de humedad en el concentrado comercial generalmente se mantiene lo más bajo posible para evitar problemas de almacenamiento, como la proliferación de moho y bacterias, y para garantizar una vida útil más larga del alimento. Por lo tanto, el requerimiento de humedad del concentrado comercial debe ser muy bajo, del 10% o menos.

Evaluación de costos de producción, se debe tener en cuenta que el costo del kilo de concentrado es de $2250 mientras que los costos de producción de la harina de *H. illucens,* para ambos tratamientos es de $1775 por kilo de materia seca siendo este el de menor costo, se puede concluir que la producción de harina de larva de *H. illucens* es económicamente más rentable en comparación con la compra de concentrado, siendo una alternativa viable para producción de alimento fomentando la economía circular en pequeños productores del nororiente colombiano.

Algunos aspectos del impacto ambiental de la producción de harina a partir de larvas de *H. illucens* están relacionados con una de sus principales ventajas: la capacidad de convertir residuos orgánicos en proteínas, ácidos grasos y otros subproductos útiles. Esto puede contribuir a reducir la cantidad de residuos que terminan en vertederos o se queman, lo que a su vez puede disminuir la contaminación del suelo y del aire.

La *H. illucens* es considerada eficiente en el reciclaje de materia orgánica, si bien, se alimentan de este recurso en descomposición, solo lo hace durante el estadio de larva, por lo cual difícilmente está asociada con la transmisión de enfermedades, esto debido a que en la larva existen de manera natural antibióticos, por lo que la inocuidad de su biomasa no se ve afectada.

En cuanto a la menor huella de carbono, comparado con otras fuentes de proteínas animales, como el ganado, la producción de *H. illucens* puede tener una huella de carbono significativamente menor debido a su eficiencia alimentaria los insectos pueden convertir 2 kg de alimento en 1 kg de biomasa de insecto, mientras que el ganado requiere 8 kg de alimento para producir 1 kg aumento de peso corporal y entre 1.800 y 2500 litros de agua (FAO, 2014). Su capacidad para utilizar residuos orgánicos como alimento y su menor producción de gases de efecto invernadero, lo que reduce la necesidad de recursos como tierra y agua utilizados en la agricultura y ganadería convencional.

Dentro de las preocupaciones ambientales al criar las larvas de *H. illucens* existe el riesgo de que las moscas escapen y se conviertan en una plaga invasora en ciertas áreas, lo que hace necesario mayores trabajos para el conocimiento y manejo de este recurso, ya que es de gran importancia para la alimentación animal, la economía circular y la sostenibilidad ambiental.

Capítulo 5. Conclusiones

En conclusión, los sustratos utilizados en la alimentación de las larvas de *H. illucens* sí influyeron en los componentes nutricionales de la harina, especialmente en el contenido de proteína cruda, azúcares totales y digestibilidad. Las larvas alimentadas con sustratos con mayor proporción en proteínas mostraron un mayor contenido de proteína cruda, una menor cantidad de azúcares totales y una mayor digestibilidad, indicando la harina de estas larvas que pueden ser más eficientes en la digestión y asimilación de nutrientes.

Al comparar los dos tipos de sustratos, se puede observar que hay diferencias en las cantidades de ciertos ácidos grasos entre T1 y T2. Estas diferencias en el perfil de ácidos grasos podrían tener implicaciones nutricionales y de calidad en las larvas de *H. illucens,* así como en los productos derivados de ellas, como la harina de insectos. Los ácidos grasos son importantes para la salud y el desarrollo de los animales, por lo que las variaciones en su perfil podrían afectar a su valor nutricional y su utilidad en diferentes aplicaciones, como alimento para animales o ingredientes en la industria alimentaria.

La harina de *H. illucens* tienen porcentajes significativamente más altos de ácido mirístico que la harina de soya, siendo esto de gran importancia ya que él puede tener efectos beneficiosos en la salud intestinal de las aves, además también contiene porcentaje alto de ácido Láurico lo que puede tener implicaciones importantes en términos de nutrición (aumenta la palatabilidad) y aplicaciones industriales como aglutinante.

