

Universidad de Zamorano

Maestría en Ciencias en Agricultura Tropical Sostenible



Tesis de Maestría

Valor nutritivo de la harina de larva de *Hermetia (Hermetia illucens (L.))* y su empleo en la alimentación de pollos de engorde

Estudiante

Mayra Katerin Atehortua Bolívar

Asesor

Yordan Martínez, Ph.D.

Jesus Orozco, Ph.D.

Honduras, Mayo 2023

Autoridades

SERGIO RODRIGUEZ ROYO

Rector

ANA M. MAIER ACOSTA

Vice-presidenta y Decana Académica

ARIE SANDERS

Decano Asociado de Posgrado

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Valor nutritivo de la harina de larva de *Hermetia*
(*Hermetia illucens* (L.)) y su empleo en la
alimentación de pollos de engorde

Mayra Katerin Atehortua Bolívar

Universidad de Zamorano

Honduras

Mayo, 2023

Nutritive value of *Hermetia illucens* (*Hermetia illucens* (L.)) larvae meal and its use in broiler feeding

Mayra Katerin Atehortua Bolívar

Zamorano University

Honduras

May, 2023

ZAMORANO

MAESTRIA EN CIENCIAS EN AGRICULTURA TROPICAL SOSTENIBLE

Valor nutritivo de la harina de larva de Hermetia (*Hermetia illucens* (L.)) y su empleo en la alimentación de pollos de engorde

Tesis de grado como un requerimiento parcial para el título de Maestría en Ciencias en
Agricultura Tropical Sostenible

Presentado por

Mayra Katerin Atehortua Bolívar

Zamorano, Honduras

Mayo, 2023

La defensa oral y el documento de tesis de Mayra Katerin Atehortua Bolívar fue revisada y aprobada por el siguiente personal docente y autoridades de la Universidad Zamorano ¹

Yordan Martínez, Ph.D.
Asesor principal

Jesus Orozco, Ph.D.
Asesor secundario

Arie Sanders, Ph.D.
Decano Asociado de Posgrado

Juan Carlos Rosas, Ph.D.
Director de Investigación

Ana Maier, Ph.D.
Vicepresidente y Decana Académica

¹La hoja de aprobación contiene las firmas y este documento está bajo la oficina de registro.

Las actividades de investigación y Desarrollo en las que se basa gran parte de este trabajo de tesis fueron posible gracias al apoyo de la Fundación Nippon. El contenido es responsabilidad del autor y no refleja necesariamente los puntos de vista de Fundación Nippon.

Valor nutritivo de la harina de larva de *Hermetia (Hermetia illucens (L.))* y su empleo en la alimentación de pollos de engorde

Mayra Katerin Atehortua Bolívar

Resumen. A nivel mundial, los principales ingredientes en la dieta de las aves de corral son el maíz y la harina de soya. El aumento de los costos de estos ha generado inflación en los precios de los alimentos balanceados, lo que afecta especialmente a productores de escasos recursos. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la inclusión de la harina de larva de *Hermetia* (HLH), como un ingrediente alternativo en indicadores biológicos de pollos de engorde. La investigación se desarrolló en el Centro de Investigación y Enseñanza Avícola, Universidad Zamorano. Se determinó la bromatología básica, perfil de minerales y la energía metabolizable de la HLH. Un total de 640 pollos de engorde mixtos (Cobb 500©) se ubicaron aleatoriamente durante 31 días de edad (cuatro tratamientos experimentales, cuatro repeticiones por tratamiento y 40 pollos por repetición). Los tratamientos consistieron en una dieta control y 10, 15, y 20% de inclusión de HLH. Los niveles crecientes de HLH no provocaron morbimortalidad, ni cambiaron el peso vivo, peso relativo de porciones comestibles, órganos viscerales, inmunes y grasa abdominal, rendimiento inmunitario, características de la cama, composición química, de la pechuga, aunque en este músculo se observa cambios en la colorimetría. La inclusión de 15% HLH mejoró la conversión alimenticia (1.31) y la de 20% redujo bacterias patógenas. La inclusión hasta 20% de HLH como reemplazo parcial de la harina de soya, aminoácidos sintéticos, aceite vegetal, y fosfato en las dietas mejoró la productividad de pollos de engorde, siendo una alternativa alimenticia viable en la industria avícola.

Palabras clave: alimentación alternativa, formulación, insectos, ganancia de peso, mosca soldado negra, proteína.

Abstract. Worldwide, the main ingredients in the diet of poultry are cornmeal and soymeal. The increase in their costs has generated inflation in the prices of balanced feed, which especially affects low-income producers. The objective of this study was to evaluate the effect of the inclusion of *Hermetia* larva meal (HLH), as an alternative ingredient on biological indicators of broilers. The research was carried out at the Poultry Research and Teaching Center, Zamorano University. The basic bromatology, mineral profile and metabolizable energy of HLH were determined. A total of 640 mixed broilers (Cobb 500©) were randomly placed for 31 days old (four experimental treatments, four replicates per treatment and 40 chickens per replicate). Treatments consisted of a control diet and 10, 15, and 20% inclusion of HLH. The increasing levels of HLH did not provoke morbidity and mortality, nor did they change the body weight, relative weight of edible portions, visceral organs, immune organs and abdominal fat, immune performance, litter characteristics, chemical composition of the breast, although in this muscle it is observed changes in colorimetry. The inclusion of 15% HLH improved feed conversion (1.31) and that of 20% decreased pathogenic bacteria. The inclusion of up to 20% HLH as a partial replacement for soybean meal, synthetic amino acids, vegetable oil, and phosphate in diets improved broiler productivity, being a viable feed alternative in the poultry industry.

Key words: alternative feeding, formulation, insects, weight gain, black soldier fly, protein.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de autorización de documento de tesis.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Resumen.....	iv
Contenido.....	v
Cuadros, figuras y anexos	vi

INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN DE LITERATURA	4
MATERIALES Y MÉTODOS	10
RESULTADOS	17
DISCUSIÓN	29
CONCLUSIÓN	35
REFERENCIAS.....	36

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadros	Pág
1. Producción y destino de <i>Hermetia</i>	8
2. Ingredientes y aportes nutricionales de dietas para pollos de engorde con inclusión de harina de <i>Hermetia</i> (0 a 8 días).	12
3. Ingredientes y aportes nutricionales de dietas para pollos de engorde con inclusión de harina de larva de <i>Hermetia</i> (9 a18 días).	13
4. Ingredientes y aportes nutricionales de dietas para pollos de engorde con inclusión de harina de larva de <i>Hermetia</i> (19 a 31 Días).	14
5. Composición bromatológica y perfil de minerales de la harina de larva de <i>Hermetia</i> (HLH) comparada con la harina de soya y pescado.....	17
6. Efecto de la inclusión de harina de <i>Hermetia</i> (HLH) en el desempeño productivo de pollos de engorde (0-31 días)	19
7. Efecto de la inclusión de harina de <i>Hermetia</i> (HLH) sobre el peso relativo de las porciones comestibles (canal, pechuga, pierna) los órganos viscerales (hígado, corazón, molleja), inmunes (timo, bolsa de Fabricio, bazo) de los pollos de engorde.	20
8. Efecto de la inclusión de harina de <i>Hermetia</i> (HLH) en las dietas sobre la concentración de inmunoglobulinas (Ig) A, G y M (mg/dl) en pollos de engorde.	22
9. Efecto de la inclusión de harina de larva de <i>Hermetia</i> (HLH) en comparación con una dieta control sobre el pH y las poblaciones microbianas cecales de pollos de engorde.	24
10. Efecto de la inclusión de diferentes porcentajes de harina de larva de <i>Hermetia</i> (HLH) (10, 15 y 20%) sobre las características de la tibia (contenido de cenizas, fósforo y calcio) de pollos de engorde.	26
11. Efecto de la inclusión de harina de larva de <i>Hermetia</i> (HLH) en comparación con una dieta Control en los niveles de humedad, nitrógeno y fósforo de la cama.....	27
12. Efecto de la inclusión de harina de larva de <i>Hermetia</i> (HLH) en comparación con una dieta control sobre la composición química y color de la pechuga	28

Figuras	Pág
1. Ciclo de vida de <i>Hermetia illucens</i> (L.).....	7

INTRODUCCIÓN

En las poblaciones más vulnerables de los países en vías de desarrollo como Honduras, el impacto del sector avícola en materia de seguridad alimentaria y nutricional es ampliamente reconocido, con énfasis en sus aportes energéticos y proteicos, en especial los aminoácidos esenciales como lisina, treonina, metionina, y triptófano (Mountney y Parkhurst, 2017; Pius et al., 2021; Scanes, 2007). También, es una carne (pollo) eficiente de producir y la más barata de adquirir, lo que se ha consolidado como la principal fuente de proteína animal consumida a nivel mundial (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]; Scanes, 2007). Cabe resaltar que el consumo de carne de pollo en Honduras, en relación con otras carnes, es el más alto del bloque centroamericano. En la última década el consumo de carne de pollo en el país ha tenido un aumento del 35%, pasando de 17.61 kg a 23.72 kg/per cápita/año, lo que representa más del 90% de todas las carnes consumidas (FAOSTAT, 2017).

Asimismo, en Honduras, el sector avícola se caracteriza por una alta eficiencia en la producción, resultado de su alta inversión en tecnologías de manejo, infraestructuras, inocuidad y genética (Ardón, 2016). Estas características le permiten controlar las condiciones de producción e incrementar los rendimientos. Además, este rubro posee una alta asociatividad gremial y en términos productivos está altamente integrada en una cadena de valor vertical, lo que ha permitido cubrir el 90% de la demanda nacional (Ardón, 2016; Pacheco, 2007). Por lo tanto, el sector avícola, se constituye como un actor importante en la economía hondureña participando en el 5.5% del PIB nacional, e influye económicamente en más de 150,000 personas en todo el territorio (Banco Central de Honduras, 2021; Pacheco, 2007).

A pesar, que todos estos escenarios proponen a la producción avícola como un rubro importante tanto a nivel nutricional como económico, apenas el 5% de la avicultura hondureña se realiza en modelos diversificados y de doble propósito (Ardón, 2016; Pacheco, 2007). El 95% de la producción se desarrolla en modelos especializados, los cuales son altamente dependientes de insumos externos como cereales para la elaboración de piensos, uso de combustibles fósiles en la logística de importación de materias primas e insumos veterinarios y del consumo energético para el procesamiento y almacenamiento, así como para el transporte del producto terminado (FAO, 2013; Pacheco, 2007).

En relación con la dieta de las aves de corral, a nivel mundial los principales ingredientes que se emplean son las harinas de maíz y soya (Nkukwana, 2018). Sin embargo, debido a la alta demanda de estas materias primas, los costos aumentan cada año (Bangar Raju et al., 2020), esto es debido a la mayor población animal dependiente de estos ingredientes alimenticios,

además, de la reducción de la flota marítima, la inestabilidad productiva causada por diversos factores ambientales, la guerra de Rusia en Ucrania y el cambio climático. Estos factores han provocado inflación en los precios de las materias primas y de los concentrados, lo que afecta directamente a los sistemas agroalimentarios actuales y futuros, especialmente a los agricultores de escasos recursos de los países en vía de desarrollo (Nhamo et al., 2019).

En la mayoría de los sistemas de producción avícola, la alimentación representa entre el 70-85% de los costos (Alqaisi et al., 2017), así los investigadores indagan en la búsqueda de alternativas sostenibles que cubran la demanda de proteína y nutrientes, además, que permitan reducir esta inversión, sin afectar el desempeño productivo de los animales (Orozco Campo et al., 2009). Dentro de estas fuentes se encuentran los productos derivados de los insectos, que, por su alto valor nutritivo, son considerados una estrategia de interés para la sustitución de fuentes de proteína y energía en las dietas animales (Malomo et al., 2018). En el mundo hay más de 1,900 especies de insectos comestibles, sin embargo, los más utilizados en la producción de alimentos para nutrición animal son las larvas de *Hermetia* [*Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae)] y gusanos de la harina (*Tenebrio molitor*) (Avendaño et al., 2020). La FAO (2003) ha enfatizado en el estudio de los insectos comestibles en varios países enfocándose en la generación e intercambio de conocimientos mediante redes y grupos multidisciplinarias. A partir del año 2017, la Unión Europea aprobó el uso de la harina de larva de *Hermetia* en la alimentación de especies acuáticas y la nueva legislación autoriza el uso de insectos como proteína animal en diversas industrias bajo las recomendaciones de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA).

Hermetia se ha estudiado por su capacidad para reciclar y convertir desechos orgánicos en proteínas de alta calidad, que se pueden usar como alimento para una variedad de animales. Las larvas de *Hermetia* contienen niveles nutricionales para reemplazar parcialmente la soya y la harina de pescado en dietas de diversas especies de animales, incluidas las aves de corral (Barragan-Fonseca et al., 2017; Heuel et al., 2021). Según Nguyen et al. (2015), las larvas de *Hermetia* tienen alto potencial de reducir los restos orgánicos, ya que pueden ser alimentadas con desechos de origen animal y vegetal. De esta forma, se considera una alternativa para mejorar la sostenibilidad y facilitar la transición de la economía circular en los sistemas de producción (Kaya et al., 2021).

Ayamamani y Roger (2020), incluyeron la harina de larva de *Hermetia* (HLH) en diferentes niveles (0, 15, 25 y 40%) en la formulación de raciones para pollos Ross 308 como reemplazo de la harina de soya durante 42 días, los autores no encontraron cambios en la conversión alimenticia y peso vivo de los pollos por efecto de las dietas experimentales. Según Hartinger et al. (2022), es posible reemplazar parcialmente la harina y el aceite de soya con la inclusión del 15% de HLH, debido al alto contenido en grasa de esta harina (hasta 50%), con resultados positivos en el rendimiento de los pollos de engorde en la fase inicial y en la digestibilidad ileal aparente. Así mismo, Lee et al. (2018), reportaron que la inclusión de HLH promovió el peso vivo, y al parecer tiene propiedades inmuno-profilácticas contra *Salmonella gallinarum* (*Salmonella enterica enterica* ser. Gallinarum), con respuestas inmunitarias no específicas estimulantes (aumentó en la frecuencia de linfocitos T,

la actividad de la lisozima sérica y la proliferación de linfocitos de bazo) y aumentó de la capacidad de supervivencia de los pollos de engorde.

Aunque la HLH, es rica en proteínas y tiene el potencial para ser utilizada en la alimentación animal (Lee et al., 2018), para nuestro conocimiento todavía existen pocos resultados de la composición química, energía metabolizable y niveles de uso de la HLH, así es necesario continuar las investigaciones para validar varias hipótesis y que puede ser utilizado cotidianamente en la nutrición de las aves (Smet et al., 2018). El objetivo de la presente investigación fue evaluar el valor nutritivo de la harina de la larva *Hermetia illucens* (L.) y su empleo en la alimentación de los pollos de engorde

REVISIÓN DE LITERATURA

La carne de pollo es popular y ampliamente disponible, y se ha observado un aumento constante en su producción y consumo en todo el mundo (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OECD], 2022). Sin embargo, la producción avícola es dependiente de la formulación de alimentos comerciales, siendo este uno de los rubros que más impacta en la producción de pollos de engorde, donde la alimentación representa entre el 70-85% de los costos de producción (Orozco Campo et al., 2009). Una de las materias primas más empleadas es la harina de soya como fuente de proteínas y grasas (Heuel et al., 2021).

