Exploración del uso alternativo de *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) en la dieta de pollos de engorde y peces en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Nicole Marie Heredia Perdomo
Shirley Ivanova Villalba Ramón

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras
Noviembre, 2020

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Exploración del uso alternativo de *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) en la dieta de pollos de engorde y peces en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingenieros Agrónomos en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Nicole Marie Heredia Perdomo
Shirley Ivanova Villalba Ramón

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2020

Exploración del uso alternativo de *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) en la dieta de pollos de engorde y peces en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Presentado por:

Nicole Marie Heredia Perdomo
Shirley Ivanova Villalba Ramón

Aprobado:

Jesus Orozco (Nov 17, 2020 15:54 CST)

Jesús Orozco, Ph.D.
Asesor Principal

Rogel Castillo, M.Sc.
Director
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

Patricio Paz (Nov 17, 2020 15:56 CST)

Patricio E. Paz, Ph.D.
Asesor

Luis Fernando Osorio, Ph.D.
Vicepresidente y Decano Académico

Katerin Aguilar (Nov 17, 2020 15:57 CST)

Katerin Aguilar, Lcda.
Asesora

Exploración del uso alternativo de *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) en la dieta de pollos de engorde y peces en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Nicole Marie Heredia Perdomo
Shirley Ivanova Villalba Ramon

Resumen. Utilizar insectos para la alimentación animal es un modelo de negocio rentable que está cobrando una mayor demanda en la actualidad, ya que estos son una fuente de proteína de alta calidad y bajo costo, *H. illucens* posee altos valores proteicos con características favorables para la alimentación animal. Este estudio evalúa la posibilidad de incorporar la harina de larvas de *H. illucens* para alimentar pollos y peces en diferentes etapas de desarrollo, evaluar las ventajas del uso de harina de *H. illucens* y analizar las necesidades para la producción en una tonelada de harina al mes en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Se realizó una comparación de la alimentación actual de los peces y aves sustituyéndola con *H. illucens*, utilizando el programa lineal Solver, teniendo como resultado cambios significativos en el crecimiento de pollos en un 10% sin aumento en la mortalidad, sin embargo, la alimentación en peces se ve limitada por la absorción de los nutrientes en el animal, afectando directamente el crecimiento, lo que indica, que el reemplazo de la harina convencional debe realizarse de forma paulatina. La sustitución de la harina de soya por *H. illucens* propone cambios importantes dentro de las instalaciones de la EAP, siendo posible la producción de una tonelada de harina de *H. illucens* en un área de 445 m^2 con una cantidad de 12,500 kg de desechos mensuales para la alimentación larval.

Palabras clave: Alimentación, harina, larvas, valor nutricional.

Abstract. Using insects for animal feed is a profitable business model that is gaining greater demand today, since these are a high-quality, low-cost source of protein, *H. illucens* has high protein values with favorable characteristics for feeding animal. This study evaluates the possibility of incorporating *H. illucens* larval meal to feed chickens and fish at different stages of development, evaluating the advantages of using *H. illucens* meal and analyzing the needs for the production of one ton of meal at month at the Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Was made a comparison of the current feeding of the fish and chickens, replacing it with *H. illucens*, using the linear Solver program, resulting in significant changes in the growth of chickens by 10% without an increase in mortality, however, the feeding in fish it is limited by the absorption of nutrients in the animal, directly affecting growth, which indicates that replacing conventional flour should be done gradually, in the same way the replacement of *Hermetia* flour, proposes important changes within the facilities of the EAP, making it possible to produce one ton of *H. illucens* flour in an area of 445 m^2 with an amount of 12,500 kg of waste per month for larval feeding.

Key words: Food, flour, larvae, nutritional value.

CONTENIDO

Portadilla i
Página de firmas ii
Resumen iii
Contenido iv
Índice de Cuadros v

1. INTRODUCCIÓN 1

2. MATERIALES Y MÉTODOS 5

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 8

4. CONCLUSIONES 17

5. RECOMENDACIONES 18

6. LITERATURA CITADA 19

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadros Página

1. Requerimientos nutricionales de los pollos de engorde según varias etapas identificadas por rango de días 5
2. Composición de concentrado del centro de investigación y enseñanza avícola ..... de Zamorano 6
3. Requerimientos nutricionales de tilapia 7
4. Ingredientes de los tres tipos (etapas de pollos de engorde) de dieta no convencional para la elaboración de 45 kg de alimento a base de *H. illucens* 9
5. Precio en dólares estadounidenses de cada dieta hechos con *H. illucens* 10
6. Contenido de ingredientes de la formulación de dieta para tilapias 11
7. Ingredientes de la dieta no convencional para la elaboración de 45 kg de alimento para tilapia 12

1. INTRODUCCIÓN

El uso de insectos como fuente de proteína para la alimentación animal es un modelo de negocio que cada día es más común y está adquiriendo más relevancia, esto se debe a que se está convirtiendo en una fuente de proteína más barata y sostenible que las actualmente usadas (Stanley-Samuelson *et al.* 1988). La harina de insecto es un polvo obtenido a partir de insectos que han sido procesados, secados y molidos. La utilización de este ingrediente en la alimentación de aves se viene estudiando a nivel mundial, principalmente para cubrir la demanda de proteína y encontrar una alternativa de nuevas fuentes de proteína y nutrientes (Ñahuis-Calle 2018). El crecimiento poblacional necesita permanentemente proteína de origen animal cada vez en mayores cantidades, en el caso de la orientada a la industria avícola, está supeditada a la utilización de alimentos proteicos dependientes de importación como es el caso de los productos de soya (Edgardo 2006).

Los principales insectos para la producción de piensos a gran escala son las larvas de *H. illucens*, la mosca doméstica y del gusano de la harina; productores en China, Sudáfrica, España y los Estados Unidos ya están criando grandes cantidades de insectos para la acuicultura y las dietas de las aves de corral a través de la bioconversión de residuos orgánicos (FEDNA 2010).La mosca guarera, *H. illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) es una especie de díptero braquícero de la familia Stratiomyidae, originaria de América, que se ha extendido por el sur de Europa, África, Asia e islas del Pacífico (Veloz-Maggiolo 2013). Las larvas pueden consumir de 25 a 500 mg de materia fresca por día y se alimentan de una amplia gama de sustratos, que van desde el estiércol hasta el desperdicio de alimentos (Maquart *et al.* 2019).

Acorde con los resultados de Alonzo-Ortiz y Hernandez-Carias (2019) Zamorano ha realizado experimentos alimentando larvas de *Hermetia* con cerdaza, gallinaza, leche en polvo, alimento para gato, hojuelas de maíz y cubos de caldo (LAHC) y con desechos del Comedor Estudiantil Doris Stone con una ración diaria de 100 mg/larva/ día durante 15 días. Dé ese estudio, se obtuvo que las larvas con mayor capacidad de degradación de residuos fueron las alimentadas con residuos del comedor Doris Stone, siendo este tratamiento el segundo con larvas más pesadas.

Las larvas de *H. illucens* tienen un alto valor nutricional, dependiendo del sustrato en el que son criadas, con niveles de proteína bruta que van del 28 – 48% (Maquart *et al.* 2019). La etapa prepupal contiene altos niveles de proteínas y grasas, 42–45% y 31–35%, respectivamente. Los valores observados en el porcentaje de proteína bruta (PB) en este estudio (37%) en la larva de *H.illucens* son similares a los obtenidos por otros investigadores: Newton *et al*. (1977) determinaron que la larva de *H. illucens* poseía un 40.6% de PB, Sheppard *et al.* (2002) un 37.8%, Arango-Gutierrez *et al*. (2004) un 37% y Barroso *et al*. (2014) un 36.2%, indicando que pueden convertirse en productos finales beneficiosos para su uso en la alimentación animal, proporcionando un reemplazo adecuado para las fuentes de proteína y grasa convencional que pueden ser suministradas a animales de crianza como pollos, cerdos, bagre, tilapia y trucha arco iris (Banks *et al.* 2013).

Detalladas revisiones de la composición de estos ingredientes han sido publicadas por Ramos-Elourdy (2008) y Maquart *et al.* (2019). En general, estos productos derivados de insectos tienen elevadas proporciones de proteína bruta, en rangos entre 40-44% (en base a materia seca). De la

larva de mosca guarera en Zamorano se ha encontrado un valor de proteína bruta de 37% de larvas alimentadas con desechos del comedor estudiantil Doris Stone (Alonzo-Ortiz y Hernandez-Carias 2019) y lípidos del 18 al 25 % (Olivo-Gutiérrez 2018). Según Oonincx *et al.* (2015) las larvas de *H. illucens* alimentadas con cerdaza, alcanzan un porcentaje de proteína bruta de 32.84% y alimentadas con gallinaza un valor de 31.08%.