La harina de larva de *H. illucens* parece ser una fuente prometedora de proteínas para la alimentación animal, incluidas las aves, debido a su alto contenido proteico y perfil de aminoácidos esenciales como la Lisina, Histidina, Fenilalanina y Treonina. Sin embargo, debido a su alto contenido de humedad y grasa, puede requerir ajustes en la formulación de la dieta para garantizar un equilibrio nutricional adecuado. En términos de reemplazo de harina de soya, maíz o harina de pescado, la harina de larva podría ser una opción viable, especialmente como sustituto de la harina de soya y posiblemente del maíz, abaratando costos de producción en el sector, además dependiendo de los objetivos nutricionales específicos y la disponibilidad de los ingredientes. A pesar que la harina de pescado sigue siendo una fuente valiosa de proteínas y otros nutrientes la harina de *H. illucens* se presenta como un recurso valioso, promisorio, no se depende de los insumos extranjeros, económico y ecológico para la producción animal.

Capítulo 6. Recomendaciones

Se recomienda tener en cuenta las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad, al criar *H. illucens,* ya que estas variables pueden influir significativamente en el tiempo de desarrollo, obtención de la biomasa y supervivencia. El uso de una curva de rendimiento térmico y de humedad puede ser útil para comprender mejor los umbrales de desarrollo de las moscas. Este estudio señala que los adultos de la *H. illucens* murieron cuando la temperatura descendió a 17°C, y se observó un efecto similar con niveles de humedad superiores a 85%. Por lo tanto, es fundamental mantener condiciones ambientales óptimas para garantizar el éxito en el ciclo de vida de *H. illucens* y evitar que los procesos de desarrollo se ralenticen o se detengan.

Se recomienda enfocarse en garantizar que las raciones a ofrecer en las dietas animales cumplan con los requisitos nutricionales específicos de las gallinas. Estos requisitos pueden fluctuar en función de varios factores, como la edad de las aves, su genética, las condiciones ambientales y la fase de producción en la que se encuentren. Es esencial considerar estos aspectos al formular y administrar la dieta para asegurar la salud y el rendimiento óptimo de las gallinas.

Referencias

Arévalo Arévalo, H., Vernot, D., & Barragán-Fonseca, K. (2022). Perspectivas de uso sostenible del grillo doméstico tropical (Gryllodes sigillatus) para la alimentación humana en Colombia. Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, 69(3), 310-324.

Avendaño, C., Sánchez, M., & Valenzuela, C. (2020). Insectos: son realmente una alternativa para la alimentación de animales y humanos. Rev Chil Nutr, 47(6), 1029-1037. doi:/http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182020000601029

Barragan-Fonseca, K., Dicke, M., & van Loon, J. (2017). Nutritional value of the black soldier fly (Hermetia illucens) and its suitability as animal feed- a review. Journal of Insects as Food and Feed, 3(2), 105-120. Obtenido de https://avingstan.com/wordpress/wp-content/uploads/2019/08/Barragan-Fonseca-et-al-2017-Nutritional-value.pdf

Baker DH. Advances in protein-amino acid nutrition of poultry. Amino Acids. 2009 May;37(1):29-41. doi: 10.1007/s00726-008-0198-3. Epub 2008 Nov 14. PMID: 19009229.