La soya es un bien básico que está sujeto a choques macroeconómicos y fenómenos climáticos, por lo tanto sus precios son flexibles (Solano Villa, 2015). Además, el cultivo de soya requiere una gran cantidad de agua y tierra para crecer, por lo tanto, tiene un impacto ambiental significativo, y el aumento del cultivo de soya provoca la deforestación de zonas de alto valor biológico (Steinfeld, 2006). Por otra parte, la soya tiene una fuerte competencia por el empleo en la alimentación humana, producción de piensos y biocombustibles.

Por lo tanto, la búsqueda de nuevos ingredientes para implementar las dietas avícolas con el fin de reducir costos y mejorar la sostenibilidad y rentabilidad del sector es de suma importancia (Leinonen y Kyriazakis, 2016). Desde esta perspectiva, uno de los posibles candidatos para solucionar este problema son los insectos como fuente de nutrientes en la industria de piensos para la producción animal (Babatunde et al., 2021).

Insectos en la industria de alimentos.

Ante el crecimiento poblacional, la industria alimentaria y las autoridades contemplan nuevas alternativas nutricionales, siendo los insectos como una fuente de proteína de calidad. El consumo de insectos es una práctica común en todo el mundo. Se espera que el mercado global de insectos comestibles aumente a \$ 1,2 mil millones de dólares para el año 2023 (Global Market Insights [GMI], 2020), sin embargo, en algunas regiones es más común que en otras. En este sentido, en los países occidentales, los insectos rara vez hacen parte de las investigaciones e interés de las agendas de sostenibilidad y seguridad alimentaria debido a que el consumo humano de insectos es poco frecuente o incluso culturalmente inapropiado, contrario a lo que ocurre en el continente Asiático, donde la entomofagia es una práctica común (Smith et al., 2021).

Los insectos se incorporan a un modelo de producción circular que permite un mejor aprovechamiento de los recursos, lo cual es necesario para afrontar los retos de suplir la seguridad alimentaria con el inminente aumento de la población (Avendaño et al., 2020). Algunas especies de insectos se pueden criar en cámaras de desarrollo larval, alimentados con residuos orgánicos,

lo que transforma los desechos en alimentos ricos en proteínas, con una conversión alimenticia eficiente. La cría de insectos en un sistema sostenible, ya que contribuye al reciclaje de residuos, no requiere grandes áreas, ni mucha agua, cuando se compara con los ingredientes convencionales como la harina de soya y pescado, los cuales son cada vez más costosos (Sánchez-Muros et al., 2014). Además, según Pang et al. (2020), la huella de carbono de los insectos es relativamente baja, lo que permite producciones amigables con el medio ambiente.

Actualmente, los insectos están siendo considerados como una materia prima alternativa para la alimentación animal (Premalatha et al., 2011); y son considerados como fuentes de proteína, aceite y lípidos en alimentos y piensos (Liceaga, 2021). Asimismo, se están desarrollando procesos para su comercialización, con énfasis en la obtención de harinas, la cual conserva los beneficios nutricionales y de sostenibilidad. Las harinas generalmente se producen deshidratando a los insectos enteros y luego son molidos hasta que se obtiene un polvo fino (Luna et al., 2021), lo que permite que ingresen a la industria de los piensos, ya que se pueden incorporar en la formulación y la producción del balanceado (Liceaga, 2021).

Principales insectos en la industria de los alimentos. Las principales especies de insectos consumidas son, en orden de importancia, escarabajos (Coleoptera), orugas (Lepidópteros), hormigas (Hymenoptera), abejas y avispas (Hymenoptera), langostas (Ortóptera), pulgones y chicharritas (Hemiptera), termitas (Isoptera), moscas (Diptera), entre otros (Stamer, 2015). Los insectos pueden consumirse en diferentes etapas de su desarrollo, como huevos, larvas, pupas y adultos, pero de acuerdo con Stamer (2015) la mayor parte de las especies registradas se consumen en forma de larva o pupa. Y las formas indirectas de consumo es mediante los productos elaborados por estos insectos, tales como miel, cera, polen, harinas, aceites, colorantes y medicinas.

La entomofagia tanto para consumo humano como animal se ha desarrollado desde hace más de 2,000 años. En China la producción de insectos incluye la identificación, cría que se puede desarrollar completa o parcialmente en cautiverio (el hábitat de los insectos se puede manipular para aumentar la producción) y cultivo, lo que sin duda contribuye a la seguridad alimentaria (Feng et al., 2018). Así, las comunidades sociales y científicas deben trabajar juntas para promover el uso de insectos como alimento (Verneau et al., 2021). Además, la cría de insectos se puede realizar utilizando desechos orgánicos, lo que permite reducir la huella ambiental y aumentar su utilidad.

El grillo y el gusano de la harina son las especies de insectos más populares, sin embargo, no se pueden criar fácilmente con la mayoría de los desechos (Gahukar, 2011). Por lo tanto, existe la necesidad de identificar y estudiar más especies que cuenten con propiedades de cultivo superiores, como la *Hermetia* (*Hermetia illucens* (L.)), que es capaz de convertir eficientemente una amplia variedad de materiales orgánicos, desde desechos de alimentos hasta estiércol, en biomasa de insectos (Wang y Shelomi, 2017).

Hermetia (*Hermitia illucens* (L.)). Es un insecto detritívoro perteneciente al orden Diptera y la familia Stratiomyidae, nativa de zonas tropicales, subtropicales y templadas cálidas. No es resistente al frío, presenta la facilidad de mantenerse en colonia, por lo que se ha diseminado a lo largo del mundo en regiones tropicales y templadas (Craig Sheppard et al., 1994). Es un insecto saprofito que puede digerir desechos orgánicos, como estiércol animal, residuos vegetales y desechos alimentarios y agrícolas (Nguyen et al., 2015; Wang y Shelomi, 2017). El proceso de crecimiento de las larvas tiene lugar en etapas que se conocen comúnmente como estadios, y las larvas de *Hermetia* presentan un total de 6-7 estadios (Schermmer, 1984), incluyendo huevo, larva, prepupa, estadios de pupa y adulto (Chia, 2019).

El ciclo de vida de *Hermetia* dura alrededor de 40 a 50 días. Comienza con la puesta de huevos de la mosca hembra, cerca de materia orgánica en descomposición, la principal fuente de alimento. Después de 4 días aproximadamente, los huevos eclosionan y emergen las larvas. Las larvas son omnívoras e ingieren los compuestos orgánicos descompuestos circundantes. Esta etapa larvaria se extiende hasta alcanzar una etapa de quinto estadio, es decir, aproximadamente 4 semanas, dependiendo de la calidad y disponibilidad de materia orgánica que pueda ingerir, en esta etapa las larvas presentan un color cremoso. Después, comienza la eclosión en las prepupas al alcanzar su etapa de sexto estadio. En la última etapa de forma larvaria el color cambia de marrón claro a oscuro; durante este período la pupa se transforma en una mosca (Surendra et al., 2016). La mosca solo consume agua, no se acercan a los humanos, no muerden ni pican, y no son vectores ni diseminan ninguna enfermedad específica, viven en promedio 4-6 días, se aparean y ponen los huevos para continuar el ciclo (Raksasat et al., 2020).

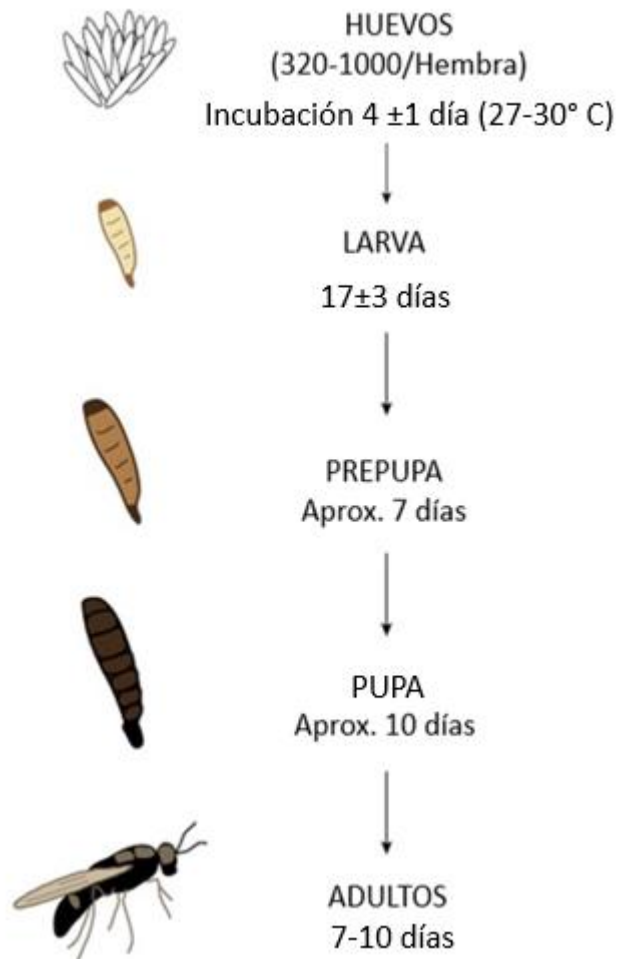


Figura 1. Ciclo de vida de *Hermetia illucens* (L.) (Smet et al., 2018)

Producción. La producción comercial de insectos, si bien es un concepto novedoso, se encuentra ampliamente difundido en países como Tailandia, Vietnam, Holanda, y Estados Unidos. En Costa Rica existen diferentes empresas que se dedican a la producción de *Hermetia* en sus diferentes estados del ciclo (larva, pupa, adulto), además, de otros productos finales como las materias primas usadas en la alimentación de animales de consumo humano (Quirós et al., 2019). Varias empresas en diferentes países se dedican a la producción de *Hermetia* para ofrecer sus productos a mercados específicos (Avendaño et al., 2020).

Cuadro 1. Producción y destino de Hermetia.

Nombre (país)	Sitio web	Especie destino
Enormfood (Dinamarca)	http://www.enormfood.com/	Humanos
Gourmet Grub (Sudáfrica)	https://gourmetgrubb.com/	Humanos
F4F (Chile)	https://f4f.cl/	Peces
Wilderharrier (Canadá)	https://en.wilderharrier.com/	Perros
Tomojo (Francia)	https://tomojo.co/pages	Perros y gatos
Goterra (Australia)	https://www.goterra.com.au/	Aves, peces, gatos y perros
Nasekomo (Bulgaria)	https://nasekomo.life/	Aves, peces, gatos, perros y reptiles
Prento Farms (Puerto Rico)	https://prentofarms.com/	Aves

Para la producción de Hermetia, se puede emplear una serie de sustratos para su alimentación y desarrollo. Wang et al. (2020), evaluaron la composición de nutrientes de la prepupa de Hermetia liofilizada, bajo diferentes sistemas de alimentación basados en desechos orgánicos, alimentos, estiércol de cerdo, estiércol de pollo, y estiércol de vaca. Los autores encontraron que los desechos de alimentos fue el mejor tratamiento para el crecimiento de la población, además presentó los contenidos nutricionales más altos en proteína bruta (436.9 g/kg) y grasa cruda (372.4 g/kg). Otros sustratos que se pueden emplear son los residuos de cosecha como las plantas hortofrutícolas. En Canadá, la empresa *Enterra Feed Corporation* ha optado por el uso de Hermetia como un aliado para el aprovechamiento de frutas y hortalizas que se descartan por diversos daños, los cuales son transformados en abonos orgánicos y se promueve como fuente de proteínas para diferentes ganados. La empresa estima que anualmente transforman hasta 100 toneladas de residuos en productos de utilidad que de lo contrario se perderían en las diversas fases de la cadena (Cárdenas-Gúzmán, 2018).

El consumo de Hermetia se suministra en sus etapas iniciales debido a parámetros de aceptación y su composición bromatológica está directamente relacionada al sustrato empleado durante su desarrollo. Dentro de sus bondades nutricionales, se pueden mencionar un alto contenido de proteínas, aminoácidos, ácidos grasos esenciales, vitamina B12, B2, vitamina A, y varios minerales (con énfasis fósforo disponible). Otra bondad es relacionada a su palatabilidad, la obtención de la harina tiene un olor adecuado para animales con amplio olfato y paladar como el cerdos, y además, al ser agregadas como suplementos en otros alimentos brinda un gran aporte nutricional a un costo mucho más bajo que proteínas de otras fuentes (Dossey y Méndez-Gutiérrez, 2014).

La mayor parte de las investigaciones se han centrado a la producción de suplemento alimenticio para especies acuáticas como trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*), dorado (*Sparus aurata*) y tilapia (*Oreochromis niloticus* L.), siendo la HLH una fuente importante de proteína y que no compromete los rendimientos ni la calidad del producto final. En Europa existe desde el 2017 una reglamentación que regula la utilización de este producto en las explotaciones acuícolas, fomentando un ambiente prometedor para su desarrollo (Avendaño et al., 2020).

En un estudio se probó sustituir el 50% del aceite de soya empleado en la producción de pavos por aceite proveniente de larvas de *Hermetia*, el cual no afectó el rendimiento, la digestibilidad de los nutrientes, morfología o la calidad de la carne, y presentó resultados positivos al actuar como antimicrobiano y respaldar las respuestas inmunitarias. Adicionalmente, se suma los costos relativamente menores a los del aceite de soya, lo que la hace una alternativa viable para su implementación (Sypniewski et al., 2020). Se debe profundizar en estudios para evaluar el impacto de incluir HLH en las dietas de las aves, principalmente en pollos de engorde.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización de estudio. El estudio se realizó en el Centro de Investigación y Enseñanza Avícola de la Universidad de Zamorano, situada a 30 km al sudeste de Tegucigalpa, en el municipio de San Antonio de Oriente, departamento de Francisco Morazán, Honduras. La temperatura media anual es de 24°C y el promedio de precipitación es de 1,100 mm por año.

Experimento 1. Composición química de la harina de larva de *Hermetia*

La HLH provino del Laboratorio de Entomología, Universidad Zamorano, Honduras. Las muestras se deshidrataron en un secador solar mediante cinco días y se trituraron en un molino de martillo a 1 mm. Se determinó en la HLH la materia seca, proteína cruda, grasa cruda, fibra cruda y cenizas, según el método de la AOAC (2006). También, se analizó el perfil de minerales mediante un espectrofotómetro de absorción atómica.

Experimento 2. Determinación de la energía metabolizable de la harina de larva de *Hermetia*

Con el objetivo de determinar la energía metabolizable verdadera de la HLH se utilizaron nueve gallos de la línea genética Hy-line W36 de 45 semanas de vida distribuidos en nueve jaulas metabólicas. Durante cinco días se le suministraron *ad libitum* una dieta control, seguidamente las aves se sometieron a un ayuno durante 24 horas para garantizar el vaciamiento del tracto gastrointestinal. Después de las 24 horas de ayuno, se dosificó el alimento mediante un embudo y se aseguró que la cantidad de alimento suministrado se introdujera en el buche de los gallos. Se suministró 30 g/d/gallo de la HLH en un sistema de alimentación forzada, se colocaron bandejas recolectoras de excretas y se midió la colecta total. Como control, se utilizó la harina de maíz y harina de soya en gallos individuales; dos gallos se mantuvieron en ayuno durante 48 horas, después se recolectaron las excretas. Las aves recibieron 12 horas de luz y agua *ad-libitum*. Las jaulas metabólicas se colocaron en lugares aislados para disminuir el estrés de los gallos. Todos los gallos tenían la misma edad y pesos similares para evitar la variabilidad de los datos.