Los insectos, como la mosca guarera (BSF) y sus larvas, se han sugerido como fuentes alternativas de proteína a las harinas de maíz y soya y, por lo tanto, como ingredientes potenciales para la alimentación de pollos (De Marco *et al*. 2015; Maurer *et al*. 2016). Además, se espera que la autorización de insectos como proteína animal se expida para la industria avícola europea en 2020-2022 (Cutrignelli *et al.* 2018).

Se ha evaluado el uso de larvas y harina de la mosca en ensayos con pollos y tilapias; en diferentes ensayos se ha observado un alto coeficiente de digestibilidad, presentando valores de 91-93% de digestibilidad proteica, 89-92% de lípidos y 78-83% de energía en peces (Sánchez-Muros *et al*. 2014; Segura-Cazorla 2014; Ogunji *et al*. 2008). En pollos, las larvas de *H. illucens* pueden proporcionar alimentos ricos en proteínas (40 a 44%) con mejor perfil de aminoácidos en comparación con la harina de soya (Maurer *et al*. 2016).

Con la excepción del ácido graso omega-3, el perfil lipídico es muy similar a la harina de pescado y soya, además existe el potencial de aumentar el ácido graso omega-3 mediante el uso de una alimentación apropiada, ejemplo, desechos de pescado (Valenzuela *et al*. 2011). El perfil de aminoácidos esenciales de la harina de *H. illucens* cumple con los requerimientos de las tilapias y aves, los cuales encajan de manera similar a los ingredientes potenciales de proteína convencionales y pueden simplificar los requisitos de la formulación dietética (Maquart *et al.* 2019). La alimentación en la producción animal representa un aproximado de 65% de los costos totales, este porcentaje varía según la especie que se esté tratando y la economía mundial (Murillo-Martín *et al*. 2018). La limitante de costo de alimentación puede ser tratado con el uso de insumos sustitutos o subproductos que provean energía y proteína a mayor cantidad que el alimento convencional y a un menor costo (Salguero y Lescano 2016).

La acuacultura es una industria económica importante en muchos países del mundo. Actualmente esta actividad ha tomado más relevancia en los países en vías de desarrollo como gran parte de Latinoamérica y África, a esto se suma Asia, en donde se tiene provisto que la acuacultura tenga un rol importante en planes de desarrollo (ESPAE 2018) En los últimos años la producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en pequeña escala está en auge, pero la alimentación se convierte en una limitante, más aún en la acuacultura rural, donde los costos beneficios son en muchas ocasiones nulos (Ogunji *et al*. 2007). Los estudios muestran resultados prometedores en el uso de harina de *H. illucens* en sustitución de la harina de pescado (Ogunji *et al*. 2007). Las larvas de *H. illucens* poseen contenidos similares de proteína y grasa a la harina de pescado siendo factible su uso para la alimentación de peces (Ñahuis-Calle 2018).

Para reducir los costos de alimentación en tilapia, es necesario cambiar el ingrediente más caro, siendo este la harina de pescado y la adopción de nuevos ingredientes no convencionales en formulación de dietas siendo una sustitución con alternativas adecuadas y de bajo costo, donde se asegura que la sustitución no comprometerá el crecimiento y la calidad de la población. En comparación con la producción de soya, orientada en gran medida hacia la alimentación animal y

una de las principales fuentes vegetales empleadas en acuicultura como sustituto a la harina de pescado, los insectos son mucho más sostenibles, ya que requieren menos recursos (tierra, agua, fertilizantes); además, no compiten con los de los humanos y pueden ser criados como eficientes biotransformadores mediante la utilización de subproductos para su alimentación.

El impacto en el uso de soya está en el crecimiento del cultivo, áreas enormes de bosques, pastizales y sabanas, además de grandes extensiones de las praderas han sido convertidas a la agricultura, ya sea directa o indirectamente, como resultado de la explosión global en la producción de soya, a medida que esos ecosistemas se pierden, se impulsa el cambio climático y amenaza la forma de vida de pueblos originarios que dependen de los bosques como medio de subsistencia (Bruinsma 2009).

En la avicultura los mayores costos se incurren en alimentación, cifras promedio han llegado a determinar que se puede tener un 80% de los costos totales (Orozco-Campo *et al*. 2004). Las características nutricionales de una dieta dependen de la cantidad y calidad de nutrientes que los ingredientes proporcionan (Carbajal *et al*. 2018). Hoy en día muchos avicultores compran alimento comercial sin saber su composición, siendo esto un factor limitante para la alimentación avícola, es decir, el productor posee poca información sobre los ingredientes que posee la dieta (Ávila y Benavides 2013).

Los insectos pueden ser una fuente de proteína alternativa interesante en particular para las aves de corral, considerando que forman parte de la dieta natural de los pollos (Bruinsma 2009). Algunos investigadores como Segura-Cazorla (2014); Gasco *et al*. (2018) y Arango *et al.* (2004) se han ocupado del uso de harina de *H. illucens* en la nutrición avícola, obteniendo hasta ahora resultados contrastantes. Schiavone *et al*. (2017) demostraron que la harina de *H. illucens* desgrasada, puede considerarse una excelente fuente de energía para los pollos de engorde. Veloz-Maggiolo (2013) tuvo como resultado que la harina de larvas de *H. illucens* también podría conducir a una eficiencia alimenticia más favorable en las gallinas ponedoras.

La elaboración de harina y aceite de pescados, conllevan el vertido de aguas residuales en zonas costeras (Banks *et al.* 2013). El efecto contaminante por los procesos de fabricación de estas harinas puede causar toxicidad a los animales acuáticos (Bondari y Sheppard 1987). La industria de procesamiento de harina de pescado vierte desechos al mar a través de tuberías, utilizando, en pocas ocasiones, tratamientos previos, calculando un aproximado de 1,256.4 t de desechos, teniendo en cuenta que solo el 5% es recuperado por algún sistema, teniendo un impacto desde la extracción hasta el traslado del pescado (Pineda 2019).

En este trabajo se ha estudiado la larva *H. illucens* para establecer el potencial que puede tener como alimento para peces y pollos. Desde el punto de vista nutritivo, las investigaciones indican que es un insecto interesante y además presenta ciertas ventajas medio ambientales frente a la harina de pescado o de soya (Barroso *et al*. 2014; Segura-Cazorla 2014). Se evaluó la inclusión parcial de un ingrediente local alterno que es la harina de *H. illucens*, en sustitución a los ingredientes tradicionales como la harina de soya y harina de pescado. Este ingrediente alternativo, promete la reducción de costos en la alimentación y la efectividad de ganancia de peso (peso/pollos de engorde) y (peso/ tilapias) en comparación con los ingredientes tradicionales.
El estudio de producción de larvas para alimentación animal es importante ya que es un aporte en los valores económicos y ambientales. No obstante, la introducción de tal innovación en un

mercado ya establecido, en gran parte dominado por insumos como la harina de pescado, tiene muchos desafíos. Uno de los principales puntos de preocupación en estos casos es a menudo el costo, el área a ocupar para una determinada producción meta de harina de larvas en un tiempo establecido y se debe tener en cuenta las innovaciones en alimentos balanceados que van a ser competitivas en el mercado. Es por eso que en este estudio se ha tomado como objetivo tener una producción meta y de esto valernos para saber qué equipo y espacio se necesita para poder llegar a producir la cantidad establecida. Los objetivos de la presente investigación fueron:

- Evaluar la viabilidad de reemplazar los principales componentes proteicos de las dietas de aves y peces por harina de *H. illucens*.

- Identificar ventajas y desventajas de la incorporación de proteína por medio de *H. illucens* a la dieta de pollos y peces en Zamorano.

- Estimar las necesidades de Zamorano para producir una tonelada de harina de *H. illucens* mensualmente.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La viabilidad del uso de harina de *H. illucens* en la dieta para pollos de engorde (tres etapas) como en tilapias (etapa de engorde) se determinó mediante búsqueda de literatura. Los requerimientos nutricionales tanto en pollos como en tilapia y las restricciones de formulación se obtuvieron de fuentes secundarias (entrevistas a los encargados de la unidad) Ing. Ronny Sánchez, Dr. Yordan Martínez (Centro de investigación y enseñanza avícola), Ph.D. Patricio E. Paz (Centro de investigación y enseñanza acuícola Daniel Meyer), Ph.D. Jesus Orozco (Entomología)

Formulación de las dietas

Para formular la base de las dietas y a la vez comparar las dietas convencionales con la dieta a base de *H. illucens*, se usó el programa lineal de Excel Solver el cual es una hoja de cálculo con datos de los requerimientos nutricionales de los animales en producción, aportes nutricionales de los insumos y el costo de estos relacionados entre sí. El estudio evaluó las necesidades de dos áreas: el centro de investigación y enseñanza acuícola Daniel Meyer y el centro de investigación y enseñanza avícola de Zamorano, manteniendo el enfoque para ambas áreas en poder comparar el alimento tradicional que se usa para los animales con un concentrado que cumple con los requerimientos nutricionales tanto de peces como aves, pero formulado a base de *H. illucens.*

Cuadro 1. Requerimientos nutricionales de los pollos de engorde según varias etapas identificadas por rango de días.