Barroso, F., de Haro, C., Sánchez-Muros, M., Vanegas, E., Martínez-Sánchez, A., & Moral, A. (2018). Hermetia illucens (L.): an alternative protein source for animal feed. Journal of Insects as Food and Feed. journal of Insects as Food and Feed, 4(1), 3-12. doi:https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0055

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

Cayra-Valencia, K. (2023). Evaluación de la tasa de crecimiento, produccción y composición nutricinoal de larvas de Hermetia illucens alimentadas con diferentes sustratos, para su uso como pienso en la alimentación animal. Majes, Cayrolla-Arequipa. Obtenido de https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/12380

Cullere, M., Tasoniero, G., Giaccone, V., Mitti-Scapin, R., Claeys, E., de Smet, S., & Dalle-Zotte, A. (2016). Black soldier fly as dietary protein source for broiler quails: apparent digestibility, excreta microbial load, feed choice, performance, carcass and meat traits. Animal, 10(12), 1923-1930. doi:https://doi.org/10.1017/S1751731116001270

Cutrignelli, M., Messina, M., Tulli, F., Randazzo, B., Olivotto, I., Gasco, L., . . . Bovera, F. (2017). Evaluation of an insect meal of the Black Soldier Fly (Hermetia illucens) as soybean substitute: Intestina morphometry, enzymatic and Science 117. doi:Doi: 10.1016/j.rvsc.2017.12.020

Diclaro, J., & Kaufman, P. (2009). Black soldier fly Hermetia illucens Linnaeus (Insecta: Diptera: Stratiomyidae)1. University of Florida, August 2009 EDIS(7). Fonte: https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/IN/IN83000.pdf

Diener, E. (Ed.). (2009). The science of well-being: The collected works of Ed Diener (Vol. 37). Springer Science & Business Media.

De Marco, M., Martínez, S., Hernandez, F., Madrid, J., Gai, F., Rotolo, L., ... & Schiavone, A. (2015). Nutritional value of two insect larval meals (Tenebrio molitor and Hermetia illucens) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. Animal Feed Science and Technology, 209, 211-218.

Dos Santos, M., De Oliveira, J., & De Oliveira, L. (2020). Harina de larva de Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae) como ingrediente proteico de reemplazo parcial de harina de soja en la alimentación de Cavia porcellus (Cuy): efecto en el consumo, ganancia de peso y conversión alimenticia. Scientia Agropecua. 513-522. doi:https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.04.06

FAO. (1996). Plan de accion de la Cumbre Mundial sobre la Alimentación. Roma, Italia.

FAO. (2001). El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2001. Roma, Italia.

FAO. (2002). Nutrición humana en el mundo en desarrollo. Obtenido de https://www.fao.org/3/W0073S/w0073s00.htm#Contents

FAO. (2011). Seguridad alimentaria nutricional, conceptos básicos. Obtenido de https://www.fao.org/3/at772s/at772s.pdf

FAO. (2013). Food security and sovereignty. Obtenido de www.fao.org/3/ax736e/ax736e.pdf

FAO. (2014). Insect for animal feed. Rome Food and Agriculture Organizationof The United.

FAO. (2020). El estado de la segunridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2020. Roma, Italia.

FAO. (2021). Understanding Trade-offs and synergies SDGs 1,2, 8, 17 and others. Obtenido de https://sdgs.un.org/sites/default/files/2021-06/Understanding%20Trade-offs%20and%20Synergies%20-%20SDGs%201%2C%202%2C%208%2C%2017%20and%20others%20-%20Maximo%20Torero.pdf

Fase I pigmentado | Finca. (s. f.). https://www.finca.co/productos/avicultura/fase-i-pigmentado

FEDNA. (s.f). Harina de pescado. https://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/harina-de-pescado-70913

FEDNA. (s.f). Harina de soja 44% PB. https://fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/harina-de-soja-44-pb

FEDNA. (s.f). Maíz. https://www.fundacionfedna.org/node/373

Fenavi. (2021). ¿Qué le espera a la avicultura en el 2022? (Issue 287). doi: http://www.goldandtime.org/noticia/81314/Goldtime/Que-le-espera-https://infomercado.pe/alfonso-medrano-a-partir-de-octubre-va-a-faltar-alimentos-300522-mcb/a-la-Joyeria-en-Espana.html

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), 35-48.

Fuentes Soriano, P. (2019). Determinación de acidos grasos por cronomatografía de gases para la diferenciación de nueces (Juglans Regia) según su origen. Master´s thesis.