Todas las excretas se recolectaron y pesaron simultáneamente 21 h post-alimentación forzada, mediante una espátula de acero inoxidable, para evitar la contaminación de dichas con plumas

cualquier otro tipo de partícula. Las muestras se depositaron en bolsas plásticas previamente identificadas. En el laboratorio las muestras se deshidrataron, trituraron y se analizaron químicamente por triplicado para la energía bruta (EB) (kcal/kg) de las harinas de soya, maíz y Hermetia; además, se determinó la EB (kcal/kg) en las excretas de cada ave mediante una bomba calorimétrica.

La energía metabolizable verdadera en la HLH se determinó mediante la ecuación 1.

$$EMV \text{ (kcal/kg)} = \frac{(F_j \times E_{bf}) - (Y_f - Y_e)}{F_j} \quad [1]$$

En donde, F_j = Cantidad de alimento ofrecido (kg), E_{bf} = Energía bruta del alimento (kcal/kg), Y_f = Energía excretada por el ave alimentada (kcal), y Y_e = Energía excretada por el ave sin alimento (kcal).

Experimento 3. Empleo de la harina de larva de Hermetia en la alimentación de pollos de engorde

Animales, diseño experimental y tratamientos. Un total de 640 pollos de engorde Cobb 500[®] de un día de edad se ubicaron aleatoriamente en cuatro tratamientos experimentales, cuatro repeticiones por tratamiento y 40 aves por repetición durante 31 días de edad. Para realizar las tres frecuencias alimentarias (0-8, 9-18, y 19-31 días) se tomaron en cuenta los requerimientos nutricionales de la línea genética Cobb 500[®]. Los tratamientos experimentales consistieron en una dieta control (T1), y 10 (T2), 15 (T3) y 20% (T4) de inclusión de harina de larvas de Hermetia. Las dietas se muestran en los cuadros 2, 3 y 4, acorde a los requerimientos nutriciones de la línea genética en cada etapa.

Cuadro 2. Ingredientes y aportes nutricionales de dietas para pollos de engorde con inclusión de harina de Hermetia (0 a 8 días).

Ingredientes (%)	Tratamientos experimentales			
	T1 (Control)	T2 (10%)	T3 (15%)	T4 (20%)
Maíz amarillo convencional	52.98	52.29	46.36	38.71
Harina de soya	38.76	31.34	26.58	21.62
Harina Hermetia	0.00	10.00	15.00	20.00
Aceite de palma africana	3.30	0.21	0.02	0.22
Salvado de trigo nacional	0.00	1.50	7.50	15.00
Enzimas exógenas	0.05	0.05	0.05	0.05
Coccidiostato	0.05	0.05	0.05	0.05
Premezcla de minerales y vitaminas	0.35	0.35	0.35	0.35
Colina	0.05	0.05	0.05	0.05
Mycofix plus 5.0	0.12	0.12	0.12	0.12
Carbonato de calcio	1.13	1.05	1.05	1.03
Fosfato monocalcico	2.11	1.92	1.77	1.66
Sal común	0.35	0.35	0.35	0.35
L-lisina	0.23	0.18	0.17	0.17
DL-metionina	0.37	0.33	0.33	0.33
L-treonina	0.16	0.19	0.23	0.27
<i>Aportes nutricionales</i>				
Energía metabolizable (kcal/kg)	2900.00	2900.00	2900.00	2900.00
Proteína cruda (%)	22.00	22.00	22.00	22.00
Lisina (%)	1.26	1.26	1.26	1.26
Metionina+cistina (%)	0.94	0.94	0.94	0.94
Treonina (%)	0.86	0.86	0.86	0.86
Ca (%)	0.90	0.90	0.90	0.90
P (%)	0.58	0.58	0.58	0.58

Cuadro 3. Ingredientes y aportes nutricionales de dietas para pollos de engorde con inclusión de harina de larva de Hermetia (9 a 18 días).

Ingredientes (%)	Tratamientos experimentales			
	T1 (Control)	10%	15%	20%
Maíz amarillo convencional	59.43	53.27	50.18	43.02
Harina de soya	33.73	25.16	21.04	17.59
Harina de Hermetia	0.00	10.00	15.00	20.00
Aceite de palma africana	2.69	0.88	0.05	0.10
Salvado de trigo nacional	0.00	7.00	10.00	15.61
Enzimas exógenas	0.05	0.05	0.05	0.05
Cocciostato	0.05	0.05	0.05	0.05
Premezcla de minerales y vitaminas	0.35	0.35	0.35	0.35
Colina	0.05	0.05	0.05	0.05
Mycofix plus 5.0	0.12	0.12	0.12	0.12
Carbonato de calcio	1.23	1.16	1.15	1.20
Fosfato monocálcico	1.26	1.06	0.91	0.84
Sal común	0.35	0.15	0.35	0.35
L-lisina	0.23	0.20	0.19	0.15
DL-metionina	0.33	0.32	0.31	0.29
L-treonina	0.12	0.18	0.21	0.23
Aportes nutricionales				
Energía metabolizable (kcal/kg)	2950.00	2950.00	2950.00	2950.00
Proteína Cruda (%)	20.00	20.00	20.00	20.00
Lisina (%)	1.16	1.16	1.16	1.16
Metionina+cistina (%)	0.88	0.88	0.88	0.88
Treonina (%)	0.78	0.78	0.78	0.78
Ca (%)	0.80	0.80	0.80	0.80
P (%)	0.40	0.40	0.40	0.40

Cuadro 4. Ingredientes y aportes nutricionales de dietas para pollos de engorde con inclusión de harina de larva de *Hermetia* (19 a 31 Días).

Ingredientes (%)	T1 (Control)	10%	15%	20%
Maíz amarillo convencional	60.87	56.49	51.63	44.70
Harina de soya	31.56	23.43	18.89	13.94
Harina de <i>Hermetia</i>	0.00	10.00	15.00	20.00
Aceite de palma africana	3.59	1.39	0.93	0.97
Salvado de trigo nacional	0.00	5.00	10.00	16.96
Enzimas exógenas	0.05	0.05	0.05	0.05
Coccidiostato	0.05	0.05	0.05	0.05
Premezcla de minerales y vitaminas	0.35	0.35	0.35	0.35
Colina	0.05	0.05	0.05	0.05
Mycofix plus 5.0	0.12	0.12	0.12	0.12
Carbonato de calcio	1.12	1.06	1.04	1.03
Fosfato monocálcico	1.12	0.90	0.76	0.61
Bicarbonato	0.28	0.28	0.28	0.28
Sal común	0.23	0.23	0.23	0.23
L-lisina	0.19	0.16	0.15	0.14
DL-metionina	0.30	0.28	0.27	0.27
L-treonina	0.078	0.132	0.165	0.21
Aportes nutricionales				
Energía metabolizable (kcal/kg)	3020.00	3020.00	3020.00	3020.00
Proteína Cruda (%)	19.00	19.00	19.00	19.00
Lisina (%)	1.08	1.08	1.08	1.08
Metionina+cistina (%)	0.83	0.83	0.83	0.83
Treonina (%)	0.71	0.71	0.71	0.71
Ca (%)	0.74	0.74	0.74	0.74
P (%)	0.37	0.37	0.37	0.37

Condiciones experimentales. Cada repetición estuvo conformada por un corral con 11 aves/m². El alimento y el agua se suministraron *ad libitum* en comederos tipo tolva y bebederos de niple, respectivamente. La temperatura y la ventilación dentro del galpón se controló mediante criadoras de gas, manejo de cortinas y ventiladores. El galpón se desinfectó según las normas de calidad medioambientales del Protocolo de Centro de Investigación y Capacitación Avícola mediante aplicación de amonio cuaternario (5%) en el área experimental, 24 horas antes del ingreso de los animales. No se utilizaron medicamentos ni atención veterinaria terapéutica durante toda la etapa experimental.

Desempeño productivo. En cada fase experimental (inicio, crecimiento y finalización) se determinaron los indicadores del desempeño productivo de los pollos de engorde. La viabilidad se determinó mediante los animales vivos entre los existentes al inicio del experimento. Se calculó la conversión alimenticia como la cantidad de alimento ingerido, para una ganancia de 1 kg de peso vivo (PV). El peso inicial y el final de cada etapa se determinó de forma individual, en una balanza industrial Mettler Toledo® IND226 con precisión ± 1.00 g. El consumo de alimento acumulado (CA) se calculó diariamente mediante el método de oferta y rechazo. Además, se calculó la conversión alimenticia como la cantidad de alimento ingerido, para una ganancia de 1 g de peso vivo.

Características de la canal. A los 31 días de edad se seleccionaron 20 aves/tratamiento (10 hembras y 10 machos) en ayunas por 6 h según el peso vivo promedio de cada grupo experimental. Los pollos de engorde se sacrificaron utilizando el método de dislocación cervical mecánica (aturdimiento), y una vez que las aves estaban inconscientes, se utilizó la técnica de exanguinación. Posterior al sacrificio, se sumergieron en una escaldadora a 60°C con un flujo de agua de 1 L/ave/min durante 3 min y de ahí, se pasaron a una desplumadora circular durante 10 seg. Luego se llevó a cabo la evisceración manualmente. Para determinar el peso relativo de la canal y vísceras, se realizó un pesaje de los pollos de ceba antes del sacrificio en una balanza digital Truweigh™ Blaze digital scale BL-100-01-BK con precisión ± 0.1 g. Después del sacrificio, se pesó la canal, porciones comestibles (canal, pechuga, pierna) los órganos viscerales (hígado, corazón, molleja), inmunes (timo, bolsa de Fabricio, bazo) y grasa abdominal y se calculó el rendimiento en canal.

Daños corporales. A la finalización del experimento (31 días), se determinó en todos los animales los daños corporales como vesículas pectorales, callos en el metatarso, metatarsos ennegrecidos, metatarsos enrojecidos, inflamación de la articulación tibio tarso-metatarso, dedos y patas torcidas, y callos plantares.

Inmunología. Para los análisis de inmunoglobulinas se tomaron seis muestras de sangre por tratamiento (tres de cada sexo) y se evaluó la concentración de inmunoglobulinas A, G y M. Las muestras de sangre fueron almacenadas en tubos con heparina y conservadas en refrigeración (-18°C) para analizarlas través del método de Turbidimetría, en el Laboratorio de Análisis Clínico Paredes y Asociados, Tegucigalpa, Honduras. Las inmunoglobulinas se analizaron utilizando aparatos comerciales del Nanjing Jiancheng Bioengineering Institute, Nanjing, Jiangsu, China, siguiendo el manual del usuario.

pH y bacterias ácido-lácticas cecal. Se determinó el pH en el ciego izquierdo de seis aves/tratamiento en ayunas, mediante un potenciómetro digital Oakton® modelo pH 700, calibrado con soluciones buffer de pH a 1.68, 4.01, 7.00, 10.01, y 12.45. Además, en el sacrificio, se tomó el ciego derecho de seis aves/tratamiento para cultivo microbiológico (Coliformes totales, *E. coli*, Enterobacterias, hongos, levaduras y bacterias acidolácticas).

Análisis de porcentaje de calcio y fósforo en tibias. Se extrajo de manera manual los huesos (tibias) y se retiró cualquier tipo de tejido restante, para así obtener las muestras correspondientes

del análisis de Calcio (Ca) y Fósforo (P) por medio del protocolo de análisis del Laboratorio de Suelos de la Universidad Zamorano. La extracción de Ca se realizó con el método AOAC 965.09 y la determinación por espectrofotometría de absorción atómica. Para el P, la extracción se hizo con el método AOAC 965.09 y la determinación por colorimetría.

Volatilización del nitrógeno amoniacal (caracterización de la cama). Se recolectaron 5 kg de cama por cada tratamiento. Se determinó el porcentaje de humedad, Nitrógeno (N) y Fósforo (P) en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Zamorano. La humedad se determinó en relación con el peso húmedo: peso seco. Para el análisis de N se usó el método AOAC Official Method 2001.11., y para el P, la extracción se realizó con el método AOAC 965.09 y la determinación por colorimetría.

Composición química de la pechuga. Se tomaron tres muestras de pechuga por cada tratamiento. En las muestras se determinaron la humedad, cenizas y proteína. Además, se calculó el color por medio del equipo Colorflex Hunter L^* a^* b^* , utilizando el método AN 1018.00, donde L^* corresponde a luminosidad para indicar colores oscuros (0 – 50) y claros (51 – 100), la escala a^* corresponde a valores positivos (rojo) o negativos (verde), y la escala b^* también corresponde a valores positivos (amarillo) y negativos (azul).

Análisis estadísticos. Los datos se procesaron mediante análisis de varianza de clasificación simple en un diseño completamente aleatorizado para los indicadores productivos y con un arreglo factorial para el análisis de la interacción de tratamiento por sexo en los indicadores fisiológicos e inmunes. Antes de realizar el análisis de varianza, se procedió a verificar la normalidad de los datos por la prueba de Kolmogorov-Smirnov y para la uniformidad de la varianza, la prueba de Bartlett. Se empleó la Dócima de Duncan (1955) para determinar las diferencias entre medias. Todos los análisis se realizaron con el software estadístico “Statistical Analysis System (SAS versión 9.4)”.

RESULTADOS

Actualmente en la alimentación animal se emplean dos tipos de HLH, la principal diferencia es el contenido de grasa. La HLH sin desgrasar utilizada en el presente estudio presentó un contenido de humedad, materia seca, cenizas, proteína, grasa y fibra cruda de 3.81, 91.20, 5.13, 40.19, 45.58 y 9.39 g/100 g, respectivamente. Los contenidos de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio de la HLH fueron 6.4, 0.5, 0.8, 0.7 y 0.1%, respectivamente. En cuanto a la concentración de cobre, hierro, magnesio y zinc fue de 5.3, 52.7, 14.6 mg/kg respectivamente. Finalmente, la energía bruta presentada es de 5576 kcal/kg y la energía metabolizable verdadera 5420 kcal/kg.

Cuadro 5. Composición bromatológica y perfil de minerales de la harina de larva de *Hermetia* (HLH) comparada con la harina de soya y pescado

	Unidades	Harina				
		Hermetia			Soya	Pescado
		Concentración	DE	CV		
Materia Seca	g/100g	91.20	0.700	0.76	89.90	92.63
Cenizas	g/100g	5.13	0.058	1.13	6.61	12.50
Proteína	g/100g	40.19	0.97	2.41	48.55	60.97
Grasa	g/100g	45.58	0.52	1.14	1.78	9.90
Fibra cruda	g/100g	9.39	0.34	3.64	7.90	0.54
Nitrógeno	%	6.43	0.16	2.48		
Fósforo	%	0.46	0.01	3.69	0.67	2.78
Potasio	%	0.79	0.03	4.43	2.27	0.79
Calcio	%	0.71	0.02	4.08	0.35	4.57
Magnesio	%	0.14	0.01	8.57	0.32	0.20
Cobre	mg/kg	5.33	0.57	10.84	14.90	7.00
Hierro	mg/kg	52.67	0.57	1.09	227.55	250.00
Manganeso	mg/kg	14.67	3.05	20.83	0.33	10.00
Zinc	mg/kg	59.00	7.81	13.23	51.66	100.00
Energía total	kcal/kg	5576	442.76	0.71	4675	4895
Energía metabolizable	kcal/kg	5420	442.76	0.71	2477	3289

Para evaluar el impacto de las dietas con la inclusión de HLH en los indicadores productivos de pollos de engorde, se midieron el peso vivo (g), consumo de alimento (g/ave), índice de conversión alimenticia (kg/kg) y viabilidad (%) en cada etapa de crecimiento (0 a 8; 9 a 18 y 19 a 31 días; Cuadro 6). En la primera etapa (0 a 8 días), ningún indicador productivo presentó diferencias significativas con la inclusión de HLH en las dietas, lo que demuestra que este producto es inocuo y no afecta los indicadores de producción de los pollos de engorde hasta un nivel de inclusión del 20%.