Nutrientes	Unidad	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Días	-	1-8	9-18	19-28	29-35	36-42	43-45
Granulación (Diámetro)	mm	-	1.5	3.5	4	3.5	4
Energía metabolizable	kcal/kg	2,900	-	3,000	-	3,100	-
Proteína cruda	%	-	22	17	19	15	18
Metionina	%	0.5	-	0.4	-	0.3	-
Metionina + Cisteína	%	0.85	-	0.65	-	0.6	-
Lisina	%	1	-	0.85	-	0.75	-
Treonina	%	0.75	-	0.6	-	0.5	-
Triptófano	%	0.23	-	0.16	-	0.16	-
Celulosa	%	-	4	-	5	-	6
Grasas	%	-	4	-	5	-	5
Calcio	%	1	1.2	0.9	1	0.85	1
Fósforo digestible	%	0.45	-	0.4	-	0.35	-
Vitamina A	UI/Kg	15	-	15	-	15,000	-
Vitamina D	UI/Kg	3	-	3	-	3,000	-
Vitamina E	UI/Kg	20	-	20	-	20	-

Fuente: COBB 2012

Se comenzó con un estudió de manera analítica, con una hoja de dietas utilizada por el centro de investigación y enseñanza avícola de Zamorano, la cual contiene el porcentaje de cada ingrediente a una de las tres dietas que se tiene para cada una de las etapas que se maneja en pollos de engorde.

Esta formulación cuenta con ingredientes comunes que van a obedecer restricciones de requerimientos nutricionales para pollos que se encuentran en el Cuadro 1.

El centro de investigación y enseñanza avícola cuenta con 1,700 aves, de las cuales 1,000 son pollos de engorde Cobb 500®; el peso promedio de estas aves ronda las 1.8 kg. La Escuela Agrícola Panamericana, se encarga de producir su propio concentrado en la Planta de Concentrados en la cual cada saco de concentrado de 45 kg posee 18.18 kg de proteína cruda. El centro de investigación y enseñanza avícola de Zamorano proporcionó las dietas que se usan en las tres etapas de desarrollo del pollo de engorde, en donde la mayor parte de la dieta está conformada por maíz y harina de soya (Cuadro 2).

Cuadro 2. Composición de concentrado en el centro de investigación y enseñanza avícola de Zamorano.

Ingredientes	**Pollos de Engorde Cobb 500®**		
	(0-8 días)	**(9-18 días)**	**(19-35 días)**
Harina de maíz de descarte (10.59 %)	59.7	66.17	67.82
Harina de soya (46.83%)	31.57	25.72	23.69
Premezcla de minerales y vitaminas	0.50	0.5	0.5
Cloruro de sodio	0.50	0.5	0.5
Aceite de palma africana	3.35	2.93	3.82
Colina	0.05	0.05	0.05
DL-Metionina	0.34	0.31	0.28
L-Treonina	0.17	0.13	0.08
L-Lisina	0.34	0.36	0.31
L-Arginina	0.13	0.17	0.11
Carbonato de calcio	1.6	1.54	1.41
Biofos	1.53	1.4	1.21
Mycofix plus 5.0	0.12	0.12	0.12
Enzimas Lumis Lbzyme X50	0.05	0.05	0.05
Coccidiostato	0.05	0.05	0.05
Aportes nutricionales			
EM (kcal/kg MS)	2975	3025	3100
Proteína cruda	22.0	20.0	19.0
Calcio	0.9	0.84	0.76
P disponible	0.45	0.42	0.38
Lisina	1.22	1.12	1.02
Arginina	1.27	1.18	1.06
Metionina+cistina	0.91	0.85	0.80
Treonina	0.83	0.73	0.66
Triptófano	0.2	0.18	0.18

El Centro de investigación y enseñanza acuícola Daniel Meyer cuenta con unidades experimentales que mantienen peces de engorde, con una cantidad de 4,000 animales y con un peso promedio de 200 g. El consumo del alimento suministrado está entre 8 y 12 kg al día. Los peces son alimentados

mediante un balanceado de marca ALCON que pertenece a la empresa Cargill. El porcentaje de macronutrientes del concentrado presenta, de acuerdo con su etiqueta, 38% de proteína cruda y 5.5% de grasa saturada. Los requerimientos nutricionales para tilapias se encuentran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Requerimientos nutricionales de tilapia

Nutriente	**Porcentaje (%)**
Proteína	29.0
Grasa	8.1
Fibra	6.0
Calcio	0.7
Fósforo d.	1.0
ED/EM	2.6
Lisina	1.5
Metionina	0.4
Metionina-cistina	0.8
Treonina	1.2
Arginina	1.2

Fuente: Husa 2015

Ventajas y limitantes del uso de *H. illucens* en la dieta de peces y pollos

Como segundo apartado se estudia el proceso de evaluación de impacto, incluyendo el conjunto de estudios, de informes técnicos y consultas que permiten estimar las consecuencias para producción de harina de *H. illucens* y actividades que tengan sobre el medio ambiente. La harina de *H. illucens* se visualiza como un potencial sustituto en la alimentación de peces y aves (Ayoola 2010) de esta forma, se sabe que su uso para el desarrollo de estos animales es posible a través de balance nutricional y formulaciones que garanticen su desarrollo, sin embargo, los estudios indican deficiencias en su uso único en la alimentación de peces (Maquart *et al.* 2019; Stamer *et al*. 2014), lo que limita el crecimiento del animal, señalando que puede deberse a la cantidad de quitina presente en la etapa larval afectando su digestión.

Evaluación de las necesidades para la producción de harina de *H. illucens* en Zamorano

Como tercer apartado se debe evaluar las necesidades y limitantes para producir una tonelada de harina de larvas al mes en Zamorano. Se realizaron cálculos para estimar la cantidad de alimento y área para esta producción, estos cálculos son operaciones necesarias para prever el resultado de producción y conocer posibles consecuencias que deriven de algún dato previamente conocido. Dentro de las necesidades primordiales para el desarrollo de la larva se encuentra la temperatura, al igual que esta, la humedad ambiental afecta el crecimiento y reproducción de las larvas (Cullere *et al.* 2016). La temperatura ideal para el crecimiento de la larva se encuentra entre 24 - 29.3 °C (Carbajal *et al.* 2018). La humedad es otro factor influyente en el desarrollo de la larva, este siendo importante para su crecimiento, teniendo un rango ideal de 50 - 60% (Segura-Cazorla 2014).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

***Hermetia illucens* como ingrediente en alimento para pollos**

Al indicar las restricciones y requerimientos nutricionales, se obtuvo una dieta donde el ingrediente de mayor aporte de proteína es la harina de *H. illucens* (Cuadro 4).

Cuadro 4. Ingredientes de los tres tipos (etapas de pollos de engorde) de dieta no convencional para la elaboración de 45 kg de alimento a base de *H. illucens.*

Ingrediente	Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3
Harina de maíz	10.0	11.36	9.09
Harina de *H. illucens*	26.36	26.36	27.27
Afrecho de trigo	0.00	0.00	0.00
Aceite de palma	4.54	3.63	4.54
Harina de soya	0.00	0.00	0.00
Harina de maní	0.00	0.00	0.00
Lisina HCL	0.45	0.46	0.46
Metionina	0.36	0.34	0.31
Treonina	0.09	0.09	0.09
Triptófano	0.07	0.09	0.08
Carbonato de calcio	0.00	0.00	0.00
Carbonato de sodio	0.00	0.00	0.00
Sal	1.19	0.90	0.90
Total kg	45.00	45.00	45.00

La dieta no tradicional está divida para las tres fases: la primera dieta contiene un 58% de harina de *H. illucens*, 22% de harina de maíz, 10% de aceite de palma, la segunda dieta contiene un 58% de harina de *H. illucens*, 25% de harina de maíz, 8% de aceite de palma, y la tercera dieta contiene un 60% de harina de *H. illucens*, 20% de harina de maíz, 10% de aceite de palma. En promedio, reemplazando el 100% de la harina de soya, teniendo una proporción de harina de *H. illucens* de 59% en las tres dietas.

En las dietas se observa que la composición proteica es más elevada, resultando que el 59% de la composición de las tres dietas está compuesta por proteína cruda; según el Reglamento Técnico Centroamericano, si el alimento alcanza el 50% de proteína, es considerado un alimento alto en proteína. Esto la hace competitiva en el mercado de suplementos altos en proteína (Reglamento Técnico Centroamericano 2017).

Al formular las tres dietas para las distintas etapas, surgió la necesidad de realizar un análisis parcial para hacer una comparación económica entre la dieta tradicional y la nueva dieta a base de harina de *H. illucens* para determinar si es factible utilizarla. Para ello, es necesario realizar una prueba experimental (en campo), que no fue realizada en este estudio. Los precios se calcularon para cada etapa, tanto de los ingredientes como el total por cada saco de 45 kg (Cuadro 5).