Garcia Sánchez , E. (2011). Teoria general de sistemas: una visión actualizada. Revista Digital Universitaria, 12(4), 1-18.

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.

Govorushkoa, S. (2019). Situación mundial de los insectos como fuente de alimentos y piensos: una revisión. Revista Elsevier, 91(436-445). doi:Doi https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.032

Harsányi, E., Juhász, C., Kovács, E., Huzsvai, L., Pintér, R., Fekete, G., . . . Gyuricza, C. (2020). Evaluation of Organic Wastes as Substrates for Rearing Zophobas morio, Tenebrio

molitor, and Acheta domesticus Larvae as Alternative Feed Supplements. Insects, 11(604). doi:https://doi.org/10.3390/insects11090604

Heuel, M., Sandrock, C., Leiber, F., Mathys, A., Gold, M., Zurbrügg, C., Gangnat, I., Kreuzer, M., & Terranova, M. (2021). Black soldier fly larvae meal and fat can completely replace soybean cake and oil in diets for laying hens. Poultry Science, 100(4), 101034.

Holdridge, L. R. (1987). Ecología basada en zonas de vida (No. 83). Agroamérica.

Instituto Colombiano Agropecuario. (2010). Resolución 4572 de 2010.

International Science Council. (2021). Colapso de la población de insectos: nueva evidencia lo vincula con las represas. https://council.science/es/current/blog/insect-population-collapse-new-evidence-links-it-to-dams/

IPIFF. (2017). Guidance document on the EU lesgilastion applicable to insects intender for food and feed. Brussels.

Jaramillo, M. G., Valencia, N. R., & Machado, P. B. (2019). Uso potencial de Hermetia illucens (Linnaeus)(Diptera: Stratyiomidae) para transformación de pulpa de café: Aspectos biológicos. 10. Cenicafé, 81-90 (modificado).

Jansson, A., & Berggeren, A. (2005). Insects as food-something for the future? Swedish. Swedish University of Agricultural Sciences.

Jones-Levia, A., & Itzhak, J. (2017). Se sobreestima el alto nivel de contenido de proteína reportado en insectos para alimentos y piensos. Revista Elsevier, 62, 184-188. doi:Doi https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.06.004

Juárez, L. (2020). Uso de larvas de mosca soldado negra (Hermetia illlucens) para alimentación de gallinas ponedoras: Revisión de Literatura. [Tesis de pregrado]. Escuela Agrícola Panamericana. Obtenido de https://docplayer.es/203421329-Uso-de-larvas-de-mosca-soldado-negra-hermetia-illucens-para-alimentacion-de-gallinas-ponedoras-revision-de-literatura.html

Jue, Z., Kuan, B., & Ken-En, S. (2022). Worming the Circular Economy for Biowaste and Plastics: Hermetia illucens, Tenebrio molitor, and Zophobas morio. Revista Sustainability, 14 (3), 1594. doi:https://doi.org/10.3390/su14031594

Juárez, S. L. (2024). Características de la postura de la mosca soldado negro (Hermetia illucens) bajo diferentes intensidades de luz LED.

Karlsson, J., Parodi, A., van Zanten, H., Hansson, P., & Röös, E. (2021). Halting European Union soybean feed imports favours ruminants over pigs and poultry. Nature Food, 2(1), 38-46. doi:https://doi.org/10.1038/s43016-020-00203-7

Kawasaki, K., Hashimoto, Y., Hori, A., Kawasaki, T., Hirayasu, H., Iwase, S., . . . Fujitani, Y. (2019). Evaluation of Black Soldier Fly (Hermetia illucens) Larvae and Pre-Pupae Raised on Household Organic Waste, as Potential Ingredients for Poultry Feed. Animals, 9(3), 98. doi:https://doi.org/10.3390/ani9030098

Kennedy, E., & Bouis, H. (1993). Linkages between agriculture and nutrition: implications for policy and research. Food Policy, 18(5), 317-337.