En la segunda etapa (9 a 18 días), la dieta control incrementó el peso vivo ($p < 0.001$, 879.90 g), sin diferencias notables con la inclusión del 15 (866.50 g) y 20% (868.93 g) de HLH y el menor peso se encontró en los pollos alimentados con la dieta del 10% de HLH. En el consumo de alimento se presentaron diferencias significativas ($p < 0.001$), el mayor consumo se obtuvo en los pollos alimentados con la dieta control (870.05 g); respecto a las dietas con los diferentes niveles de inclusión de HLH, los pollos con la dieta del 10% de HLH consumieron 814.48 g, la de 15 y 20%, 814.18 y 826.18 g, respectivamente. Asimismo, se encontraron diferencias significativas ($p = 0.008$) en el índice de conversión alimenticia, el más alto se obtuvo con la dieta del 10% de HLH (1.38 kg/kg) y el control (1.35 kg/kg), siendo este estadísticamente similar a la inclusión de 20% de HLH (1.29 kg/kg); el menor índice se reflejó en el grupo que recibió la dieta con 15% de inclusión de HLH (1.27 kg/kg). No hubo diferencias significativas en las dietas para el porcentaje de viabilidad de los pollos alimentados con 10, 15 y 20% de HLH en comparación con el grupo control.

En la tercera etapa (19 a 31 días), no se presentaron diferencias notables en el peso vivo de los animales. El consumo de alimento de los pollos indicó diferencias significativas ($p < 0.001$), donde los mayores valores se observaron con la inclusión del 10% (1,616.31 g) y 20% (1,575.08 g) de HLH, siendo esta última estadísticamente similar a la dieta control (1,557.82 g); el menor consumo se encontró con la inclusión del 15% de HLH (1,376.95 g). El 15% de HLH (1.38 kg/kg) mostró el índice de conversión alimenticia más bajo ($p < 0.001$) en comparación con la dieta control (1.55 kg/kg) y la inclusión de 10 (1.55 kg/kg) y 20% (1.50 kg/kg). El porcentaje de viabilidad no tuvo diferencias estadísticas ($P > 0.05$).

El comportamiento productivo acumulado (0 a 31 días) de pollos de engorde alimentados con diferentes niveles de inclusión de HLH, mostró diferencias estadísticas ($p < 0.001$) para el consumo de alimento y el índice de conversión alimenticia; los pollos alimentados con la inclusión del 15% obtuvieron los valores más bajos en estos dos indicadores con un consumo de 2383.64 g e índice de conversión alimenticia de 1.31 kg/kg, en comparación con los otros tratamientos experimentales, donde el consumo y la conversión alimenticia fueron 2629.74 g y 1.43 kg/kg, 2619.80 g y 1.44 kg/kg y 2589.64 g y 1.38 kg/kg, para la dieta control y la inclusión de 10 y 20% de HLH, respectivamente. En todo el ciclo productivo no se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en el porcentaje de viabilidad (Cuadro 6).

Cuadro 6. Efecto de la inclusión de harina de Hermetia (HLH) en el desempeño productivo de pollos de engorde (0-31 días)

	Tratamientos experimentales				EE±	Valor P
	Control	10% HLH	15% HLH	20% HLH		
0-8 días						
Peso vivo (g)	231.00	228.01	225.00	226.45	1.695	0.677
CA (g/ave)	201.88	189.01	192.50	188.38	2.820	0.325
ICA (kg/kg)	1.11	1.05	1.08	1.06	0.021	0.680
Viabilidad (%)	100	100	100	99	0.160	0.426
9-18 días						
Peso vivo (g)	879.90 ^a	817.28 ^b	866.50 ^a	868.93 ^a	6.135	<0.001
CA (g/ave)	870.05 ^a	814.48 ^b	814.18 ^b	826.18 ^b	5.870	<0.001
ICA (kg/kg)	1.35 ^{ab}	1.38 ^a	1.27 ^c	1.29 ^{bc}	0.010	0.008
Viabilidad (%)	100	100	100	99	0.110	0.096
19-31 días						
Peso vivo (g)	1886.13	1860.67	1865.97	1918.38	13.180	0.417
CA (g/ave)	1557.82 ^b	1616.31 ^a	1376.95 ^c	1575.08 ^{ab}	18.130	<0.001
ICA (kg/kg)	1.55 ^a	1.55 ^a	1.38 ^b	1.50 ^a	0.020	<0.001
Viabilidad (%)	99	100	99	99	0.315	0.430
0-31 días						
CA (g/ave)	2629.74 ^a	2619.80 ^a	2383.64 ^b	2589.64 ^a	29.860	<0.001
ICA (kg/kg)	1.43 ^{ab}	1.44 ^a	1.31 ^c	1.38 ^b	0.020	<0.001
Viabilidad (%)	99.5	100	99.25	99.25	0.245	0.702

^{abc}Medias con letras diferentes en cada fila difieren al $P < 0.05$.

El peso relativo de la canal, pechuga, pierna, grasa abdominal, hígado, corazón, molleja, timo, bolsa y bazo de los pollos de engorde, no fueron influenciados por los diferentes niveles de HLH. En cuanto al análisis por sexo, este no presentó cambios significativos ($P > 0.05$) para el peso relativo de los órganos por la inclusión de HLH en la dieta. La interacción de la dieta y el sexo no presentó diferencias significativas ($P > 0.05$) en el peso relativo de los órganos de los pollos de engorde (Cuadro 7).

Cuadro 7. Efecto de la inclusión de harina de Hermetia (HLH) sobre el peso relativo de las porciones comestibles (canal, pechuga, pierna) los órganos viscerales (hígado, corazón, molleja), inmunes (timo, bolsa de Fabricio, bazo) de los pollos de engorde.

Dietas	Porciones comestibles			Grasa abdominal	Órganos Viscerales			Órganos inmunes		
	Canal	Pechuga	Pierna		Hígado	Corazón	Molleja	Timo	Bolsa de Fabricio	Bazo
Control	70.64	33.50	9.95	1.20	2.07	0.47	1.42	0.24	0.17	0.10
10% HLH	71.38	34.17	10.67	1.21	1.81	0.46	1.55	0.24	0.16	0.10
15% HLH	70.77	32.58	10.67	1.33	1.78	0.48	1.39	0.27	0.15	0.09
20% HLH	70.90	33.69	10.41	1.40	1.99	0.50	1.37	0.23	0.17	0.09
EE±	0.394	0.387	0.238	0.149	0.054	0.39	0.070	0.048	0.041	0.133
Machos										
Control	69.99	33.87	10.42	1.02	1.96	0.47	1.36	0.24	0.18	0.10
10% HLH	70.93	33.62	10.81	1.22	1.75	0.47	1.60	0.30	0.15	0.08
15% HLH	71.55	32.45	11.04	1.28	1.78	0.48	1.50	0.28	0.15	0.09
20% HLH	70.61	33.78	10.62	1.52	1.81	0.49	1.41	0.21	0.15	0.09
EE±	1.016	1.120	0.380	0.115	0.061	0.018	0.072	0.03	0.01	0.008
Hembras										
Control	71.30	33.13	9.55	1.37	2.17	0.487	1.47	0.25	0.16	0.09
10% HLH	71.82	34.75	9.91	1.31	1.86	0.483	1.50	0.19	0.16	0.11
15% HLH	69.99	32.71	10.30	1.61	1.78	0.494	1.30	0.28	0.17	0.09
20% HLH	71.19	33.62	10.23	1.27	2.20	0.505	1.33	0.25	0.18	0.11
EE±	0.963	0.783	0.311	0.136	0.189	0.023	0.066	0.028	0.018	0.012
Sexo										
Machos	70.77	33.43	10.72	1.26	1.82	0.48	1.46	0.26	0.16	0.09
Hembras	71.07	33.55	9.98	1.39	2.00	0.49	1.40	0.24	0.17	0.10
EE±	0.486	0.477	0.173	0.066	0.071	0.010	0.036	0.015	0.007	0.005

Valor P

Dietas	0.886	0.468	0.266	0.117	0.693	0.315	0.547	0.713	0.647	0.200
Machos	0.745	0.790	0.694	0.092	0.775	0.109	0.257	0.201	0.357	0.356
Hembras	0.591	0.301	0.265	0.297	0.916	0.098	0.162	0.913	0.376	0.314
Sexo	0.561	0.870	0.003	0.189	0.069	0.352	0.207	0.528	0.366	0.146
Dietas x sexo	0.224	0.826	0.826	0.124	0.470	0.990	0.286	0.100	0.488	0.223

Los resultados de la concentración de inmunoglobulinas mostraron que las dietas con la inclusión de HLH como alimento alternativo, no modificaron la cuantificación de los anticuerpos (A, G y M) de los pollos de engorde. Con relación, al análisis por sexo, en los machos, no se presentaron diferencias significativas en la concentración de IgA y IgG; la IgM tuvo diferencias ($p=0.006$), la concentración disminuyó con la inclusión del 15% y 20% de HLH con valores de 166.55 y 161.41 mg/dl, respectivamente, a diferencia de la dieta control con 182.43 mg/dl y 10% de HLH 184.20 mg/dl. No se obtuvieron diferencias para la concentración de IgA, IgG y IgM para las hembras alimentadas con la inclusión de 10, 15 y 20% de HLH comparadas con la dieta control (Cuadro 8). No hubo efecto de la interacción dieta por sexo para la concentración de IgA, IgG y IgM en los pollos de engorde.

Cuadro 8. Efecto de la inclusión de harina de *Hermetia* (HLH) en las dietas sobre la concentración de inmunoglobulinas (Ig) A, G y M (mg/dl) en pollos de engorde.

Dietas	Inmunoglobulinas		
	IgA (mg/dl)	IgG (mg/dl)	IgM (mg/dl)
Control	77.13	99.99	182.35
10% HLH	77.58	100.34	167.19
15% HLH	72.58	96.91	157.65
20% HLH	74.02	101.46	159.25
EE±	1.008	0.695	1.921
Machos			
Control	76.58	99.26	182.43 ^a
10% HLH	80.46	100.89	184.20 ^a
15% HLH	66.69	94.62	166.55 ^b
20% HLH	74.42	99.53	161.41 ^b
EE±	1.559	1.007	1.484
Hembras			
Control	77.68	100.71	182.35
10% HLH	74.71	99.80	167.19
15% HLH	78.47	99.20	157.65
20% HLH	73.63	103.38	159.25
EE±	0.950	0.839	2.717
Sexo			
Machos	74.54	98.58	173.65
Hembras	76.12	100.77	165.79
EE±	0.717	0.506	1.36
<i>Valor P</i>			
Dietas	0.438	0.072	0.230
Machos	0.208	0.140	0.006
Hembras	0.165	0.155	0.230
Sexo	0.339	0.118	0.355
Dietas x sexo	0.032	0.408	0.351

^{ab}Medias con letras diferentes entre columnas difieren al $P<0.05$.

Los resultados de los análisis del pH y las poblaciones microbianas cecales muestran que hubo una reducción en Coliformes totales ($p=0.034$) y enterobacterias ($p=0.044$) (Cuadro 9). Los pollos de engorde alimentados con 20% de inclusión de HLH presentaron una menor población de coliformes (5.37 Log UFC/g) en comparación con la dieta del 10% (6.23 Log UFC/g) y 15% (6.02 Log UFC/g) de HLH y la dieta control (6.20 Log UFC/g). Un comportamiento similar se observó con la población de enterobacterias, los pollos alimentados con la inclusión de 20% de HLH presentaron la población más baja (5.44 Log UFC/g), seguida de la dieta con 15% de HLH (6.04 Log UFC/g), y los valores más altos se obtuvieron con la inclusión del 10% de HLH (6.30 Log UFC/g) y dieta control (6.22 Log UFC/g). Los niveles de inclusión 10, 15, y 20% de HLH no tuvieron efecto en el pH y la población de *E. coli*, hongos, levaduras y BAL de los pollos de engorde comparados con la dieta control.

El análisis de las poblaciones microbianas por sexo presentó diferencias en los machos para coliformes ($p=0.042$), *E. coli* ($p=0.017$) y enterobacterias ($p=0.049$). En la población de coliformes, la población más baja fue 5.17 Log UFC/g con 20% de inclusión de HLH, diferente a la inclusión del 10% y 15% de HLH y el control que fueron más altos 6.43, 6.11 y 6.45 Log UFC/g, respectivamente, estos resultados son similares a la dieta control con 6.45 Log UFC/g. Se presentó una reducción de *E. coli* en pollos alimentados con el 20% de HLH (5.17 Log UFC/g), en comparación con los pollos alimentados con las dietas con la inclusión del 10% (6.41 Log UFC/g) y 15% (6.11 Log UFC/g) de HLH, estas dos presentaron resultados similares a la dieta control (6.41 Log UFC/g). El conteo más bajo de enterobacterias fue 5.18 Log UFC/g que corresponde a los pollos alimentados con la inclusión del 20% de HLH, seguido 6.13 Log UFC/g de la dieta con 15% de HLH, los valores más altos son 6.43 Log UFC/g del 10% de HLH y 6.46 Log UFC/g de la dieta control. No se observaron diferencias en el pH, población de hongos, levaduras y BAL en los pollos de engorde con la inclusión de la HLH comparada con la dieta control.

Los diferentes niveles de inclusión de HLH (10, 15 y 20%) comparadas con la dieta control no indicaron diferencias en el pH y los niveles cecales (Log UFC/g) de coliformes, *E. coli*, enterobacterias, hongos y BAL) de los pollos de engorde hembras. De la misma forma, la interacción entre las dietas y el sexo no tuvo efecto sobre el pH y las poblaciones microbianas cecales de los pollos de engorde (Cuadro 9).

Cuadro 9. Efecto de la inclusión de harina de larva de *Hermetia* (HLH) en comparación con una dieta control sobre el pH y las poblaciones microbianas cecales de pollos de engorde.