Cuadro 5. Precio en dólares estadounidenses de cada dieta hecho con *H. illucens*.

Ingrediente	**Dieta 1**	**Dieta 2**	**Dieta 3**
Harina de maíz	15.40	17.50	14.00
Harina de *H. illucens*	49.30	49.30	51.00
Afrecho de trigo	0.00	0.00	0.00
Aceite de palma	9.00	7.20	9.00
Harina de soya	0.00	0.00	0.00
Harina de maní	0.00	0.00	0.00
Lisina HCL	2.50	2.55	2.55
Metionina	4.80	4.50	4.20
Treonina	1.22	1.22	1.22
Triptófano	0.85	0.95	0.80
Carbonato de calcio	0.00	0.00	0.00
Carbonato de sodio	0.00	0.00	0.00
Sal	1.05	0.80	0.80
Total lb	84.12	84.02	83.57
Costo de mezclado dólar/saco de 45 kg	0.80	0.80	0.80
Costo total dólar/ saco de 45 kg	84.92	84.82	84.37

Según Segura-Cazorla (2014), Ogunji *et al*. (2007), y Ogunji *et al*. (2008) se han conseguido buenos resultados en distintos experimentos que llevan como ingrediente principal la harina de *H. illucens* en dietas para animales, demostrando que a mayor cantidad de harina de mosca los animales ganaban peso más rápido, con una calidad similar a la dieta convencional.La inclusión de *H. illucens* en la dieta ha influido positivamente en el rendimiento del crecimiento de las aves hasta en un 10%, en términos de mejor peso vivo (PV) y fuente de alimentación (DFI).

Durante el período de inicio, el peso de los pollitos se cuadruplica, lo que influye en la tasa de crecimiento posterior (Poot-López *et al.* 2012). La inclusión de un 10% de harina de larvas en sustitución parcial de la harina de soya, para las dietas de pollos de engorde durante el período inicial, ha sido también responsable de una mejor tasa de crecimiento y mayor peso vivo en pollos y perdices de Berbería (Loponte *et al.* 2017). Maurer *et al.* (2016) estudiaron como la harina de larvas de *H. illucens* incluida hasta en un 100% en base a proteínas en una dieta de gallinas ponedoras, no tuvo efectos negativos en la producción de huevos, el consumo de alimento, o la eficiencia de conversión del alimento.

Schiavone *et al.* (2017) evidenció que utilizar el 50 o el 100% de harina de *H. illucens* sustituyendo la harina de soya en la dieta de pollos de engorde a lo largo de su ciclo productivo, mostraba rendimientos productivos satisfactorios en características de la canal y calidad general de la carne. Por tanto, sugiere que podría considerarse un nuevo ingrediente alimenticio prometedor para pollos. Sin embargo, son necesarios más esfuerzos de investigación para encontrar estrategias para mejorar el perfil de ácidos grasos a través de la modulación del sustrato, con el fin de proporcionar una carne más saludable; además los pollos también mostraron la misma preferencia por la dieta a base de concentrado convencional y el nivel de sustitución de grasa de las larvas de *Hermetia* al 100%.

De Marco *et al*. (2015) encontró que el valor nutricional de *H. illucens* en forma de harina de larvas para pollos en crecimiento, puede considerarse una fuente valiosa de energía y aminoácidos digeribles. *H. illucens* también se utilizó como una fuente de proteína alternativa a la harina de soya, revelando resultados positivos en términos de rendimiento productivo (Cullere *et al*. 2016; Hale 1973). Con los resultados obtenidos de los estudios ya mencionados, se cree que usar harina de *H.illucens* en Zamorano puede representar una alternativa nutricionalmente viable.

Hermetia illucens como ingrediente en alimento para peces

Las proteínas de insectos representan una alternativa más sostenible a la harina de pescado en los alimentos acuícolas, su valor como ingredientes en forma de harina de *H. illucens* para peces ha sido ampliamente revisado, y no ha demostrado efectos negativos en rendimiento del crecimiento de los peces, cuando se usa en forma de harina (Poot-Delgado *et al.* 2009). En esta perspectiva, se evaluaron los efectos de la harina de *H. illucens* en una dieta formulada para tilapias.

La harina de *H. illucens* podría ser un sustituto de la harina de pescado sin pérdidas severas en la ganancia de peso corporal en peces (Orozco-Campo *et al.* 2004), con base en los requerimientos que necesitan se realizó una dieta a base de *H. illucens* que se presenta en el Cuadro 6. Además, se analizó estudios que demuestran resultados prometedores en el uso de harina de *H. illucens* en sustitución de la harina de pescado (Carvajal *et al.* 2020).

Cuadro 6. Contenido de ingredientes (%) de la formulación de dieta para tilapias.

Ingrediente	**Dieta 1**
Salvado de Trigo	22.00
Harina de *H. illucens*	70.00
Afrecho de trigo	0.00
Aceite de Palma	4.00
Harina de Soya	0.00
Harina de maní	0.00
Lisina HCL	1.00
Metionina	0.80
Treonina	0.20
Triptófano	0.17
Carbonato de Calcio	0.00
Carbonato de Sodio	0.00
Sal	2.00
Total %	100.00

Las larvas de *H. illucens* poseen contenidos similares de proteína 28 - 48% mientras que, al comparar la grasa, *H. illucens* posee de un 31 a 35% (Maquart *et al.* 2019) y la harina de pescado, un 10.49% de grasa (Arango *et al*. 2004), con estos resultados se tiene que la grasa de *H. illucens* tiene tres veces más en comparación con la de pescado, esto lo pone en un mayor estatus, más que nada a nivel económico en donde se puede usar menos grasa de *H. illucens* con el mismo resultado

que traería la grasa de harina de pescado siendo factible su uso para la alimentación de peces (St. Hilaire *et al.* 2007).

Estudios sobre la asimilación de proteína y energía en la tilapia (*Oreochromis niloticus*) indican que la mayor retención de proteína en la alimentación de peces se obtiene con un 14% de inclusión de harina de larvas de *H. illucens* en la alimentación, mostrando diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos de 12, 14, 16 y 18% respectivamente. Según Pineda (2019), la larva de *H. illucens* es una opción económicamente viable para alimentar a los peces, ya que el aumento de los precios de la harina de pescado genera gastos considerables para los piscicultores.

Un ciclo de engorde para tilapias con larvas de *H. illucens* lleva 15 días hasta que estas tienen un peso promedio de 0.25 g en condiciones óptimas (Maquart *et al.* 2019). Los niveles de proteína de la larva van del 28 al 48% y los de lípidos del 12 al 42%, lo que representa un alto valor nutricional y el perfil de aminoácidos esenciales de la harina de insectos cumple con la formulación dietética de las tilapias, cómo se puede observar en la dieta elaborada en el Cuadro 7 (Maquart *et al.* 2019).

Cuadro 7. Ingredientes de la dieta no convencional para la elaboración de 45 kg de alimento para tilapia.

Ingrediente	**Dieta**
Salvado de trigo	15.40
Harina de *H. illucens*	59.50
Afrecho de trigo	0.00
Aceite de palma	3.60
Harina de soya	0.00
Harina de maní	0.00
Lisina HCL	2.50
Metionina	4.80
Treonina	1.22
Triptófano	0.85
Carbonato de Calcio	0.00
Carbonato de Sodio	0.00
Sal	0.80
Total %	88.67
Costo de mezclado dólar/saco de 45 kg	0.80
Costo total dólar/ saco de 45 kg	89.47

Li *et al*. (2020) obtuvo como resultado el reemplazo total de la harina de pescado con harina de larvas de *H. illucens*, no comprometió la salud intestinal del salmón del Atlántico. Se observó esteatosis de enterocitos en el intestino proximal y medio en ambos grupos de dieta, aunque menos grave en el intestino proximal de los peces alimentados con la dieta de harina de insectos; los cambios morfológicos inflamatorios, similares a los inducidos en el intestino distal por la harina de soya estándar, estuvieron presentes en todos los segmentos intestinales examinados, con un mayor grado de celularidad submucosa en el intestino proximal de la dieta de insectos alimentados con pescado, el único efecto notable de la dieta (Li *et al*. 2020).

Carvajal *et al.* (2020) encontró que la sustitución dietética completa de la harina de pescado con harina de larvas de *H. illucens* no afectó la calidad físico-química de los filetes de pescados; los ácidos grasos poliinsaturados aumentaron, leve pero significativamente, en los filetes alimentados con *H. illucens* y el perfil orgánico volátil no fue alterado por las diferentes dietas. Por último, Banks *et al*. (2013) hizo una prueba de agrado del consumidor y reveló que, los consumidores italianos apreciaron el sabor probado independientemente del alimento administrado.

Con los resultados mencionados, se cree que se pueda obtener resultados similares tanto en el desarrollo, la calidad de los filetes y el sabor de la tilapia al momento de hacer degustación. El estado larvario en *H. illucens* es una etapa que se caracteriza por la acumulación de cantidades importantes de triacilgliceroles que utiliza como fuente de energía para su transformación en adulto, esto hace que el estudio del valor nutritivo del estado de larva sea el más interesante a la hora de elaborar piensos para la elaboración de dietas de animales.