Lemme, A., Ravindran, V., Bryden, W. L. (2004). Ileal digestibility of amino acids in feed ingredients for broilers. World's Poultry Science Journal, 60(4), 423-437. Doi: 10.1079/WPS200426

López-Rivas, J. (2023). Revalorización de residuos restauranteros mediante el uso de la larva de mosca soldado negro. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Querétaro]. Querétaro, México. Obtenido de https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/8296

Lu, S., Taethaisong, N., Meethip, W., Surakhunthod, J., Sinpru, B., Sroichak, T., . . . Paengkoum, P. (2022). Nutritional Composition of Black Soldier Fly Larvae (Hermetia illucens L.) and Its Potential Uses as Alternative Protein Sources in Animal Diets: A Review. Insects, 13(831). doi:https://doi.org/10.3390/insects13090831

Makkar, H., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. Animal Feed Science and Technology, 197(November), 1-33. doi:https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008

Martínez, M. (2006). La teoría genera de sistemas. Revista de Ciencias Sociales, 12(1), 117-132

Maurer, V., Holinger, M., Amsler, Z., Fruh, B., Wohlfahrt, J., Stamer, A., & Leiber, F. (2016). Replacement of soy bean cake by (Hermetia illucens)meal in diets for layers. Insects Food and Feed, 2, 89–90. doi:Doi: 10.3920/JIFF2015.0071

Melechón, F., Larrán, A., de Mercado, E., Hidalgo, M., Cardenete, G., Barroso, F., . . . Tomás-Almena, C. (2018). Potential use of black soldier fly (Hermetia illucens) and mealworm (Tenebrio molitor) insect meals in diets for rainbow trout (Orcorhynchus mykiss. Aquaculture Nutrition, 27(2), 491-505. doi:https://doi.org/10.1111/anu.13201

Mikolajczak, Z., Rawski, M., Mazurkiewicz, J., Kierónczyk, B., Kolodziejski, P., Pruszyńska-Oszma, E., & Józefiak, D. (2022). The first insight into black soldier fly meal in brown trout nutrition as an environmentally sustainable fish meal replacement. Animal, 16(5). doi:https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100516

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (s.f.). Resolución 366 de 2019. 2019.

Miranda, C., Crippen, T., Cammack, J., & Tomberlin, J. (2021). Black soldier fly, Hermetia illucens (L.) (Diptera: Stratiomyidae), and house fly, Musca domestica L. (Diptera: Muscidae), larvae reduce livestock manure and possibly associated nutrients: An assessment at two scale. Environmental Pollution, 282, 116976. doi:https://doi.org/116976

Molina, C. (2021). Uso de la harina de larva de mosca soldado negra (Hermetia illucens) en alimentación animal. [Tesis de pregrado, Universidad Francisco de Paula Santander

Ocaña]. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/357033140_Uso_de_harina_de_larva_de_mosca_soldado_negra_Hermetia_illucens_en_alimentacion_animal_EF.

Newton, G. L. (2015). Black soldier fly composting: facilitating local scale waste management and soil fertility generation. Sustainable Agriculture Research,. 162-170. doi:https://doi.org/10.5539/sar.v4n3p162

ONU. (2022). Perspectivas de la población mundial 2022: metodología de las Naciones Unidas para las estimaciones y proyecciones de población. In serie poblacion y desarrolllo de las Organizaciones de Naciones Unidas. Obtenido de https://www.un.org/es/desa-es/la-poblaci%C3%B3n-mundial-llegar%C3%A1-8000-millones-en-2022

Onyeike, E. N., Ayalogu, E. O., & Okaraonye, C. C. (2005). Nutritive value of the larvae of raphia palm beetle (Oryctes rhinoceros) and weevil (Rhyncophorus pheonicis). Journal of the Science of Food and Agriculture, 85(11), 1822-1828.