	Microbiología cecal						
	Coliformes totales (Log UFC/g)	<i>E. coli</i> (Log UFC/g)	pH	Enterobacterias (Log UFC/g)	Hongos (Log UFC/g)	Levaduras (Log UFC/g)	BAL totales
Dietas							
Control	6.20 ^a	5.87	6.56	6.22 ^a	3.13	3.13	6.30
10% HLH	6.23 ^a	6.17	6.66	6.30 ^a	2.93	3.38	6.52
15% HLH	6.02 ^a	6.01	6.44	6.04 ^{ab}	2.68	3.70	6.11
20% HLH	5.37 ^b	5.36	6.79	5.44 ^b	2.91	2.78	6.46
EE±	0.295	0.299	0.193	0.296	0.257	0.354	0.414
Machos							
Control	6.45 ^a	6.41 ^a	6.50	6.46 ^a	3.16	3.47	6.44
10% HLH	6.43 ^a	6.41 ^a	6.63	6.43 ^a	2.94	3.01	7.39
15% HLH	6.11 ^a	6.11 ^a	6.34	6.13 ^{ab}	2.63	3.37	6.50
20% HLH	5.17 ^b	5.17 ^b	6.85	5.18 ^b	3.08	2.62	7.10
EE±	0.408	0.358	0.297	0.414	0.419	0.507	0.605
Hembras							
Control	5.96	5.52	6.62	5.97	3.10	2.80	6.16
10% HLH	6.03	5.94	6.69	6.17	2.93	3.74	5.66
15% HLH	5.93	5.90	6.54	5.96	2.74	4.04	5.71
20% HLH	5.58	5.56	6.72	5.70	2.74	2.95	5.82
EE±	0.434	0.460	0.261	0.434	0.317	0.493	0.471
Sexo							
Machos	6.04	5.98	6.58	6.05	2.95	3.12	6.85
Hembras	5.87	5.73	6.64	5.95	2.88	3.38	5.84
EE±	0.225	0.213	0.134	0.202	0.160	0.215	0.216
Valor P							
Dietas	0.034	0.084	0.077	0.044	0.315	0.221	0.897
Machos	0.042	0.017	0.186	0.049	0.640	0.549	0.673
Hembras	0.774	0.773	0.705	0.793	0.454	0.187	0.796
Sexo	0.497	0.372	0.474	0.683	0.718	0.453	0.635
Dietas x sexo	0.547	0.519	0.539	0.519	0.864	0.473	0.635

^{ab}Medias con letras diferentes entre columnas difieren a P<0.05

BAL= Bacterias acidolácticas

El análisis general del efecto de los diferentes niveles de inclusión de HLH (10, 15 y 20%) sobre las características del hueso de la tibia fue significativo para el contenido de cenizas ($p=0.045$), el mayor porcentaje de cenizas se encontraron en los pollos alimentados con 10 y 20% de inclusión de HLH con 43.17 y 41.38%, y la dieta control (38.47%), la menor concentración se obtuvo con la inclusión del 15% con 34.23% de cenizas. El porcentaje de Ca y P no tuvo diferencias con la inclusión de HLH comparado con la dieta control (Cuadro 10).

En relación con el análisis por sexo, los machos obtuvieron diferencias para el porcentaje de cenizas ($p=0.003$), P ($P=0.002$) Ca ($p=0.001$). En los pollos alimentados con la inclusión de 15% de HLH se redujo el porcentaje de ceniza de la tibia 27.79% comparado con las dietas del 10 y 20% de HLH, donde los valores fueron 41.20 y 43.95% respectivamente, los cuales son similares al porcentaje de cenizas obtenido con la dieta control 42.15%. El porcentaje más bajo de P se observó con los pollos alimentados con la dieta del 15% de HLH (3.77%), a diferencia de las dietas con la inclusión del 10 y 20% de inclusión de HLH y el control que presentaron valores más altos 6.12, 6.65 y 6.0% respectivamente. La menor concentración de calcio se obtuvo con la dieta del 15% de HLH (7.76%), seguida de la dieta con 10% (11.22 %) y 20% (11.95%), las cuales fueron similares a la dieta control (11.51%) (Cuadro 10).

En las hembras se observaron diferencias en el porcentaje de cenizas ($p=0.005$) y P ($p=0.016$) de las tibias. El valor más bajo de cenizas se tuvo con la dieta del 20% de HLH (38.82%), similar a la dieta control (34.78%), seguido de la dieta con 15% de HLH (40.67%), el porcentaje más alto de cenizas correspondió a la inclusión del 10% de HLH (45.14%). Con relación al porcentaje de P, el valor más bajo correspondió a las tibias de los pollos alimentados con la dieta de 20% de inclusión de HLH (5.74%), estadísticamente similar a los resultados de la dieta control (4.88%), los valores más altos se obtuvieron con la inclusión del 10% (6.44%) y 15% (6.43%) de HLH. No se observaron diferencias en el porcentaje calcio del hueso de la tibia (Cuadro 10). La interacción dieta por sexo fue significativa para el porcentaje de cenizas ($p=0.004$), P ($p=0.003$) y Ca ($p=0.009$) en la tibia de los pollos de engorde (Cuadro 10).

Cuadro 10. Efecto de la inclusión de diferentes porcentajes de harina de larva de *Hermetia* (HLH) (10, 15 y 20%) sobre las características de la tibia (contenido de cenizas, fósforo y calcio) de pollos de engorde.

	Minerales		
	Cenizas (%)	Fósforo (%)	Calcio (%)
Dietas			
Control	38.47 ^{ab}	5.54	10.62
10% HLH	43.17 ^a	6.28	11.56
15% HLH	34.23 ^b	5.10	10.18
20% HLH	41.38 ^a	6.20	11.23
EE±	0.942	0.405	0.548
Machos			
Control	42.15 ^a	6.20 ^a	11.51 ^a
10% HLH	41.20 ^a	6.12 ^a	11.22 ^a
15% HLH	27.79 ^b	3.77 ^b	7.76 ^b
20% HLH	43.95 ^a	6.65 ^a	11.95 ^a
EE±	2.170	0.370	0.550
Hembras			
Control	34.78 ^c	4.88 ^b	9.73
10% HLH	38.82 ^{bc}	5.74 ^{ab}	10.51
15% HLH	40.67 ^{ab}	6.43 ^a	12.61
20% HLH	45.14 ^a	6.44 ^a	11.89
EE±	1.280	0.230	0.47
Sexo			
Machos	38.77	5.68	10.61
Hembras	39.85	5.87	11.18
EE±	0.716	0.297	0.191
Valor P			
Dietas	0.045	0.154	0.565
Machos	0.003	0.001	0.002
Hembras	0.005	0.016	0.101
Sexo	0.412	0.439	0.277
Dietas x sexo	0.004	0.003	0.009

^{abc}Medias con letras diferentes entre columnas difieren a $P < 0.05$

Las variables de humedad, N y P de la cama no mostraron diferencias por efecto de las dietas con la inclusión de harina de larva de *Hermetia* (HLH) (Cuadro 11).

Cuadro 11. Efecto de la inclusión de harina de larva de *Hermetia* (HLH) en comparación con una dieta Control en los niveles de humedad, nitrógeno y fósforo de la cama.

Minerales	Tratamientos experimentales				EE±	Valor P
	Control	10%	15%	20%		
Humedad	20.58	22.76	20.83	20.90	1.01	0.524
Nitrógeno (N)	2.46	2.49	2.52	2.32	0.06	0.740
Fósforo (P)	0.63	0.64	0.60	0.63	0.02	0.923

Se evaluó la composición química de la pechuga (porcentaje de humedad, proteína y cenizas) y la luminosidad de la carne (L^*), índice de enrojecimiento (a^*) y grado de amarillo de la carne (b^*). En el análisis general no se presentaron diferencias en ningún indicador de la composición y la luminosidad de la pechuga de los pollos alimentados con diferentes niveles de inclusión de HLH, comparados con la dieta control (Cuadro 12).

En el análisis por sexo, los machos tuvieron diferencias en el índice de enrojecimiento (a^*) ($p=0.032$), en la cual el valor más alto se presentó con la inclusión de 15% de HLH (10.99), siendo similar a los resultados con la inclusión del 20% de HLH (9.19) y los valores más bajos se obtuvieron con la dieta del 10% de HLH (8.13) y el control (7.92). No se presentaron diferencias en el porcentaje de humedad, proteína, cenizas, la luminosidad (L^*) y el grado de amarillo o azul (b^*) en la pechuga de los pollos alimentados con los diferentes niveles de inclusión de HLH comparado con la dieta control (Cuadro 12).

La pechuga de las hembras presentó diferencias en la luminosidad (L^*) ($p=0.033$) y el índice de enrojecimiento (a^*) ($p=0.054$). El valor de luminosidad más alto se presentó con la inclusión del 10% de HLH en la dieta de los pollos de engorde con valor de 59.29, seguido de la inclusión del 15% con 57.48 y 20% con 57.41, el valor más bajo se obtuvo con la dieta control siendo 54.35. Con relación al grado de enrojecimiento (a^*), los valores más bajos fueron 8.41, 9.02 y 9.11 correspondientes al 10, 15 y 20% de inclusión de HLH en la dieta, comparado con la dieta control que obtuvo un valor de 10.80. No se presentaron diferencias en el porcentaje de humedad, proteína, cenizas y el grado de amarillo (b^*) en la pechuga de los pollos alimentados con los diferentes niveles de inclusión de HLH comparado con la dieta control (Cuadro 12).

Al comparar por sexo, las hembras presentaron mayor porcentaje de proteína siendo 27.22% y los machos 25.78% ($p=0.027$). En cuanto al porcentaje de humedad, cenizas, luminosidad (L^*), grado de rojo o verde (a^*) y grado de amarillo o azul (b^*) de la pechuga no se presentaron diferencias. Fue significativa la interacción dieta por sexo para el grado de rojo o verde de la pechuga (a^*) (Cuadro 12).

Cuadro 12. Efecto de la inclusión de harina de larva de *Hermetia* (HLH) en comparación con una dieta control sobre la composición química y color de la pechuga

Características de la pechuga						
	Humedad (%)	Proteína (%)	Cenizas (%)	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *
Dietas						
Control	79.44	26.67	1.41	56.49	9.36	20.22
10% HLH	76.81	26.45	1.16	59.40	8.27	20.59
15% HLH	77.64	26.74	1.32	56.16	10.01	21.04
20% HLH	76.29	25.83	1.13	57.53	9.15	19.51
EE±	2.130	0.410	0.05	0.49	0.27	0.22
Machos						
Control	82.20	26.66	1.22	58.64	7.92 ^b	19.90
10% HLH	72.67	26.70	1.27	59.50	8.13 ^b	20.64
15% HLH	74.27	26.00	1.29	54.85	10.99 ^a	20.68
20% HLH	75.61	23.78	1.17	57.65	9.19 ^{ab}	18.90
EE±	1.764	0.661	0.181	0.957	0.604	0.641
Hembras						
Control	76.97	26.67	1.06	54.35 ^b	10.80 ^a	20.54
10% HLH	80.94	26.19	1.03	59.29 ^a	8.41 ^b	20.53
15% HLH	81.00	27.47	1.34	57.48 ^{ab}	9.02 ^b	21.40
20% HLH	76.97	28.56	1.09	57.41 ^{ab}	9.11 ^b	20.12
EE±	2.051	0.783	0.354	0.733	0.547	0.565
Sexo						
Machos	76.19	25.78 ^b	1.24	57.66	9.06	20.03
Hembras	78.89	27.22 ^a	1.26	57.13	9.33	20.65
EE±	0.911	0.382	0.155	0.471	0.342	0.308
Valor P						
Dietas	0.956	0.877	0.265	0.128	0.181	0.124
Machos	0.631	0.079	0.434	0.259	0.032	0.320
Hembras	0.953	0.458	0.296	0.033	0.054	0.463
Sexo	0.767	0.027	0.269	0.523	0.250	0.264
Dietas x sexo	0.670	0.094	0.587	0.097	0.001	0.822

^{abc}Medias con letras diferentes entre columnas difieren a $P < 0.05$

*L**= Luminosidad de la carne

*a**= Índice de enrojecimiento

*b**=Grado de amarillo de la carne

DISCUSIÓN

La harina de larva de *Hermetia* se considera como una materia prima innovadora en la alimentación de aves de corral, con el propósito de mejorar la sostenibilidad y facilitar la transición de la economía circular en los sistemas de producción de pollos de engorde (Cohn et al., 2022). La composición química de la HLH puede variar de acuerdo con el sustrato en el que se cría la *Hermetia* (Tschirner y Simon, 2015). En este estudio la cría de la larva se realizó en residuos del comedor de la Universidad Zamorano. En el cuadro 5 se presenta la composición química, la materia seca de la HLH (96.19 g/100g), indicó un bajo contenido de agua (3.81 g/100g) y alto contenido de nutrientes, destacando el valor de proteína (40.19 g/100g), el cual se encuentra en el rango de proteína reportado en la literatura para la HLH que va de 27.5 g/100g (Tyshko et al., 2021) a 43.9 g/100g (Onsongo et al., 2018). El contenido de grasa fue alto (45.58 g/100g) comparado con otros autores donde se reportan valores de 29.4 g/100g (Tyshko et al., 2021), 30.1 g/100g (Shumo et al., 2019) hasta 51.5 g/100g (Tyshko et al., 2021) sin embargo, este valor es extremadamente variable de acuerdo con el sustrato empleado (Spranghers et al., 2017). El valor obtenido de fibra (9.39 g/100g) se encuentra en el rango reportado para la HLH que va de 7.41 a 9.96 g/100g (Zulkifli et al., 2022), este se relaciona con la cantidad de quitina, la cual es un polisacárido (carbohidrato complejo) que se encuentra en la estructura celular del exoesqueleto de los insectos (Moreno et al., 2021; Muthukrishnan et al., 2020; Sándor et al., 2022). Además, la HLH contiene una cantidad importante de macrominerales, como: calcio (0.7%), fósforo (0.5%), potasio (0.8%) y magnesio (0.1%), así como microminerales: tales como: hierro (52.7 mg/kg), cobre (5.3 mg/kg), manganeso (14.6 mg/kg) y zinc (59 mg/kg) (Cuadro 5). Esta composición mineral puede depender de varios factores, como la edad, la dieta y las condiciones ambientales (Al-Qazzaz y Ismail, 2016; Shah et al., 2022; Shumo et al., 2019; Spranghers et al., 2017).

La EM corresponde a la cantidad de energía disponible en un alimento que puede ser utilizada por el organismo para mantener sus funciones vitales (Barzegar et al., 2020). El valor de EM se obtiene restando la energía excretada (urinaria y fecal) de la energía bruta total consumida (Barzegar et al., 2020). Por lo tanto, la EM es una medida adecuada del valor nutritivo de los alimentos (Scott et al., 1998). En este estudio se encontró que la EM de la HLH fue de 5,420 kcal/kg (cuadro 5), lo cual es superior a lo encontrado en otros estudios donde el valor oscila entre 3,531 a 5,273 kcal/kg de materia seca (Matin et al., 2021b). Este valor de EM puede deberse al alto contenido de grasa cruda y menor contenido de fibra y minerales observado en la muestra de HLH. De acuerdo con Marco et al. (2015), la variación en la EM de la HLH se debe al porcentaje de grasa de la harina, los valores más altos de EM se presentaron en la HLH engrasada. Elwert et al. (2010), calculó el contenido de EM en HLH desgrasada y altamente desgrasada reportando valores de 3,033 y 2,937 kcal/kg respectivamente. Por lo tanto, estos resultados reflejan que la grasa es una fuente importante de energía, altamente digerible en la dieta de las aves (Damron et al., 2001) Por lo

tanto, la HLH sin desgrasar se convierte en una materia prima de interés, ya que contiene más del doble de EM comparada con materias primas de uso convencional en la formulación de dietas para pollos de engorde, como lo son la harina de soya (2477 kcal/kg) y harina de pescado (3289 kcal/kg) (National Research Council [NRC], 1994).