Harina de *Hermetia illucens* y ventajas de su uso

La preocupación por el impacto medioambiental de los piensos hizo que la búsqueda de piensos alternativos se convirtiera en un desafío mundial. El 98% de los alimentos balanceados que se producen en el mundo para la alimentación animal (cerdos, aves, bovinos y peces), que son la base de la nutrición humana, tienen como fuente principal de proteína la harina de soya y la harina de pescado, los cuales, en su proceso productivo, requieren de insumos altamente contaminantes y generan una fuerte degradación de los recursos naturales (Nguyen *et al.* 2009)**.**

La sobrepoblación mundial ha aumentado el requerimiento de energía; estas necesidades traen otra serie de problemas como crisis energética, cambio climático, extinción de especies, rápido agotamiento de los recursos naturales, y alta producción de desperdicios (Ávila *et al.*2013). Por este motivo, es necesario buscar medidas a nivel mundial que contribuyan a mejorar el medioambiente y bienestar social (Sheldon 2016). Una alternativa para solucionar algunas de estas problemáticas actuales es la valorización de residuos, actividad donde se usan desechos con el fin de ser usados como fuente de alimento de insectos y estos a su vez se usen como fuente de alimento de otros animales.

Los insectos se han abordado como una posible alternativa de alimentación debido a su alto contenido de nutrientes y el impacto ambiental extremadamente bajo de su cría. Los insectos generan pocos gases de efecto invernadero y producción de amoniaco, ayudan a la conversión alimenticia, ayudando a evitar la contaminación del agua y del suelo. Lo insectos pueden ser alimentados con desechos orgánicos, así no compiten por recursos también usados para la alimentación humana.

Actualmente, el cultivo de soya en Honduras es una preocupación para el gobierno y productores, debido a su poca superficie de área destinada para su cultivo, con 355.6 hectáreas de tierra en todo el territorio nacional. Honduras importa 170,000 toneladas por año de harina de soya y cinco toneladas de granos enteros de Estados Unidos. Honduras es incapaz de atender su demanda local de soya, es por esto que tiene una balanza comercial negativa teniendo que importar más del 90% de su demanda.

Esta información no solo corrobora la importancia de incluir harina de *H. illucens* en la alimentación de peces y pollos, sino de más animales como ganado lechero y porcino, esto puede ayudar al rendimiento y costos, ya que, si consideramos que para poder cultivar soya en Honduras tenemos muchas limitantes, la principal es el espacio y también el clima. En el caso de *H. illucens* su cría es un poco más fácil, ya que se pude controlar el clima y con esto su producción.

Según Sheppard *et al*. (2002) y Ramos-Elourdy (2008), los insectos albergan mayor cantidad de ácidos monoinsaturados y poliinsaturados, siendo este recurso valioso como materia prima. Arango-Gutierrez *et al.* (2004) obtuvo como resultado que la harina de *Hermetia* contiene un promedio de 18.73 ± 4.8% de grasas que fue comparado con la harina de pescado que presento un 10.49%.

En lo referente a las larvas, éstas han convertido los nutrientes en valiosas reservas corporales de proteína, lípidos, vitaminas, sales minerales y quitina. En la cría de *H. illucens* tanto los insectos adultos muertos como las exuvias (cubiertas exteriores abandonadas después de la muda) son aprovechables y se pueden incorporar en la línea de producción.

Otros productos que se obtienen de esta variedad de entomocultura, aparte de proteínas aptas para la alimentación animal, en forma de harina, tanto para mascotas como para explotaciones avícolas o piscifactorías, son aceites ricos en ácidos grasos omega-3 y omega-6, y quitina. Los aceites se extraen con procedimientos de extracción en frío y son aptos para la formulación de piensos animales o para su uso como biocarburantes mientras que la quitina, que es el componente fundamental de las cutículas de los insectos, se puede utilizar como biopolímero, con posibles aplicaciones en los campos de la medicina, la cosmética, la farmacia y las biotecnologías.

Según Ramos-Elourdy (2008) los insectos y especialmente el orden Diptera presentan una proporción elevada de elementos como potasio, calcio, hierro y magnesio comparado con materias primas convencionales como es el caso de la harina de pescado. Arango *et al*. (2004) comparo las cenizas de la harina de pescado y *H. illucens*, con resultados muy similares, pero al analizar el calcio y fósforo por separado se observa una menor cantidad en calcio en la harina de pescado y una mayor concentración de fósforo en la harina de la mosca soldado. Arango *et al*. (2004) también encontró que el contenido de las sales minerales y calcio depende del alimento y el hábitat en el cual las larvas de la mosca soldado.

La producción de *H. illucens* tiene una escasa generación de residuos; el material utilizado para la cría de la larva es plástico y reutilizable con labores de mantenimiento tan simples como la limpieza y la desinfección de estos (Segura-Cazorla 2014). Los residuos generados son los excrementos de los insectos se pueden utilizar como abono orgánico para las plantas, ya que tienen muy buenas cualidades nutritivas tanto para cultivos herbáceos como leñosos, a la vez que su aplicación resulta fácil, no requiriendo ningún tratamiento previo a la aplicación gracias su pH y a su baja humedad (Sheppard *et al.* 2002).

Limitantes del uso de harina de *Hermetia illucens*

Los insectos presentan un perfil de aminoácidos esenciales similar a la harina de pescado, y los dípteros son el grupo más similar a la misma, sin embargo, el contenido de ácidos grasos de los

insectos es muy diferente a la harina de pescado. Mientras la harina de pescado es rica en omega-3 (14% EPA, 16% DHA), los insectos prácticamente carecen de ellos, y presentan una mayor proporción de omega-6 y monoinsaturados (Segura-Cazorla 2014).

La harina de larvas de mosca guarera también contiene quitina, un polisacárido presente en el exoesqueleto de los artrópodos. La quitina no es digerible por animales monogástricos (Sanchez *et al.* 2014) y puede afectar negativamente la digestibilidad de las proteínas (Longvah *et al*. 2011) pero puede tener un efecto positivo en el funcionamiento del sistema inmunológico de las aves de corral (Ávila y Benavides 2013). La inclusión de niveles altos de harina de *H. illucens* han resultado en un crecimiento menor en tilapias, esto puede ser influencia de la cantidad de quitina que poseen en prepupas, causando un cambio en la asimilación proteica y de otros nutrientes del insecto (Allan 2004).

Otro factor que afecta la producción de *H. illucens* es la temperatura, esta afecta directamente sobre el crecimiento y desarrollo, también la humedad ambiental puede llegar a generar problemas en desarrollo y ovoposición del insecto (Gullan y Cranston 2005). El desarrollo de la larva se puede observar mediante una curva de rendimiento térmico, donde desde una temperatura mínima su desarrollo aumenta hasta una temperatura óptima, disminuyendo rápidamente a una temperatura máxima (De Marco *et al*. 2015). Las temperaturas mínimas y máximas se denominan umbrales de desarrollo y, cuando los insectos se enfrentan a entornos ambientales más allá de sus umbrales de desarrollo, éste se ralentiza o detiene (Sheppard *et al.* 2002). Las temperaturas óptimas para el ciclo biológico de *H. illucens* se sitúan en el rango de 24 a 29.3 ºC (De Marco *et al*. 2015).

En Honduras, con raras excepciones, hay dos estaciones claramente establecidas y secas, que son el invierno y la primavera, que coinciden con la mitad de noviembre hasta alcanzar los primeros cinco meses del año siguiente. Esto significa que el invierno tropical es seco y a veces muy frío. La temperatura media ronda los 26 °C (Martínez-Osés 2013). Las máximas promedio son de 30 °C, mientras que la mínima es de 22 °C. Con estos datos se logra determinar que mientras en un momento la reproducción de *H. illucens* será muy alta, entre los meses de octubre a febrero las temperaturas tienden a bajar y es aquí donde la reproducción va a disminuir, por tanto, la producción de huevos será menor, afectando en gran medida a la producción de larvas que se tiene como meta producir en un mes.

Producción de 1,000 kg de harina de *Hermetia illucens* al mes en Zamorano

Para alimentación animal, el producto puede comercializarse directamente como harina de insectos enteros, o como proteína insoluble una vez se ha desengrasado. Para tener una tonelada de harina de *H. illucens* se necesita de un horno que elimine el 60% de humedad presente en las larvas, es decir que para poder obtener 0.4 kg de harina, se necesita de 1 kg de larvas frescas.