Pachamango, H., Carrasco, J., & Roy, A. (2022). Eficiencia de la larva de mosca soldado negro (Hermetia illucens) para aprovechar los residuos orgánicos municipales - Cajamarca 2021. [Tesis de pregrado, Universidad Pricada Antonio Guillermo Urrelo]. Obtenido de http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/2189/TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Parodi, A., Gerrits, W., Van Loon, J., de Boer, I., Aarnink, A., & Van Zanten, H. (2021). Black soldier fly reared on pig manure: Bioconversion effieciencies, nutrients in the residual material, greenhouse gas and ammonia emissions. Waste Management, 126((April)), 674–683. doi:https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.04.001

Pistrup-Andersen, P. (2009). Food security:definition and mearurement. Food security, 1(1), 5-7.

Reátegui, J., Barriga, X., Obando, A., Moscoso, G., Manrique, P., & Salazar, I. (2020). Harina de larva de Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae) como ingrediente proteico de reemplazo parcial de harina de soja en la alimentación de Cavia porcellus (Cuy): efecto en el consumo, ganancia de peso y conversión alimenticia. Scientia Agropecuaria, 11(4), 513-519. doi:10.17268/sci.agropecu.2020.04.06

Reglamento Europeo UE. (2017). 2017/893 del Parlamento Europeo.

Rehman, K.U., Rehman, A., Cai, M., Zheng, L., Xiao, X., Somroo, A.A., Wang, H., Li, W., Yu, Z., & Zhang, J. (2017). Conversion of mixtures of dairy manure and soybean curd residue by black soldier fly larvae (Hermetia illucens L.). Journal of cleaner production,154, 366-373.

Rico DE, Cedeño MM, Villalobos YS, Soca M, Jiménez C, Lizardi J.(2018) Effect of adding palm oil to the diet of dairy cows on milk production and the fatty acid profile of milk fat. Trop Anim Health Prod. 2018;50(8):1973-1979. doi:10.1007/s11250-018-1641-3.

Rompold, B., & Schlüter, O. (2013). Revista Elsevier, 17, 1-11. doi:https://www.academia.edu/23911974/Potential_and_challenges_of_insects_as_an_innovative_source_for_food_and_feed_production

Ruhnke, I., Normant, C., Campbell, D., Iqbal, Z., Lee, C., Hinch, G., & Roberts, J. (2018). Impact of on-range choice feeding whit black soldier fly larvae (Hermetia illucens) on flock performance, egg quality, and range use of free-range laying hens. 4(4 (2018)), 452-460. doi:Doi: 10.1016/j.aninu.2018.03.005

Scott, W. (2013). Organizaciones y organización: perspectivas racionales, naturales y de sistemas abiertos. Nueva York: Routledge.

Segura, M. (2014). Composición bromatológica Hermetia illucens. Escuela Politécnica Superior y Facultad de Ciencias Experimentales.

Sen, A. (1981). Poverty and famines: An essay on entitlement and deprivation. Oxford University Press.

Sheppard, D., Tomberlin, J., Joyce, J., Kiser, B., & Sumer, S. (2002). Rearing Methods for the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae), Journal of Medical Entomology ,. Journal of Medical Entomology, 39(4), 695–698. doi:https://doi.org/10.1603/ 0022-2585-39.4.695

Siddiqui, S., Ristow, B., Rahayu, T., Putra, N., Widya Yuwono, N., Nisa', K., . . . Nagdalian, A. (2022). Black soldier fly larvae (BSFL) an their affinity for organic waste processing.

Waste Management, 140((October 2021)), 1–13. doi:https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.044

Smetana, S., Schmitt, E., & Mathys, A. (2019). Sustainable use of Hermetia illucens insect biomass for feed and food: Attributional and consequential life cycle assessment. Resources, Conservation and Recycling, 144(285-296).