De acuerdo con Mutisya et al. (2021), los resultados productivos de la alimentación con HLH varían de acuerdo con la edad del pollo de engorde y los indicadores productivos pueden mejorar en la fase de finalización, considerando la maduración del tracto gastrointestinal. Dentro de los indicadores productivos se encuentra el peso vivo (g), el consumo de alimento (g/ave) y la índice conversión alimenticia (kg/kg). El consumo de alimento hace referencia a la diferencia entre el consumo real de alimento de los animales y el consumo deseado para el mantenimiento y la producción, un valor eficiente de este indicador se obtiene cuando se logra producir más con la misma cantidad de alimento o las mismas cantidades de productos con menos alimento, lo cual se ha logrado con formulación de precisión (Huang et al., 2022). El ICA (kg/kg), es el indicador de eficiencia alimenticia y se calcula como el cambio en el consumo de alimento dividido por el cambio en el peso corporal, entre más bajo es este valor la eficiencia es mayor, en la actualidad este valor puede llegar a 1.5 o menos, con los procesos de selección genética y la nutrición eficiente de los animales (Siegel, 2014).

En la primera etapa (0 a 8 días) los diferentes niveles de inclusión 10, 15 y 20% de HLH no afectaron los indicadores productivos: peso vivo (g), consumo de alimento (g/ave), índice de conversión alimenticia (kg/kg) y viabilidad (%) de los pollos de engorde (Cuadro 6), lo cual es similar a lo reportado por otros autores, quienes afirman que niveles de inclusión inferiores al 30% de HLH, no generan ningún efecto adverso en estos indicadores productivos (Onsongo et al., 2018; Schiavone et al., 2019), lo que puede ser debido al alto porcentaje de proteína, grasa y EM que tiene la HLH, además de la quitina y los ácidos grasos que pueden tener propiedades prebióticas y antimicrobianas (Dörper et al., 2021).

La inclusión de HLH no tuvo efecto negativo en el peso vivo (g) de las aves, esto se atribuye al contenido de proteína de la HLH, la cual puede sustituir parcialmente las fuentes proteicas convencionales como las harinas de soya y pescado en las dietas para pollos de engorde (Onsongo et al., 2018). Además, la grasa de la HLH no tiene efectos adversos en la nutrición de pollos de engorde y pavos debido al perfil de ácidos grasos, donde los ácidos grasos saturados más comunes son el ácido láurico, palmítico y esteárico, mientras que los ácidos grasos insaturados son el ácido oleico y el ácido linoleico, lo que se encuentra también en pequeñas cantidades de ácidos grasos poliinsaturados, como el ácido linolénico y el ácido araquidónico (Rawski et al., 2020; Spranghers et al., 2017). Así también, la HLH posee una fuente importante de EM (Spranghers et al., 2017).

En la segunda etapa (9 a 18 días), el consumo de alimento disminuyó con la inclusión de HLH, en la tercera (19-31 días) el consumo disminuyó sólo con la inclusión del 15% de HLH (Cuadro 6), cambios en la ingesta de alimento, están relacionados con las necesidades energéticas y cuando aumenta la concentración energética de la dieta disminuye el consumo de alimento (Leeson et al., 2001). Sin embargo, esta disminución en el consumo no afectó el peso de los pollos, lo que indica

un impacto positivo en el rendimiento del crecimiento para lograr un peso corporal similar al de las aves alimentadas con la dieta control. Lo anterior se confirma con la disminución en el índice de conversión alimenticia (kg/kg), que refleja la eficiencia en la digestibilidad de los nutrientes. Estos resultados son similares a los obtenidos por otros investigadores, que emplearon niveles inferiores al 30% de inclusión de HLH, sin cambios significativos en el peso vivo con mejora en el consumo y la conversión alimenticia (Dabbou et al., 2018; Onsongo et al., 2018; Schiavone et al., 2019).

Cabe resaltar que la disminución en el consumo de alimento también pudo estar asociado a un alto contenido de fibra cruda lo que reduce la digestibilidad de los nutrientes y afecta la función de algunos órganos como la molleja, la cual puede aumentar de tamaño a medida que aumenta la fibra en la dieta lo que repercute en el tiempo de tránsito del alimento y reduce la digestibilidad de los nutrientes (Kiarie y Mills, 2019; Krás et al., 2013). Sin embargo, en esta investigación, el contenido de fibra de la HLH es bajo, no se observa una reducción en la absorción de los nutrientes, comprobado en el peso vivo de los animales, y en el peso relativo de los órganos, donde la molleja no presentó diferencias comparada con el peso de los órganos obtenidos con la dieta control.

En cuanto al peso relativo de los órganos, estos no fueron influenciados por los diferentes niveles de inclusión de HLH (10, 15 y 20%) (Cuadro 7). Otros autores han reportado cambios en el peso de los órganos como la molleja y el hígado, al utilizar niveles de inclusión de HLH superiores al 50%. La molleja o estomago muscular que tiene como función la acción mecánica de mezclado y molido del alimento (Arroyo et al., 2012; Svihus et al., 2017), puede sufrir un aumento en el peso por el alto contenido de fibra (mayor concentración de quitina) (Lokman et al., 2019; Pietras et al., 2021). Así mismo, se puede presentar el aumento en el peso y tamaño del hígado, debido al alto contenido de quitina que tiene una correlación negativa con la digestibilidad de la proteína (Marono et al., 2015), lo que genera una reducción en la absorción y digestión de nutrientes incluyendo los aminoácidos, esto afecta al hígado, debido a que es el órgano encargado del catabolismo de aminoácidos no disponibles, por lo que incrementa su actividad metabólica (Facey et al., 2023; He et al., 2021).

Las proteínas de inmunoglobulina como la inmunoglobulina A (IgA), la inmunoglobulina M (IgM) y la inmunoglobulina G (IgG/IgY) se encuentran en el borde del cepillo de los enterocitos y se encargan de realizar la exclusión inmunitaria y la eliminación de antígenos (Sovran et al., 2016). En este caso, los diferentes niveles de inclusión de HLH no afectaron el sistema inmunológico de los pollos de engorde (Cuadro 8). Resultados similares a los expuestos por Schiavone et al. (2018), quienes encontraron que hasta el 100% de inclusión del HLH no produce ningún efecto negativo en el rendimiento inmunitario bioquímico de los pollos de engorde. Lo cual, es destacable puesto que la inmunosupresión representa la primera causa de pérdidas económicas en la industria avícola (Zheng et al., 2022). En el análisis por sexo, los machos presentaron diferencias ($p=0.006$) en la concentración sérica de IgM, los niveles (mg/dl) más bajos se obtuvieron con la dieta del 15 y 20% de inclusión de HLH comparada con la dieta control. Sin embargo, todos los valores se encontraron dentro de los rangos normales los cuales son 120-250 mg/dl para IgM y 300-700 mg/dl para IgG (Núñez et al., 2018).

Con respecto a la microbiología cecal, esta se refiere al estudio de los microorganismos presentes en el tracto intestinal de los animales (Adenaike et al., 2022). Algunos estudios han demostrado que la inclusión HLH en la dieta de pollos puede tener efectos positivos en la microbiota intestinal, lo que aumenta la diversidad bacteriana y reduce la presencia de bacterias patógenas (Fruci et al., 2023). En esta investigación, se observa una tendencia, debido a que a medida que incrementa el porcentaje de inclusión de HLH, disminuyen las UFC/g de coliformes, *E. coli* y enterobacterias (Cuadro 9). Con el 10, 15 y 20% de inclusión de HLH la población de coliformes baja 6.23, 6.02 y 5.37 UFC/g; *E. coli* disminuye 6.17, 6.01 y 5.36 UFC/g. Similar a las enterobacterias, con 6.30, 6.04 y 5.44 UFC/g respectivamente. Esta tendencia se presentó tanto en machos como en hembras, lo cual demuestra el trabajo como inmunomodulador de la HLH con un efecto positivo en la microbiota entérica de los pollos, al reducir la presencia de bacterias patógenas (Brown et al., 2017).

En la actualidad, no es claro el mecanismo de acción antimicrobiano que produce la inclusión de HLH en la dieta de pollos de engorde, sin embargo, se plantea que su actividad puede ser similar a la de los agentes promotores del crecimiento, a través de la acción modular de la microbiota entérica (centrados en bacterias) y como inmunomoduladores (Brown et al., 2017). De acuerdo con Benhabiles et al. (2012), las propiedades antimicrobianas de la HLH, se deben al contenido de quitina, quitosano y ácido láurico presentes en las larvas de *Hermetia*, los cuales inhiben el crecimiento de bacterias Gram-negativas, como la *E. coli* y bacterias potencialmente patógenas como *Enterobacteriaceae* spp. (Sypniewski et al., 2020). En particular, el ácido láurico es un agente antimicrobiano natural que actúa rompiendo las membranas celulares para el control de los patógenos (Kim y Rhee, 2016). Así mismo, las larvas presentan péptidos antimicrobianos que son secretados en la hemolinfa, con la capacidad de inhibir el crecimiento de bacterias Gram-positivas (Park et al., 2014).

El análisis de la concentración de minerales se realizó a través de la evaluación del porcentaje de cenizas, calcio y fósforo de las tibias (Cuadro 10), debido a que los huesos son una reserva de la mayoría de los minerales traza en los pollos de engorde (Kim et al., 2006). La proporción de Ca y P disponible en el alimento influye en el porcentaje de cenizas de la tibia (Nguyen et al., 2021)

Los diferentes niveles de inclusión de HLH tuvieron un efecto similar en las características del hueso de la tibia de los pollos alimentados con la dieta control (Cuadro 10), por lo tanto, pueden ser incorporadas en las dietas de los pollos de engorde sin afectar negativamente el desarrollo óseo. Tanto en los machos como en las hembras, el mayor porcentaje de P se presentó con el 20% de inclusión de HLH, lo que pudo ser debido a que los insectos presentan en su exoesqueleto altas concentraciones de minerales como Ca y P (Belluco et al., 2013).

Además, el P de la HLH es más biodisponible por la ausencia del fitato, el cual es un ácido orgánico que contiene el fósforo en los vegetales, lo que hace que la mayoría de P de la harina de maíz y soya utilizadas en las formulación de las dietas sea de baja disponibilidad para su utilización por los pollos de engorde (Liebert et al., 2005). La disponibilidad del P de la HLH con base a la

digestibilidad se encuentra entre el 73% y el 88% (Matin et al., 2021a). Por lo tanto, la HLH es una fuente importante de P disponible en la dieta de los pollos de engorde.

Por otra parte, los animales no metabolizan gran parte del nitrógeno ingerido, por lo que este se convierte en la principal fuente de producción de amoníaco en los sistemas productivos de pollos de engorde. En general, muchos factores influyen en la concentración de amoníaco dentro de las producciones avícolas, como la densidad de alojamiento, la nutrición, el manejo de desechos, la ventilación, la temperatura y la humedad relativa del aire. De acuerdo con Rentería Flores et al. (2021), la cantidad de amoníaco puede ser reducida al mejorar la eficiencia alimenticia y utilizar los criterios de formulación de precisión que pueden llegar a disminuir la excreción de N, que es el contaminante principal en las excretas de las aves. Para evaluar el contenido de humedad, N y P del ciclo productivo se analizó la cama, porque esta es un componente esencial en la producción avícola, ya que las aves habitan en este material durante la mayor parte de su ciclo productivo y es así como en la hojarasca se localizan las heces de las aves (Ospina Barrero et al., 2021). En el cuadro 11 no se observaron diferencias en el porcentaje de humedad, N y P de la cama con las dietas experimentales.

Con respecto a la calidad de la pechuga (Cuadro 12), el color es uno de los principales aspectos que influye en el consumidor para la aceptación de los alimentos (Qiao et al., 2001). En este caso, el color de la carne está correlacionado con la cantidad de mioglobina, hemoglobina y citocromo. De estos tres compuestos, la mioglobina es la que más contribuye al color de la carne (Zhang et al., 2021). Y esta puede variar en función del pH, la edad, crianza y dieta (Fletcher, 2002; Zhang et al., 2021).

En relación con los resultados del efecto de los diferentes niveles de inclusión de HLH en la dieta de pollos de engorde sobre la calidad y el color de la pechuga, estos son debatidos y escasos. En este caso, en el análisis general no se presentaron diferencias en el color por la inclusión de HLH en las dietas comparada con el control. Resultados similares a los expuestos por otros autores, donde no se presentan diferencias en el color de la pechuga de los pollos de engorde alimentados con HLH, con niveles de inclusión hasta del 50% (Altmann et al., 2018; Moula et al., 2018; Schiavone et al., 2019). Los resultados reflejan que existe una interacción de la dieta y el sexo para el color de la pechuga, sin embargo, esto difiere a lo expuesto por Wideman et al. (2016), donde el color de la pechuga es independiente del sexo del ave .

Con relación al análisis por sexo, la inclusión de 15 y 20% de HLH aumentó el índice de enrojecimiento (a^*) de la pechuga en los pollos machos, quizás debido a la acumulación de pigmentos de harina de insectos en la grasa intramuscular (Schiavone et al., 2019). Así mismo, en las hembras se presentaron cambios en el índice de enrojecimiento (a^*) acompañado de variaciones en la luminosidad (L^*), existe una relación inversa entre la luminosidad (L^*) y el enrojecimiento (a^*), es decir, un valor de luminosidad (L^*) mayor significa menos color rojo (a^*) en la pechuga, presentándose palidez de la carne (Van Laack et al., 2000), en este sentido, la dieta con 10% de inclusión de HLH fue la más pálida comparada con los demás niveles de inclusión (15 y 20%). A diferencia de los machos, en las hembras el índice de enrojecimiento (a^*) de la pechuga

fue mayor con la dieta control, quizás debido a la composición de la ración, la cual tenía un mayor porcentaje de maíz. Smith et al. (2021) encontraron que cuando las aves son alimentadas con una dieta basada en maíz, aumenta el enrojecimiento (a^*) de la pechuga, probablemente como resultado de los pigmentos presentes en el maíz que generan mayor incorporación de mioglobina y pigmentos rojos en la pechuga.

CONCLUSIÓN

La HLH tiene una alta concentración de proteína, grasa, EM y minerales, por lo cual se considera una materia prima alternativa de alto valor biológico en la formulación de alimentos para pollos. La inclusión de hasta 20% de la HLH sustituyendo parcialmente la harina de soya, fosfato di-calcico, aminoácidos sintéticos y el corrector energético no modificó el desempeño productivo de pollos de engorde

La inclusión de tres niveles de HLH no cambió las características de la canal, pesos relativos de los órganos viscerales y concentración de inmunoglobulinas, sin embargo, se modificó la colorimetría de la pechuga de pollos de engorde.

La inclusión de HLH tiene un efecto antimicrobiano, con reducción de la población de las enterobacterias cecales en pollos de engorde.

La HLH se constituye como una alternativa viable para la sustitución parcial de materias primas convencionales en las dietas avícolas, lo que podrá repercutir y contribuir con una producción avícola más sostenible, favoreciendo la economía circular. Para beneficiar a los pequeños, medianos productores de pollos de engorde y a futuro a las grandes empresas avícolas.