El número de larvas frescas para poder obtener 1000 kg de harina de *H. illucens* fue definido por la ecuación 1.

$$\frac{\text{1,000 kg de harina de } H.\ illucens\ *\ \text{1 kg de larvas Frescas}}{\text{0.4 kg de harina de } H.\ illucens} = \text{2,500 kg larvas frescas} \quad [1]$$

Para obtener 1,000 kg de harina *H. illucens*, se necesitan 2,500 kg de larvas frescas, con esto la producción meta que se tiene como objetivo al mes, debe aumentar la alimentación y el área de producción. Actualmente el Laboratorio de Entomología está produciendo 45 kg de larvas/ mes, en un área de 20 m^2, al 40% de su capacidad. Haciendo un cálculo utilizando el 100% del laboratorio se puede lograr una producción de 112.5 kg de larvas/mes.

Para determinar el área para la producción meta del laboratorio se definió por la ecuación 2.

$$\frac{\text{2500 kg larvas frescas} * \text{20 m}^2\text{(area de laboratorio de Entomología)}}{\text{112.5 kg(100 \% producción del laboratorio)}} = 445\ m^2 \qquad [2]$$

Para la producción de 2,500 kg de larvas al mes se requiere un área de 445 m^2. Al aumentar la producción se debe realizar la compra de equipo para el secado; el horno de secado de marca FDM - Environment Makers, tiene de capacidad valorada en volumen neto de 58 litros, la temperatura de funcionamiento continua está entre +350 de +10 °C, con una temperatura máxima: + 350 °C, para eliminar la humedad en un tiempo de 10 a 15 minutos con tratamiento de aire para una distribución homogénea del calor. Para la molienda de las larvas se puede usar un Molinillo Grinder con capacidad de 1,000 g, con un tiempo de trabajo de 5-10 minutos a una velocidad de 2,500 revoluciones / minutos; estos dos equipos, o similares, permitirían la obtención del producto final que es la harina de *H. illucens*.

Para el cálculo de la cantidad de alimento que se necesita para producir 2,500 kg de larvas frescas, actualmente el laboratorio tiene como resultado que para 200 kg de larva es necesario 1,000 kg de alimento, este alimento proviene de los desechos que se generan en el Comedor Estudiantil Doris Stone. Se debe tener en cuenta que los cálculos obtenidos, son en base a la población estudiantil completa que tiene el campus, es decir 1,200 estudiantes que llegan a producir 4,350 kg de desperdicios de comida aptos para la alimentación de *H. illucens* al mes.

Para determinar la cantidad de alimento que se necesita para 2,500 larvas frescas se definido en la ecuación 3.

$$\frac{\text{2,500 kg larvas frescas} * \text{1,000 kg de alimento (no contiene humedad)}}{\text{200 Kg larvas frescas}} = \text{12.500 kg Alimento} \qquad [3]$$

Para producir 2,500kg de larvas frescas se necesitan de 12,500 kg de alimento. Al mes el Comedor Doris Stone produce 4, 350kg de residuos óptimos para alimentación de *H. illucens*, esta cantidad no abastece la cantidad de alimento que se necesita si se quiere tener una producción de una tonelada de harina de *H. illucens*. La diferencia de 8,150 kg puede provenir de diversos tipos de residuos orgánicos, estos pueden ir desde heces húmedas de animales a restos diversos de materia orgánica animal o vegetal (St-Hilaire *et al*. 2007).

Hay varias investigaciones en donde se han probado diversos sustratos que logran satisfacer los requerimientos nutricionales de las larvas, entre ellos: hígado de cerdo, estiércol de cerdo, residuos de alimentos, frutas, vegetales (Nguyen *et al.* 2009) y gallinaza (Sheppard *et al*. 1998; Newton *et al.* 1977). La mayoría de las pruebas para el crecimiento de la larva de la mosca *H. illucens*, se han realizado utilizando como sustrato nutritivo estiércol de diferentes animales, granos y desperdicios alimenticios que incluyen carne y productos lácteos (Melo *et al.* 2013). La larva consume estos

residuos orgánicos, convirtiendo los nutrientes del sustrato en biomasa de larva, la cual contiene más del 40% en proteína y más del 30% en grasa; de esta manera se tiene un alto potencial de proteína y un alimento con alta energía para animales (Melo *et al.* 2013; Miranda-Salazar y Quezada-Baez 2019; Alonzo-Ortiz y Hernández-Carias 2019).

La industria cervecera genera una gran cantidad de residuos (Mussatto *et al*. 2013) y se compone de aguas residuales y sólidos. Estos últimos se producen durante el proceso de producción de la cerveza y se clasifican en lúpulos, levaduras, tierra de diatomeas y el bagazo cervecero (Olajire 2012). El bagazo de cebada es considerado una biomasa lignocelulósica conformada por cáscara del grano, pericarpio y fragmentos de endospermo. Su composición química en peso seco es predominantemente de carbohidratos de celulosa y hemicelulosa (17-25%) y no celulósicos (25-35%), proteína (10-30%), lignina (8- 28%); y en menores cantidades por lípidos (< 11%) y cenizas (5%); cada una de estas macromoléculas presentan aplicaciones en casi todos los campos industriales (Olajire 2012).

Durante el proceso de maceración de la cerveza, el endospermo amiláceo de la cebada malteada es sometido a degradación enzimática, resultando en la solubilización del 70-80% del contenido original de cebada en polipéptidos, aminoácidos, carbohidratos fermentables (glucosa, maltosa y maltotriosa) y no fermentables (dextrinas) (Lynch y Hermo 2017). Después de este proceso, el residuo de la cebada es insoluble y se lo denomina bagazo cervecero; este residuo corresponde a aproximadamente el 85% del total de desechos generados en el proceso de elaboración de la cerveza (Mussatto *et al*. 2006) y su volumen de producción es entre 16 a 22 kg por hectolitro de cerveza elaborada (Lynch y Hermo 2017). Considerando los residuos de la fabricación de cerveza, se pueden utilizar desechos de estas en la alimentación de larvas de *H. illucens*, realizando experimentos con desechos de bagazo de cebada.

El volumen de bagazo de cerveza que se genera es aproximadamente de 600 g / L de cerveza elaborada (Lynch y Hermo 2017). Si al día se procesa una cantidad de 30,000 litros de cerveza se obtiene una cantidad de 18,000,000 kilos de bagazo, pudiendo esta cantidad cumplir con la demanda de alimento que tienen las larvas de *H. illucens*.

El Laboratorio de Entomología de la EAP, estima que para la producción de una tonelada de harina de *H. illucens* al mes, con las condiciones actuales, el costo sería de 850 dólares estadounidenses mensuales. Este costo es más elevado que el de harina de soya, con un precio de 480 dólares estadounidenses, pero se debe tener en cuenta que el beneficio de usar esta harina de *H. illucens* aporta mayor contenido proteico aproximadamente un 12% más de grasa 10% más que la harina de soya, por tanto, el precio es considerable a estos dos factores.

4. CONCLUSIONES

- Se determinó que utilizar larvas de *H. illucens* como suplemento proteico para la alimentación de peces y aves es factible, ya que las cantidades de proteína y grasa son similares a la alimentación actual de estos animales.

- El reemplazo de harina de *H. illucens* en la alimentación de peces se debe realizar de forma parcial, por una baja absorción en cantidades elevadas siendo esta una desventaja en peces, sin embargo, no se determinó la misma problemática en aves, es decir que este alimento tuvo un mejor resultado en algunos estudios en donde el peso de las aves resultaba mayor en comparación al alimento convencional.

- La producción de harina de *H. illucens* para una tonelada en zamorano puede ser posible realizando cambios en la cantidad de desechos suministrada para la alimentación larval a una más elevada (12,500 kg mensuales), de esta misma forma utilizar un lugar más amplio de alrededor de 445 m^2 para el tamaño de producción requerido.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio físico con las dietas planteadas para obtener resultados reales y tener una validación física de lo estudiado.

- Realizar un estudio único con harina de larvas de *H. illucens* en diferentes proporciones, para comparar el crecimiento de peces y aves.

- Optar por pruebas experimentales de alimentación animal con adultos de *H. illucens* en diferentes etapas de desarrollo animal.

- Realizar cálculos de estimación de costos para la elaboración del proyecto en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

- Realizar análisis estadísticos para estimar la factibilidad de realizar el proyecto a mayor escala para la producción de 1 tonelada.

- Alimentar larvas de *H. illucens* con sustratos que contengan altos niveles de Omega 3, para realizar análisis bromatológicos de la harina en comparación de larvas alimentadas con desechos del comedor Doris Stone.

6. LITERATURA CITADA

Allan G. 2004. Fish for feed vs fish for food In Fish, aquaculture and food security: Sustaining fish as a food supply / (editado por Brown, AG) Camberra, Australia. ATSE Crawford Fund.; 8(1):4-6. http://ageconsearch.umn.edu/record/124068/files/Alllan2004.pdf doi: 10.22004/ag.econ.124068.

Alonzo-Ortiz G, Hernandez-Carías MG. 2019. *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) como una alternativa para la producción de proteína y degradación de desechos en Honduras. [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 27 p; [consultado el 16 de agosto de 2020].