Spranghers, T., Ottoboni, M., Klootwijk, C., Ovyn, A., Deboosere, S., de Meulenaer, B., . . . de Smet, S. (2017). Nutritional composición of black soldier fly (Hermetia illucens) prepupae reared on different organis waste substrates. Journal of the Science of Food and Agriculture, 97(8), 2594-2600. doi:10.1002/jsfa.8081

Superhuevo harina x bulto unidad. (s. f.). Agrocosur. https://agrocosur.com/blogs/italcol-avi/superhuevo-harina-x-bulto-unidad

Surendra, K. C., Tomberlin, J. K., van Huis, A., Cammack, J. A., Heckmann, L. H. L., & Khanal, S. K. (2020). Rethinking organic wastes bioconversion: Evaluating the potential of the black soldier fly (Hermetia illucens (L.) (Diptera: Stratiomyidae) (BSF). Waste Management, 117, 58-80.

Tablas brasileñas para aves y cerdos. (2017). Composición de alimentos y requerimientos nutricionales. https://es.scribd.com/document/387654010/Tablas-Brasilenas-Aves-y-Cerdos-Cuarta-Edicion-2017-1

Thiex, N., Novotny, L., & Crawford, A. (2012). Determination of ash in animal feed: AOAC official method 942.05 revisited. Journal of AOAC International, 95(5), 1392-1397.

Tomberlin, J. K., & Sheppard, D. C. (2001). Lekking behavior of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). Florida Entomologist, 729-729.

Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. (2013). Edible insects: Future prospects for food and feed security. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations . Obtenido de https://www.fao.org/3/i3253e/i3253e.pdf

Velásquez , F. (2021). Uso de insectos como alternativa en la nutrición avícola: revisión. Society and Development, 10(3). doi:http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13274.

Veldkamp, T., & Bosch, G. (2015). Insects:a protein-rich feed ingredient in pig and poultry diets. Animal Nutrition, Group5, 45–50. doi:Doi: 10.2527/af.2015-0019

Vieira SL, Stefanello C, Kindlein L, Sorbara JOB.(2019) The potential of medium chain fatty acids (MCFA) for young chicken nutrition. Worlds Poult Sci J. 2019;75(3):357-366. doi:10.1017/S0043933919000321

Von Bertalanffy, L. (1989). Teoria General de los Sistemas : Fundamentos, desarrollo, aplicaciones. Fondo de Cultura Económica, Séptima reimpresión.

Wang, YS y Shelomi, M. (2017). Revisión de la mosca soldado negra (Hermetia illucens) como alimento para animales y alimento humano. Alimentos, 6 (10), 91.

West, & et al. (2015). Toward unified theory of complez sistems. Science, 6427.

Weththasinghe, P., & Hansen, J. (2021). A systemic meta-analysis based review on black soldier fly (Hermetia illucens) as a novel protein source for salmonids. Aquaculture, 14(2), 938-956. doi:https://doi.org/10.1111/raq.12635

Wood JD, Enser M, Fisher AV, et al. (2008) Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. Meat Sci. 2008;78(4):343-358. doi:10.1016/j.meatsci.2007.07.019.

Apéndices

Apéndice A *Cronograma de actividades*

Objetivos específicos	Actividades	Meses									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Determinar el efecto de dos sustratos en el perfil de ácidos grasos y aminoácidos de la harina de larva de *Hermetia illucens* y su potencial inclusión la alimentación de aves en postura.	1. Identificación del ciclo biológico, anatomía y morfología de la mosca soldado negra										
	2. Análisis bromatológico de la harina de larva *H. illucens* y digestibilidad										
	3. La estandarización del cultivo de larvas de moscas soldado negro H. illucens										
Analizar el efecto de los sustratos ricos en carbohidratos y proteínas sobre los componentes nutricionales en la especie *H. illucens.*	1. Desarrollar los tratamientos										
	2. Aplicación del diseño experimental.										
Observar el efecto de dos sustratos ricos en carbohidratos y proteínas sobre el perfil de aminoácidos y ácidos grasos en la *H. illucens.*	1. Estandarización de la producción de insectos.										
	2. Análisis de la calidad nutricional de la harina de larva de H. illucens Perfil de ácidos grasos y perfil de aminoácidos.										
Estimación del impacto potencial de la inclusión de harina de *H. illucens* en la alimentación de gallinas ponedoras según sus requerimientos	1. Recolección y análisis de datos										
	Búsqueda de información y redacción del documento										

Nota. Actividades para el desarrollo del proyecto.