REFERENCIAS

- Adenaike, A. S., Akpan, U., Awopejo, O. O., Oloye, O. S., Alli-Balogun, A. O., Agbaje, M. y Ikeobi, C. O. N. (2022). Characterization of the cecal microbiome composition of Nigerian indigenous chickens. *Tropical Animal Health and Production*, 54(4), 211. <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03191-x>
- Alqaisi, O., Ndambi, O. A. y Williams, R. B. (2017). Time series livestock diet optimization: cost-effective broiler feed substitution using the commodity price spread approach. *Agricultural and Food Economics*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40100-017-0094-9>
- Al-Qazzaz, M. F. y Ismail, D. B. (2016). Insect meal as a source of protein in animal diet. *Animal Nutrition and Feed Technology*, 16(3), 527. <https://doi.org/10.5958/0974-181X.2016.00038.X>
- Altmann, B. A., Neumann, C., Velten, S., Liebert, F [Frank] y Mörlein, D. (2018). Meat Quality Derived from High Inclusion of a Micro-Alga or Insect Meal as an Alternative Protein Source in Poultry Diets: A Pilot Study. *Foods (Basel, Switzerland)*, 7(3). <https://doi.org/10.3390/foods7030034>
- Ardón, G. A. (2016). Empresas líderes en la industria avícola hondureña. Tegucigalpa, Honduras. *Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC)*, 191–199. <https://doi.org/10.2307/j.ctt46nrzt.12>
- Arroyo, J., Auvergne, A., Dubois, J. P., Lavigne, F., Bijja, M. y Fortun-Lamothe, L. (2012). Influence of feeding sorghum on the growth, gizzard development and carcass traits of growing geese. *Animal : An International Journal of Animal Bioscience*, 6(10), 1583–1589. <https://doi.org/10.1017/S1751731112000432>
- Avendaño, C., Sánchez, M. y Valenzuela, C. (2020). Insectos: son realmente una alternativa para la alimentación de animales y humanos. *Revista Chilena De Nutrición*, 47(6), 1029–1037. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182020000601029>
- Ayamamani, R. y Roger, B. (2020). *Correlación de índices productivos con suplementación de harina de larva de mosca Hermetia illucens a tres niveles versus fuente proteica estándar en alimentación de pollos ross, arequipa 2019* [Maestro en Producción y Salud Animal, Escuela de Postgrado, Perú]. RIS. <https://core.ac.uk/download/pdf/287059619.pdf>
- Babatunde, O. O., Park, C. S. y Adeola, O. (2021). Nutritional Potentials of Atypical Feed Ingredients for Broiler Chickens and Pigs. *Animals : An Open Access Journal from MDPI*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/ani11051196>
- Banco Central de Honduras. (2021). *Honduras en Cifras 2018-2020*. Banco Central de Honduras (BCH).

- Bangar Raju, T., Bavise, A., Chauhan, P. y Ramalingeswar Rao, B. V. (2020). Analysing volatility spillovers between grain and freight markets. *Pomorstvo*, 34(2), 428–437. <https://doi.org/10.31217/p.34.2.23>
- Barragan-Fonseca, K. B., Dicke, M. y van Loon, J. (2017). Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed – a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(2), 105–120. <https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0055>
- Barzegar, S., Wu, S.-B., Choct, M. y Swick, R. A. (2020). Factors affecting energy metabolism and evaluating net energy of poultry feed. *Poultry Science*, 99(1), 487–498. <https://doi.org/10.3382/ps/pez554>
- Belluco, S., Losasso, C., Maggioletti, M., Alonzi, C. C., Paoletti, M. G. y Ricci, A. (2013). Edible Insects in a Food Safety and Nutritional Perspective: A Critical Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(3), 296–313. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12014>
- Benhabiles, M. S., Salah, R., Lounici, H., Drouiche, N., Goosen, M. y Mameri, N. (2012). Antibacterial activity of chitin, chitosan and its oligomers prepared from shrimp shell waste. *Food Hydrocolloids*, 29(1), 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.02.013>
- Brown, K., Uwiera, R. R. E., Kalmokoff, M. L., Brooks, S. P. J. y Inglis, G. D. (2017). Antimicrobial growth promoter use in livestock: A requirement to understand their modes of action to develop effective alternatives. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 49(1), 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2016.08.006>
- Cárdenas-Gúzmán, G. (2018). *Economía circular: Del objeto desechable a la producción sustentable*. UNAM. <http://www.comoves.unam.mx/numeros/indice/230>
- Chia. (2019). *Black soldier fly larvae as a sustainable animal feed ingredient in Kenya*. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/502357>
- Cohn, Z., Latty, T. y Abbas, A. (2022). Understanding dietary carbohydrates in black soldier fly larvae treatment of organic waste in the circular economy. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 137, 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.10.013>
- Craig Sheppard, D., Larry Newton, G., Thompson, S. A. y Savage, S. (1994). A value added manure management system using the black soldier fly. *Bioresource Technology*, 50(3), 275–279. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(94\)90102-3](https://doi.org/10.1016/0960-8524(94)90102-3)
- Dabbou, S., Gai, F., Biasato, I., Capucchio, M., Biasibetti, E., Dezzutto, D., Meneguz, M., Plachà, I., Gasco, L. y Schiavone, A. (2018). Black soldier fly defatted meal as a dietary protein source for broiler chickens: Effects on growth performance, blood traits, gut morphology and histological features. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 9, 49. <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0266-9>

- Damron, B., Sloan, D. y Garcia, J. (2001). *Nutrición Para Pequeñas Parvadas de Pollos*. <https://ufdcimages.uflib.ufl.edu/IR/00/00/16/15/00001/AN09500.pdf>
- Dörper, A., Veldkamp, T. y Dicke, M. (2021). Use of black soldier fly and house fly in feed to promote sustainable poultry production. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(5), 761–780. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0064>
- Dossey, A. y Méndez-Gutiérrez, I. (2014). Los insectos como una fuente de proteína limpia y sustentable para el futuro. *Entomología Mexicana*, 1(1), Artículo 189, 1039–1044. <http://www.entomologia.socmexent.org/revista/2014/FBTM/189.pdf>
- Elwert, C., Knips, I. y Katz, P. (2010). A novel protein source: maggot meal of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) in broiler feed. *Tagung Schweine-Und Geflügelernährung*(11), 140–142. <http://www.feedtest.de/publikationen/2010%20sge%20hermetia%20meal.pdf>
- Facey, H., Kithama, M., Mohammadigheisar, M., Huber, L.-A., Shoveller, A. K. y Kiarie, E. G. (2023). Complete replacement of soybean meal with black soldier fly larvae meal in feeding program for broiler chickens from placement through to 49 days of age reduced growth performance and altered organs morphology. *Poultry Science*, 102(1), 102293. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102293>
- FAOSTAT. (2017). *Daily caloric supply derived from carbohydrates, protein and fat, Honduras, 1961 to 2013*. UN Food and Agriculture Organization. Food Balance Sheet. <https://ourworldindata.org/grapher/daily-caloric-supply-derived-from-carbohydrates-protein-and-fat?stackMode=relative&country=~HND>
- Feng, Y., Chen, X.-M., Zhao, M., He, Z., Sun, L., Wang, C.-Y. y Ding, W.-F. (2018). Edible insects in China: Utilization and prospects. *Insect Science*, 25(2), 184–198. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12449>
- Fletcher, D. L. (2002). Poultry meat quality. *World's Poultry Science Journal*, 58(2), 131–145. <https://doi.org/10.1079/WPS20020013>
- Fruci, M., Kithama, M., Kiarie, E. G., Shao, S., Liu, H., Topp, E. y Diarra, M. S. (2023). Effects of partial or complete replacement of soybean meal with commercial black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) meal on growth performance, cecal short chain fatty acids, and excreta metabolome of broiler chickens. *Poultry Science*, 102(4), 102463. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102463>
- Gahukar, R. T. (2011). Entomophagy and human food security. *International Journal of Tropical Insect Science*, 31(03), 129–144. <https://doi.org/10.1017/s1742758411000257>
- Global Market Insights. (2020). *Perspectivas del mercado global: tamaño del mercado de insectos comestibles por producto (escarabajos, orugas, saltamontes, abejas, avispas, hormigas, insectos escamosos y chinches de los árboles), por aplicación (harina, barras de proteína, refrigerios), informe de análisis de la industria, perspectiva regional, potencial de*

aplicación tendencias de precios, cuota de mercado competitiva y pronóstico, 2020–2026.
<https://www.gminsights.com/industry-reports/food-nutrition-and-animal-feed>

- Harterting, K., Fröschl, K., Ebbing, M. A., Bruscek-Pfleger, B., Schedle, K., Schwarz, C. y Gierus, M. (2022). Suitability of *Hermetia illucens* larvae meal and fat in broiler diets: Effects on animal performance, apparent ileal digestibility, gut histology, and microbial metabolites. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 13(1), 50. <https://doi.org/10.1186/s40104-022-00701-7>
- He, W., Li, P. y Wu, G. (2021). Amino Acid Nutrition and Metabolism in Chickens. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 1285, 109–131. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54462-1_7
- Heuel, M., Sandrock, C., Leiber, F., Mathys, A., Gold, M., Zurbrügg, C., Gangnat, I. D. M., Kreuzer, M. y 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. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101034>
- Huang, Q., Wen, C., Yan, W [W.], Sun, C., Gu, S., Zheng, J. y Yang, N. (2022). Comparative analysis of the characteristics of digestive organs in broiler chickens with different feed efficiencies. *Poultry Science*, 101(12), 102184. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102184>
- Kaya, C., Generalovic, T. N., Ståhls, G., Hauser, M., Samayoa, A. C., Nunes-Silva, C. G., Roxburgh, H., Wohlfahrt, J., Ewusie, E. A., Kenis, M., Hanboonsong, Y., Orozco, J., Carrejo, N., Nakamura, S., Gasco, L., Rojo, S., Tanga, C. M., Meier, R., Rhode, C., . . . Sandrock, C. (2021). Global population genetic structure and demographic trajectories of the black soldier fly, *Hermetia illucens*. *BMC Biology*, 19(1), 94. <https://doi.org/10.1186/s12915-021-01029-w>
- Kiarie, E. G. y Mills, A. (2019). Role of Feed Processing on Gut Health and Function in Pigs and Poultry: Conundrum of Optimal Particle Size and Hydrothermal Regimens. *Frontiers in Veterinary Science*, 6, 19. <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00019>
- Kim, Donalson, L. M., Mitchell, A. D., Kubena, L. F., Nisbet, D. J. y Ricke, S. C. (2006). Effects of alfalfa and fructooligosaccharide on molting parameters and bone qualities using dual energy X-ray absorptiometry and conventional bone assays. *Poultry Science*, 85(1), 15–20. <https://doi.org/10.1093/ps/85.1.15>
- Kim, S. A. y Rhee, M. S. (2016). Highly enhanced bactericidal effects of medium chain fatty acids (caprylic, capric, and lauric acid) combined with edible plant essential oils (carvacrol, eugenol, β -resorcylic acid, trans -cinnamaldehyde, thymol, and vanillin) against *Escherichia coli* O157:H7. *Food Control*, 60, 447–454. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.022>

- Krás, R. V., Kessler, A. d. M., Ribeiro, A. M., Henn, J. D., Bockor, L. y af Sbrissia (2013). Effect of dietary fiber, genetic strain and age on the digestive metabolism of broiler chickens. *Revista Brasileira De Ciência Avícola*, 15(2), 83–90. <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2013000200003>
- Lee, J., Kim, Y.-M., Park, Y.-K., Yang, Y.-C., Jung, B.-G. y Lee, B.-J. (2018). Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae enhances immune activities and increases survivability of broiler chicks against experimental infection of Salmonella Gallinarum. *The Journal of Veterinary Medical Science*, 80(5), 736–740. <https://doi.org/10.1292/jvms.17-0236>
- Leeson, S., Summers, J. D. y Scott, M. L. (2001). *Nutrition of the chicken* (4^a ed.). University Books.
- Leinonen, I. y Kyriazakis, I. (2016). How can we improve the environmental sustainability of poultry production? *The Proceedings of the Nutrition Society*, 75(3), 265–273. <https://doi.org/10.1017/S0029665116000094>
- Liceaga, A. M. (2021). Processing insects for use in the food and feed industry. *Current Opinion in Insect Science*, 48, 32–36. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.08.002>
- Liebert, F [F.], Htoo, J. K. y Sünder, A. (2005). Performance and nutrient utilization of laying hens fed low-phosphorus corn-soybean and wheat-soybean diets supplemented with microbial phytase. *Poultry Science*, 84(10), 1576–1583. <https://doi.org/10.1093/ps/84.10.1576>
- Lokman, I. H., Ibitoye, E. B., Hezmee, M. N. M., Goh, Y. M., Zuki, A. B. Z. y Jimoh, A. A. (2019). Effects of chitin and chitosan from cricket and shrimp on growth and carcass performance of broiler chickens. *Tropical Animal Health and Production*, 51(8), 2219–2225. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01936-9>
- Luna, G. C., Martin-Gonzalez, F. S., Mauer, L. J. y Liceaga, A. M. (2021). Cricket (*Acheta domesticus*) protein hydrolysates' impact on the physicochemical, structural and sensory properties of tortillas and tortilla chips. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(1), 109–120. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0010>
- Malomo, G. A., Madugu, A. S. y Bolu, S. A. (2018). Sustainable Animal Manure Management Strategies and Practices. Publicación en línea avanzada. <https://doi.org/10.5772/intechopen.78645>
- Marco, M. de, Martínez, S., Hernandez, F., Madrid, J., Gai, F., Rotolo, L., Belforti, M., Bergero, D., Katz, H., Dabbou, S., Kovitvadhi, A., Zoccarato, I., Gasco, L. y 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. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.08.006>
- Marono, S., Piccolo, G., Loponte, R., Di Meo, C., Attia, Y. A., Nizza, A. y Bovera, F. (2015). In Vitro Crude Protein Digestibility of *Tenebrio Molitor* and *Hermetia Illucens* Insect Meals and its

- Correlation with Chemical Composition Traits. *Italian Journal of Animal Science*, 14(3), 3889. <https://doi.org/10.4081/ijas.2015.3889>
- Matin, N., Utterback, P. L. y Parsons, C. M. (2021a). Phosphorus digestibility and relative phosphorus bioavailability in two dried black soldier fly larvae meals and a defatted black soldier fly larvae meal in broiler chickens. *Poultry Science*, 100(8), 101221. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101221>
- Matin, N., Utterback, P. y Parsons, C. M. (2021b). True metabolizable energy and amino acid digestibility in black soldier fly larvae meals, cricket meal, and mealworms using a precision-fed rooster assay. *Poultry Science*, 100(7), 101146. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101146>
- Moreno, F. L. V., Ton, A. P. S., Rosa, C. M. G. y Freitas, L. W. de (2021). Uso de insectos como alternativa en la nutrición avícola: revisión. *Research, Society and Development*, 10(3), e25810313274. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13274>
- Moula, N., Scippo, M.-L., Douny, C., Degand, G., Dawans, E., Cabaraux, J.-F., Hornick, J.-L., Medigo, R. C., Leroy, P., Francis, F. y Detilleux, J. (2018). Performances of local poultry breed fed black soldier fly larvae reared on horse manure. *Animal Nutrition (Zhongguo Xu Mu Shou Yi Xue Hui)*, 4(1), 73–78. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.10.002>
- Mountney, G. J. y Parkhurst, C. R. (2017). *Poultry Products Technology*. Routledge. <https://doi.org/10.1201/9780203742747>
- Muthukrishnan, S., Mun, S., Noh, M. Y., Geisbrecht, E. R. y Arakane, Y. (2020). Insect Cuticular Chitin Contributes to Form and Function. *Current Pharmaceutical Design*, 26(29), 3530–3545. <https://doi.org/10.2174/1381612826666200523175409>
- Mutisya, M. M., Agbodzavu, M. K., Kinyuru, J. N., Tanga, C. M., Gicheha, M., Hailu, G., Salifu, D., Khan, Z. y Niassy, S. (2021). Can black soldier fly *Desmodium intortum* larvae-based diets enhance the performance of Cobb500 broiler chickens and smallholder farmers' profit in Kenya? *Poultry Science*, 100(2), 420–430. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.11.021>
- National Research Council. (1994). *Nutrient Requirements of Poultry* (9^a ed.).
- Nguyen, Morgan, N., Roberts, J. R., Wu, S.-B., Swick, R. A. y Toghyani, M. (2021). Zinc hydroxychloride supplementation improves tibia bone development and intestinal health of broiler chickens. *Poultry Science*, 100(8), 101254. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101254>
- Nguyen, T., Tomberlin, J. y Vanlaerhoven, S. (2015). Ability of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae to Recycle Food Waste. *Environmental Entomology*, 44(2), 406–410. <https://doi.org/10.1093/ee/nvv002>