Arango-Gutierrez GP, Vergara-Ruiz RA, Mejía-Velez H. 2004. Análisis composicional, microbiológico y digestibilidad de la proteína de la harina de larvas de *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae) Antioquia, Colombia. Rev Fac Nac De Agron Medellín; 57(2):2491-2500. https://www.redalyc.org/pdf/1799/Resumenes/Abstract_179914073009_2.pdf

Ávila-Araque CM, Benavides-Huera DR. 2013. Estudio de factibilidad para la elaboración de alimentos balanceados para pollos broiler. [Tesis]. Ecuador: Universidad Central del Ecuador. 178 p; [consultado el 5 de septiembre de 2020]. http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2317/1/T-UCE-0005-403.pdf

Ayoola A A. 2010. Replacement of fishmeal with alternative protein sSource in aquaculture diets. [Tesis]. North Carolina, EEUU.: Faculty of North Carolina State University. 129 p; https://www.researchgate.net/publication/287217532_Replacement_of_Fishmeal_with_Alternative_Protein_Source_in_Aquaculture_Diets.

Banks IJ, Gibson WT, Cameron MM. 2013. Growth rates of black soldier fly larvae fed on fresh human faces and their implication for improving sanitation. Trop Med Int Health. 19(1): 14-22. PMID: 24261901 doi: 10.1111 / tmi.12228

Barroso FG, de Haro C, Sánchez-Muros MJ, Venegas E, Martínez-Sánchez A, Pérez-Bañón C. 2014. The potential of various insect species for use as food for fish. Aquaculture. 422–423:193-201. doi: 10.1016 / j.aquaculture.2013.12.024

Bondari K, Sheppard DC. 1987. Soldier fly, *Hermetia illuce*ns *L*, larvae as feed for channel catfish, *Ictal urus punctatus* (Rafinesque), and blue tilapia, *Oreochromis aureus* (Steindachner). Aquacult. Fish Manage.18 (3): 209-220. doi: 10.1111 / j.1365-2109. 1987.tb00141.x

Bruinsma J. 2009. The Resource Outlook to 2050, in Expert Meeting on “How to Feed the World in 2050”. Conferencia, Expert Meeting on How to Feed the World in 2050, FAO, Roma, Italia. ISBN: 978-92-5-106363-7

Carbajal Á, Sierra JL, López LL, Ruperto M. 2018. Proceso de atención nutricional: Elementos para su implementación y uso por los profesionales de la nutrición y la dietética. Rev Esp Nutr Hum Diet. 24(2): 13-19. doi: http://dx.doi.org/10.14306/renhyd.24.2.961

Carvajal-Proaño JJ. 2020. Evaluación del efecto de dos dosificaciones de un acidificante en pollos Broilers, valorando parámetros zootécnicos y carga de patógenos intestinales (*salmonella spp*., *escherichia coli*), en San José de Minas. [Tesis]. Ecuador: Universidad de las Américas, Quito -Ecuador. 129 p. [consultado el 5 de agosto de 2020] http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/12023

Cobb. 2013. Pollo de engorde: Guía de manejo del pollo de engorde. [sin lugar]. http:// www.pronavicola.com/contenido/manuales/Cobb.pdf.

Cullere M, Tasoniero G, Giaccone V, Miotti-Scapin R, Claeys E, DeSmet S, Dalle-Zotte A. 2016. La mosca guarera como fuente de proteína dietética para las Codornices de engorde: digestibilidad aparente, carga microbiana excreta, elección de alimento, rendimiento, características de la canal y la carne. [Tesis]. Perú: Universidad Católica de Santa María 140 p; [consultado el 25 de agosto de 2020] https://core.ac.uk/download/pdf/287059619.pdf

Cutrignelli MI, Messina M, Tulli F, Randazzi B, Olivotto I, Gasco L, Loponte R, Bovera. 2018. Evaluación de una harina de insectos de la mosca guarera (*Hermetia illucens*) como sustituto de la soya: Morfometría intestinal, actividad enzimática y microbiana en gallinas ponedoras. [Tesis]. Universidad Católica de Santa Maria.140 p. [consultado el 22 de agosto de 2020] https://core.ac.uk/download/pdf/287059688.pdf

De Marco M, Martínez S, Hernández F, Madrid J, Gai F, Rotolo L, Belforti M, Bergero D, Katz H, Dabbou S, Kovitvadhi A, Zoccarato I, Gasco L, Schiavone A. 2015. Valor nutricional de dos harinas de larvas de insectos (*Tenebrio molitor* y *Hermetia illucens*) para pollos de engorde: digestibilidad aparente de nutrientes, digestibilidad ideal aparente de aminoácidos y energía metabolizable aparente. Anim Feed Sci and Technol. 209: 211-218. doi: 10.1016 / j.anifeedsci.2015.08.006

Edgardo R. 2006. Valor nutricional de la Soya. En: Pablo Criscaut, editor. Soya: Propiedades nutricionales y su impacto en la salud. 1ª ed. Buenos Aires, Argentina: Grupo Q. 32p

[FEDNA] Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. 2010. Composición y valor nutritivo de los alimentos para la fabricación de piensos compuestos. http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/haba-de-sojacocida-o-extrusionada

Gasco L, Gai F, Maricchiolo G, Genovese L, Ragonese S, Bottari T, Caruso G. 2018. Alimentos para el sector de la acuicultura: situación actual y fuentes alternativas. 1ª ed. Sprin Briefs. in Mol Sci. Suiza. [consultado el 5 de septiembre de 2020] http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-77941-6_1.SBN 3319779400

Gullan PJ, Cranston PS. 2005. Los Insectos: Un Esquema De Entomología. Ed. Bltda. (EEUU). 511p. [consultado el 7 de julio. de 2020] ISBN: 978-1-444-31767-1. doi:10.1046 / j.1365-2028.2001.0270e.x. ID: 53648995

Hale OM. 1973. Larvas secas de *Hermetia illucens* (diptera: stratiomyidae) como aditivo alimentario para aves de corral. Georgia Entomol. Soco. 8 (1): 16-20. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2027-42972019000200073&lng=en&nrm=iso

Li Y, Kortner TM, Chikwati EM, Belghit I, Lock EJ, Krogdahl A. 2020. Total replacement of fish meal with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. 520 (1): 50-64. [consultado 15 April 2020]. 734967. doi: 10.1016/j.aquaculture.2020.734967

Longvah T, Mangthya K, Ramulu P. 2011.Evaluación de la composición de nutrientes y letalidad de las proteínas de las prepupas y pupas del gusano de seda del eri (*Samia cynthia ricini*). Food Chem. 128(2): 400 – 403. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.03.041

López F. 2002. Seminario "Cultivo Industrial de Tilapia". Quito-Ecuador. 2002. 1ª ed.. 72p. [consultado el 02 de agosto de 2020] https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5626/1/AC-ESPE-IASA%20II-002459.pdf

Loponte S, Nizza F, Bovera G, Parisi S, Piccolo G, Iaconisi S. 2017. Efecto de la harina de larvas de *Tenebrio molitor* sobre el rendimiento del crecimiento, la digestibilidad de los nutrientes in vivo, los índices somáticos y comercializables de la dorada (*Sparus aurata*). Conicyt. 226 (20): 12 – 20. doi:10.1016

Lynch V, Hermo D. 2017. De la producción al uso: tecnología de hojas en el sitio cueva maripe. CONICET, División Arqueología, (UNLP). Buenos Aires, Argentina -Santa Cruz, Argentina. 49(2):1-9. http://dx.doi.org/10.4067/S0717-73562017005000010

Maquart PO, Wallace PA, Nyameasem JK, Adu-Aboagye GA, Affedzie-Obresi S, Nkegbe EK, Karbo N, Murray F, Leschen W. 2019. Impact of black soldier fly larval meal on growth performance, apparent digestibility, hematological and blood chemistry indices of guinea fowl starter keets under tropical conditions. Trop Anim. Health Prod.49 (1): 1163–1169. PMID: 2855059 DOI: 10.1007 / s11250-017-1312-x

Martínez-Osés X .2013. Descripción, análisis y consecuencia que tuvo en la navegación de la época, el óptimo climático en la edad media. [Tesis]. España: Universidad Politecnica de Catalunya. 115 p; [consultado el 12 de agosto De 2020] https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/19184/DESCRIPCI%C3%93N,%20AN%C3%81LISIS%20Y%20CONSECUENCIA%20QUE%20TUVO%20EN%20LA%20NAVEGACI%C3%93N%20DE%20LA%20%C3%89POCA,%20EL%20%C3%93PTIMO%20CLIM%C3%81TICO%20E.pdf

Maurer HP, Schenkel H, Schipprack W, Bach-Knudsen KE, Schollenberger M, Laux M, Eklund M, Siegert W, Mosenthin R. 2016. Variación en la composición química y características físicas de los granos de cereales de diferentes genotipos. 70(2): 87-107. doi: 10.1080 / 1745039X.2015.1133111.