Apéndice B *Presupuesto para el desarrollo del proyecto*

Descripción del Rubro	Recursos de la UFPSO ($)	Contrapartida del Maestrante ($)	Total ($)
Pago del autor		$ 3.500.000	$ 350.000
Pago de director	$ 4.500.000		$ 4.500.000
Pago laboratorista	$ 2.100.000		$ 2.100.000
Herramientas o equipos	$ 200.000		$ 200.000
Materiales o insumos		$ 250.000	$ 250.000
Útiles de oficina		$ 30.000	$ 30.000
Electricidad, luz, agua e internet	$ 300.000	$ 400.000	$ 700.000
Análisis y pruebas de laboratorio	$ 3.740.000		$ 3.740.000
Trasporte o salidas a campo		$ 400.000	$ 400.000
Imprevistos		$ 300.000	$ 300.000
Publicación de articulo en revista indexada	$ 300.000		$ 300.000
Ponencia en evento internacional		$ 120.000	$ 120.000
Alquiler de equipos	$ 300.000		$ 300.000
Alimentación animal			$ -
Total	**$ 11.440.000**	**$ 5.000.000**	**$ 13.290.000**

Apéndice C *Áreas para el desarrollo de la Hermetia illucens*



Apéndice D *Recolección de posturas*



Apéndice E *Desarrollo de la investigación y toma de muestras*



Apéndice E. *Hermetia illucens adulta*



Apéndice F *Pesaje de larva*



Apéndice G *Larvas según los tratamientos empleados*



Apéndice H *Larvas l5 y L6*



Apéndice I *Larvas según los tratamientos empleados*



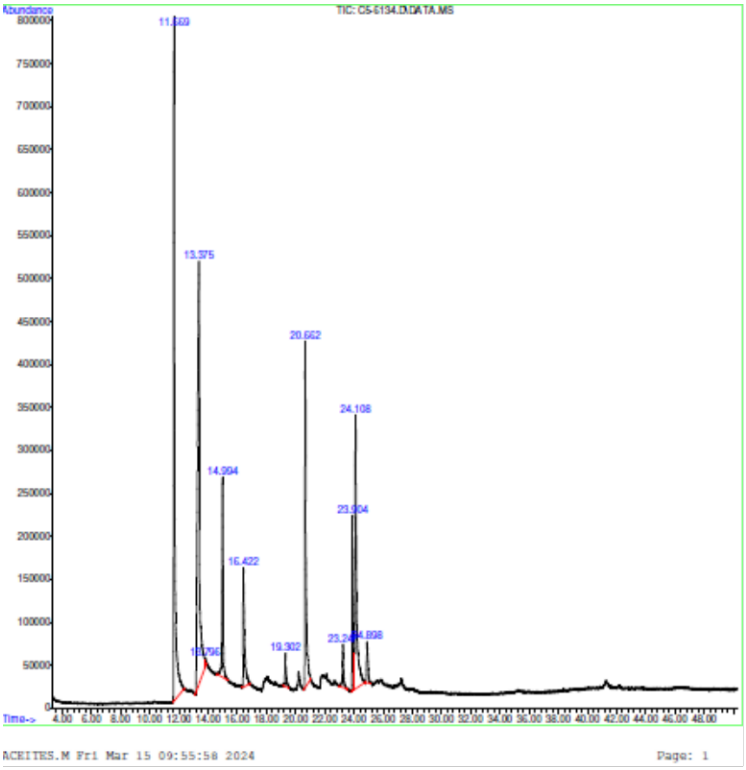
Apéndice J *Larvas secadas*



Apéndice K *Harina larvas de Hermetia illucens bajo tratamientos*



Apéndice L *Ácidos grasos Hermitia illucens T1*



Apéndice M *Ácidos grasos Harina Hermetia illucens T2*