- Nhamo, L., Mathcaya, G., Mabhaudhi, T., Nhlengethwa, S., Nhemachena, C. y Mpandeli, S. (2019). Cereal Production Trends under Climate Change: Impacts and Adaptation Strategies in Southern Africa. *Agriculture*, 9(2), 30. <https://doi.org/10.3390/agriculture9020030>
- Nkukwana, T. T. (2018). Global poultry production: Current impact and future outlook on the South African poultry industry. *South African Journal of Animal Science*, 48(5), 869. <https://doi.org/10.4314/sajas.v48i5.7>
- Núñez, O., Guerrero, J., Cruz, S., Velástegui, G. y Guerrero, A. (2018). Behavior of propolis tincture on immunoglobulins in broiler chickens. *Selva Andina Animal Science*, 5(1), 33–43. http://www.scielo.org.bo/pdf/jsaas/v5n1/v5n1_a05.pdf
- Onsongo, V. O., Osuga, I. M., Gachuri, C. K., Wachira, A. M., Miano, D. M., Tanga, C. M., Ekesi, S., Nakimbugwe, D. y Fiaboe, K. K. M. (2018). Insects for Income Generation Through Animal Feed: Effect of Dietary Replacement of Soybean and Fish Meal With Black Soldier Fly Meal on Broiler Growth and Economic Performance. *Journal of Economic Entomology*, 111(4), 1966–1973. <https://doi.org/10.1093/jee/toy118>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *Revisión del desarrollo avícola*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2013). *Revisión del desarrollo avícola*. <https://doi.org/10.2307/j.ctt46nrzt.12>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2022). *Meat consumption" (indicator)*. <https://doi.org/10.1787/fa290fd0>
- Orozco Campo, R., Meleán Romero, R. y Rodríguez Medina, G. (2009). Costos de producción en la cría de pollos de engorde. *Revista Venezolana De Gerencia*, 9(28). <https://doi.org/10.31876/revista.v9i28.9800>
- Ospina Barrero, M. A., Borsoi, A., Peñuela Sierra, L. M. y Varón López, M. (2021). Cama de aves de corral un factor importante en la seguridad alimentaria. *Bioteología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 19(2), 230–250. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v19.n2.2021.1451>
- Pacheco, J. (2007). Análisis de Sostenibilidad de los Productos Agropecuarios Sensibles al Tratado de Libre Comercio. *UNAH*.
- Pang, W., Hou, D., Chen, J., Nowar, E. E., Li, Z., Hu, R., Tomberlin, J. K., Yu, Z., Li, Q. y Wang, S. (2020). Reducing greenhouse gas emissions and enhancing carbon and nitrogen conversion in food wastes by the black soldier fly. *Journal of Environmental Management*, 260, 110066. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110066>

- Park, S.-I., Chang, B. S. y Yoe, S. M. (2014). Detection of antimicrobial substances from larvae of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Entomological Research*, 44(2), 58–64. <https://doi.org/10.1111/1748-5967.12050>
- Pietras, M., Orczewska-Dudek, S., Szczurek, W. y Pieszka, M. (2021). Effect of dietary lupine seeds (*Lupinus luteus* L.) and different insect larvae meals as protein sources in broiler chicken diet on growth performance, carcass, and meat quality. *Livestock Science*, 250, 104537. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104537>
- Pius, L. O., Strausz, P. y Kusza, S. (2021). Overview of Poultry Management as a Key Factor for Solving Food and Nutritional Security with a Special Focus on Chicken Breeding in East African Countries. *Biology*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/biology10080810>
- Premalatha, M., Abbasi, T [T.], Abbasi, T [Tabassum] y Abbasi, S. A. (2011). Energy-efficient food production to reduce global warming and ecodegradation: The use of edible insects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4357–4360. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.115>
- Qiao, M., Fletcher, D. L., Smith, D. P. y Northcutt, J. K. (2001). The effect of broiler breast meat color on pH, moisture, water-holding capacity, and emulsification capacity. *Poultry Science*, 80(5), 676–680. <https://doi.org/10.1093/ps/80.5.676>
- Quirós, Fallas y Acosta. (2019). *Retos y oportunidades de los insectos comestibles como fuente de proteína sostenible en Costa Rica*. Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA). Universidad de Costa Rica. <http://www.cita.ucr.ac.cr/sites/default/files/CYTAL2019.pdf>
- Raksasat, R., Lim, J. W., Kiatkittipong, W., Kiatkittipong, K., Ho, Y. C., Lam, M. K., Font-Palma, C., Mohd Zaid, H. F. y Cheng, C. K. (2020). A review of organic waste enrichment for inducing palatability of black soldier fly larvae: Wastes to valuable resources. *Environmental Pollution (Barking, Essex : 1987)*, 267, 115488. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115488>
- Rawski, M., Mazurkiewicz, J., Kierończyk, B. y Józefiak, D. (2020). *Black Soldier Fly Full-Fat Larvae Meal as an Alternative to Fish Meal and Fish Oil in Siberian Sturgeon Nutrition: The Effects on Physical Properties of the Feed, Animal Growth Performance, and Feed Acceptance and Utilization* (núm. 11). <https://doi.org/10.3390/ani10112119>
- Rentería Flores, J. A., Gómez Rosales, S., López Hernández, L. H., Ordáz Ochoa, G., Anaya Escalera, A. M., Mejía Guadarrama, C. A. y Mariscal Landín, G. (2021). Principales aportes de la investigación del INIFAP a la nutrición porcina en México: retos y perspectivas. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 12, 79–110. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5866>

- Sánchez-Muros, M.-J., Barroso, F. G. y Manzano-Agugliaro, F. (2014). Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 16–27. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.068>
- Sándor, Z. J., Banjac, V., Vidosavljević, S., Káldy, J., Egessa, R., Lengyel-Kónya, É., Tömösközi-Farkas, R., Zalán, Z., Adányi, N., Libisch, B. y Biró, J. (2022). Apparent Digestibility Coefficients of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*), Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*), and Blue Bottle Fly (*Calliphora vicina*) Insects for Juvenile African Catfish Hybrids (*Clarias gariepinus* × *Heterobranchus longifilis*). *Aquaculture Nutrition*, 2022, 4717014. <https://doi.org/10.1155/2022/4717014>
- Scanes, C. G. (2007). The global importance of poultry. *Poultry Science*, 86(6), 1057–1058. <https://doi.org/10.1093/ps/86.6.1057>
- Schermmer, F. (1984). Die polymetabole Larval-Entwicklung der Waffnenfliegenart *Hermetia illucens*.—Ein Beitrag zur Metamorphose der Stratiomyidae)/The polymetabol development of the soldier fly larva *Hermetia illucens*. - A contribution to the Metamorphosis of the Stratiomyidae. *Annalen Des Naturhistorischen Museums in Wien. Serie B Für Botanik Und Zoologie*, 88/89, 405–429. <https://www.jstor.org/stable/41766751>
- Schiavone, A., Dabbou, S., Marco, M. de, Cullere, M., Biasato, I., Biasibetti, E., Capucchio, M. T., Bergagna, S., Dezzutto, D., Meneguz, M., Gai, F., Dalle Zotte, A. y Gasco, L. (2018). Black soldier fly larva fat inclusion in finisher broiler chicken diet as an alternative fat source. *Animal : An International Journal of Animal Bioscience*, 12(10), 2032–2039. <https://doi.org/10.1017/S1751731117003743>
- Schiavone, A., Dabbou, S., Petracci, M., Zampiga, M., Sirri, F., Biasato, I., Gai, F. y Gasco, L. (2019). Black soldier fly defatted meal as a dietary protein source for broiler chickens: Effects on carcass traits, breast meat quality and safety. *Animal : An International Journal of Animal Bioscience*, 13(10), 2397–2405. <https://doi.org/10.1017/S1751731119000685>
- Scott, T. A., Silversides, F. G., Classen, H. L., Swift, M. L., Bedford, M. R. y Hall, J. W. (1998). A broiler chick bioassay for measuring the feeding value of wheat and barley in complete diets. *Poultry Science*, 77(3), 449–455. <https://doi.org/10.1093/ps/77.3.449>
- Shah, A. A., Totakul, P., Matra, M., Cherdthong, A., Hanboonsong, Y. y Wanapat, M. (2022). Nutritional composition of various insects and potential uses as alternative protein sources in animal diets. *Animal Bioscience*, 35(2), 317–331. <https://doi.org/10.5713/ab.21.0447>
- Shumo, M., Osuga, I. M., Khamis, F. M., Tanga, C. M., Fiaboe, K. K. M., Subramanian, S., Ekesi, S., van Huis, A. y Borgemeister, C. (2019). The nutritive value of black soldier fly larvae reared on common organic waste streams in Kenya. *Scientific Reports*, 9(1), 10110. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46603-z>

- Siegel, P. B. (2014). Evolution of the modern broiler and feed efficiency. *Annual Review of Animal Biosciences*, 2, 375–385. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-022513-114132>
- Smet, J. de, Wynants, E., Cos, P. y van Campenhout, L. (2018). Microbial Community Dynamics during Rearing of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) and Impact on Exploitation Potential. *Applied and Environmental Microbiology*, 84(9). <https://doi.org/10.1128/AEM.02722-17>
- Smith, M. R., Stull, V. J., Patz, J. A. y Myers, S. S. (2021). Nutritional and environmental benefits of increasing insect consumption in Africa and Asia. *Environmental Research Letters*, 16(6), 65001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abf06c>
- Solano Villa, J. A. (2015). *Determinación del efecto pass-through para una canasta de bienes al consumidor en Colombia*. repositorio.unal.edu.co. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/53985>
- Sovran, B., Lu, P., Loonen, L. M. P., Hugenholtz, F., Belzer, C., Stolte, E. H., Boekschoten, M. V., van Baarlen, P., Smidt, H., Kleerebezem, M., Vos, P. de, Renes, I. B., Wells, J. M. y Dekker, J. (2016). Identification of Commensal Species Positively Correlated with Early Stress Responses to a Compromised Mucus Barrier. *Inflammatory Bowel Diseases*, 22(4), 826–840. <https://doi.org/10.1097/MIB.0000000000000688>
- Spranghers, T., Ottoboni, M., Klootwijk, C., Olyn, A., Deboosere, S., Meulenaer, B. de, Michiels, J., Eeckhout, M., Clercq, P. de y Smet, S. de (2017). Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(8), 2594–2600. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8081>
- Stamer, A. (2015). Insect proteins—a new source for animal feed: The use of insect larvae to recycle food waste in high-quality protein for livestock and aquaculture feeds is held back largely owing to regulatory hurdles. *EMBO Reports*, 16(6), 676–680. <https://doi.org/10.15252/embr.201540528>
- Steinfeld, H. (2006). *Livestock's long shadow: Environmental issues and options / Henning Steinfeld ... [et al.]*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Surendra, K. C., Olivier, R., Tomberlin, J. K., Jha, R. y Khanal, S. K. (2016). Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming. *Renewable Energy*, 98, 197–202. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.022>
- Svihus, B., Itani, K., Borg, K., Larsson, E. C., Ao, R., Sudubilige, A., Fuerjiafu, B., Liu, H., Hetland, H., Sanson, G., Kierończyk, B., Rawski, M. y Józefiak, D. (2017). Performance and digestive function of broiler chickens given grit in the diet. *British Poultry Science*, 58(5), 530–535. <https://doi.org/10.1080/00071668.2017.1332404>
- Sypniewski, J., Kierończyk, B., Benzertiha, A., Mikołajczak, Z., Pruszyńska-Oszmałek, E., Kołodziejki, P., Sassek, M., Rawski, M., Czekała, W. y Józefiak, D. (2020). Replacement of

- soybean oil by *Hermetia illucens* fat in turkey nutrition: Effect on performance, digestibility, microbial community, immune and physiological status and final product quality. *British Poultry Science*, 61(3), 294–302. <https://doi.org/10.1080/00071668.2020.1716302>
- Tschirner, M. y Simon, A. (2015). Influence of different growing substrates and processing on the nutrient composition of black soldier fly larvae destined for animal feed. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(4), 249–259. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0008>
- Tyshko, N. V., Zhminchenko, V. M., Nikitin, N. S., Trebukh, M. D., Shestakova, S. I., Pashorina, V. A. y Sadykova, E. O. (2021). The comprehensive studies of *Hermetia illucens* larvae protein's biological value. *Problems of Nutrition*, 90(5), 49–58. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-5-49-58>
- Van Laack, R. L., Liu, C. H., Smith, M. O. y Loveday, H. D. (2000). Characteristics of pale, soft, exudative broiler breast meat. *Poultry Science*, 79(7), 1057–1061. <https://doi.org/10.1093/ps/79.7.1057>
- Verneau, F., Amato, M. y La Barbera, F. (2021). Edible Insects and Global Food Security. *Insects*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/insects12050472>
- Wang y Shelomi (2017). Review of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as Animal Feed and Human Food. *Foods (Basel, Switzerland)*, 6(10). <https://doi.org/10.3390/foods6100091>
- Wang, Wu, Li y Zhang (2020). Reproductive Potential and Nutritional Composition of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) Prepupae Reared on Different Organic Wastes. *Journal of Economic Entomology*, 113(1), 527–537. <https://doi.org/10.1093/jee/toz296>
- Wideman, N., O'Bryan, C. A. y Crandall, P. G. (2016). Factors affecting poultry meat colour and consumer preferences - A review. *World's Poultry Science Journal*, 72(2), 353–366. <https://doi.org/10.1017/S0043933916000015>
- Zhang, M., Yan, W [Weili], Wang, D. y Xu, W. (2021). Effect of myoglobin, hemein, and ferric iron on quality of chicken breast meat. *Animal Bioscience*, 34(8), 1382–1391. <https://doi.org/10.5713/ajas.20.0529>
- Zheng, L.-P., Teng, M., Li, G.-X., Zhang, W.-K., Wang, W.-D., Liu, J.-L., Li, L.-Y., Yao, Y., Nair, V. y Luo, J. (2022). Current Epidemiology and Co-Infections of Avian Immunosuppressive and Neoplastic Diseases in Chicken Flocks in Central China. *Viruses*, 14(12). <https://doi.org/10.3390/v14122599>
- Zulkifli, N. F. N. M., Seok-Kian, A. Y., Seng, L. L., Mustafa, S., Kim, Y.-S. y Shapawi, R. (2022). Nutritional value of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae processed by different methods. *PloS One*, 17(2), e0263924. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263924>