Melo FP, Pinto SR, Brancalión PS, Pedro S. 2013.Priority setting for scaling-up tropical forest restoration projects: Early lessons from the Atlantic Forest Restoration. Pact Environ. Sci Technol. 33(1): 395-404. doi: 10.1016/j.envsci.2013.07.013

Miranda-Salazar M, Quezada-Baez TE. 2019. Evaluación de la cantidad de alimento, bioconversión, reducción de residuos, y secado, en la producción de larvas de *Hermetia illucens L*. (Diptera: Stratiomyidae) [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 27 p; [consultado el 12 de septiembre de 2020].

Murillo-Martín L, Rivera-Alejo J, Castizo-Robles R. 2018. Cambio Climático Y Desarrollo Sostenible. [internet] Resumen ejecutivo. Informe La Rábida, Huelva. 218p. [consultado el 12 de agosto de 2020] http://www.huelvaamerica.es/es/informe-la-rabida

Mussatto SI, Dragone G, Roberto IC. 2006. Brewers' spent grain: Generation, characteristics and potential applications. J Cereal Sci. 43(1): 1– 14. doi: 10.1016/j.jcs.2005.06.001

Mussatto SI, Moncada J, Roberto IC, Cardona CA. 2013. Techno-economic analysis for brewer's spent grains use on a biorefinery concept: The Brazilian case. Bioresour. 148(1): 302–310. doi: 10.1016/j.biortech.2013.08.046

Newton GL, Booram CV, Barker RW, Hale OM. 1977. Dried Hermetia illucens larvae meal as a supplement for swine. J. Anim Sci. 44(1): 395-400. doi: 10.2527/jas1977.443395x

Nguyen TN, Davis DA, Saoud IP. 2009. Evaluation alternative protein sources to replace fish meal in practical diets for juvenile tilapia, *Oreochromis spp.* J World Aquac Soc.40(1): 113-121. doi: 10.1111 / j.1749-7345.2008.00230.x

Ñahuis-Calle H. 2018. Utilización de harina de insectos en el distrito de Echarate, en la alimentación de pollos-Echarate la convención. [Tesis] Cusco, Perú: Facultad de Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Zootecnia. 119 p; [consultado el 12de septiembre de 2020] http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/UNSAAC/3732

Ogunji JO, Kloas W, Wirth M, Neumann N, Pietsch C. 2008. Effect of housefly maggot meal (magmeal) diets on the performance, concentration of plasma glucose, cortisol and blood characteristics of *Oreochromis niloticus* fingerlings. J Animal Physiol Anim Nutr.92 (1): 511-518. doi: 10.1111 / j.1439-0396.2007.00745.x

Ogunji, JO, Wirth M, Nimptsch J, Wiegand C, Schulz C. 2007. Evaluation of the influence of housefly maggot meal (magmeal) diets on catalase, glutathione S-transferase and glycogen concentration in the liver of *Oreochromis niloticus* fingerling. Comparative Biochemistry and Physiology. Part A Europe PMC. 147 (4): 942-947. doi: 10.1016 / j.cbpa.2007.02.028

Olajire AA. 2012.The brewing industry and environmental challenges. JO- Journal of Cleaner Production. [Tesis] Universidad Tecnológica Ladoke Akintola. 20 p; [consultado el 13 de agosto de 2020] doi: 10.1016/j.jclepro.2012.03.003

Olivo-Gutiérrez M. 2018. Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón. TecNM. 22 (2):14-18. ID Thomson: P-1881-2018, CVU CONACYT ID: 783367

Oonincx DG, Van-Huis A, Van-Loon JJ. 2015. Nutrient utilization by black soldier flies fed with chicken, pig, or cow manure. ISSN. 1(2):131–139. doi: 10.3920/JIFF2014.0023.

Orozco-Campo R, Meleán R, Romero-Medina A. 2004. Costos de producción en la cría de pollos de engorde. Rev Venez. de Gerencia. 9(28):1-27. https://www.redalyc.org/pdf/290/29092806.pdf

Pineda JR. 2019. Larvas de la mosca guarera, óptimas para alimentar tilapias [Tesis] Universidad Nacional de Colombia. UNAL. 18 p [consultado el 19 de agosto de 2020] https://nutricionanimal.info/potencial-de-larvas-de-mosca-soldado-negra-en-la-nutricion-animal/

Poot- López GR, Gasca-Leyva E, Olvera Novoa LM. 2012. Research Lat Am J Aqua; 40(4): 835-846. [consultado el 7 de julio. de 2020] DOI: 10.3856/vol40-issue4-fulltext-2

Poot-Delgado CA, Novelo-Salazar RA, Hernández-Hernández MF. 2009. Cultivo integral de la Tilapia. 1ª Ed. Campeche México: EAE;[Consultado el 1 de abril del 2019] ISBN 10: 3847366742 http://www.scribd.com/doc/20458321/ABC-en-El-Cultivo-Integral-de-LaTilapia

Ramos-Elourdy J. 2008. Energy supplied by edible insects from Mexico and their nutritional and ecological importance. Ecol Food Nutr. 47(1): 280-297. https://doi.org/10.1080/03670240701805074

Sánchez J, De la Higuera M, Muñoz E, Valera G. 2013. Comp. Biochem. Physiol. Acuicultura marina: Fundamentos biológicos y tecnología de la producción. 1ª Ed. Barcelona Edit Castelló Orvay. 16p. doi: 84 475 0477 8. SBN-13: 978-8447504596

Sánchez-Muros MJ, Barroso FG, Manzano-Agugliaro F. 2014.Harina de insectos como fuente renovable de alimento para la alimentación animal: una revisión. [Tesis] Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza.96p; [consultado el 5 de agosto de 2020]. https://digital.csic.es/bitstream/10261/191764/1/Tesis%20de%20Mara.pdf

Schiavone A, Cullere M, De Marco M, Meneguz M, Biasato I, Bergagna S, Dezzutto D, Gai F, Dabbou S, Gasco L, Dalle-Zotte A. 2017. Reemplazo parcial o total de aceite de soya por grasa de larvas de soldado negro (*Hermetia illucens L.*) en dietas de pollos de engorde: efecto sobre el rendimiento de crecimiento, elección de alimento, rasgos sanguíneos,

características de la canal y calidad de la carne. SNBA.12(10). 2032-2039. http://dx.doi.org/10.1017/S1751731117003743

Salguero S, Lescano D. 2016. Fuentes de proteínas alternativas a la soja en la alimentación de ganado porcino. Biofarma S.A .85(2):20-28. https://doi.org/10.1111/1365-2656.1248

Segura-Cazorla M. 2014. Composición bromatológica de *Hermetia illucens*. [Tesis] Universidad de Almería. 28P. [consultado el 19 de agosto de 2020] http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/10141/AGsaaljm.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sheppard C, Tomberlin JK, Newton LG. 1998. Use of soldier fly larvae to reduce manure, control house flies, and produce high quality feedstuff. In: J. P. Blake and P. H. Patterson (Ed.). Natl Poult Waste Manage.. Symp Springdale. 7(1):39-51. https://www.researchgate.net/publication/237345975_The_black_soldier_fly_Hermetia_illucens_as_a_manure_managementresource_recovery_tool

Sheppard DC, Tomberlin JK, Joyce JA, Kiser BC, Summer SM. 2002. Métodos de crianza para la mosca guarera (Diptera: Stratiomyidae). J Med Entomol. 39(4): 695–698. https://doi.org/10.1603/0022-2585-39.4.695

Sheldon BC, Childs DZ, Rees M. 2016. La evolución de los rasgos lábiles en poblaciones estructuradas por sexo y edad, Demography Beyond the Population. Rev Br Ecological Soc. 85(1): 329–342 https://doi.org/10.1111/1365-2656.12483

Stanley-Samuelson DW, Jurenka RA, Cripps C, Blomquist GJ, Renobales M. 1988. Fatty acids in insects: Composition, metabolism, and biological significance. Arch Insect Biochem Physiol. 9(1): 25-30. https://doi.org/10.1002/arch.940090102

Stamer A, Wesselss S, Neidigk R, Hoerstgen-Schwark S. 2014.Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) larvae-meal as an example for a new feed ingredients' class in aquaculture diets. 4ª Conferencia Científica ISOFAR. Building Organic. Bridges'Congreso Mundial Orgánico 2014. Turquía (eprint ID 24223).

St-Hilaire S, Sheppard C, Tomberlin JK, Irving S, Newton L, McGuire MA, Mosley EE, Hardy RW, Sealey W. 2007. Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. J World Aquac Soc. 38(1): 59-67. https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2006.00073.x

Valenzuela R, Tapia G, González M, Valenzuela A. 2011. Ácidos Grasos Omega-3 (Epa Y Dha) Y Su Aplicación En Diversas Situaciones Clínicas. Rev Chile. 38(3): 320-330. ISSN 0717-7518. http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182011000300011

Veloz-Maggiolo M. 2013. Literatura y Arqueología a través de La mosca soldado. Santo Domingo, República Dominicana.198 (1): 50-66. ISBN: 9789945074963