



Harina de larva de *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) como ingrediente proteico de reemplazo parcial de harina de soja en la alimentación de *Cavia porcellus* (Cuy): efecto en el consumo, ganancia de peso y conversión alimenticia

Hermetia illucens larva (Diptera: Stratiomyidae) meal as a protein ingredient for partial replacement of soybean meal in the feed of *Cavia porcellus* (Guinea pig): effect on the consumption, weight gain and feed conversion

J. Reátegui^{1,*} ; X. Barriga¹ ; A. Obando¹ ; G. Moscoso² ; P. Manrique¹ ; I. Salazar² 

¹ Universidad Católica de Santa María, Urb. San José s/n. Yanahuara. Arequipa. Peru.

² Instituto de Investigación y Desarrollo para el Sur. Calle Leticia N°. 100 Carmen Alto. Arequipa. Peru.

Received May 10, 2020. Accepted September 25, 2020.

Resumen

Una vía para abordar la seguridad alimentaria y producción de piensos es a través de la cría de insectos que exhiben una pequeña huella ecológica, tasas elevadas de crecimiento y reproducción, niveles altos de proteínas, grasas y minerales. Cuarenta cuyes en crecimiento se alimentaron para evaluar los efectos de dietas isonitrogenadas e isoenergéticas en las que se sustituyeron diferentes proporciones de harina de soja (0%, 16%, 32% y 50%) con Harina de *Hermetia illucens* evaluando consumo de alimento/día (g/día), consumo total de alimento (g), peso corporal final (g), aumento de peso total (g) e índice de conversión alimenticia. El ensayo se condujo en un Análisis de Varianza de medidas repetidas con corrección de Greenhouse-Geisser. La Proteína Cruda en harina de larva de *Hermetia illucens* fue de $42,16 \pm 3,67\%$ (materia seca), en reemplazo de harina de soja no mostró diferencia estadísticamente significativa entre la ganancia de peso diaria y el peso corporal. El reemplazo de 32% presentó un mayor consumo diario: $49,05 \pm 0,69$ g, consumo total: $1717 \pm 24,32$ g y conversión alimenticia $3,22 \pm 0,07$. Incorporar harina de larva de *Hermetia illucens* al 16% del requerimiento proteico en alimentación de *Cavia porcellus* mostró una ingesta de alimento por día de $34,57 \pm 0,56$ y mejor conversión alimenticia, $2,50 \pm 0,04$. La harina de larva de *Hermetia illucens* es un excelente sustituto proteico de alta calidad que satisface los requerimientos nutricionales con menor cantidad de alimento en cuyes. Estos hallazgos brindan información sobre el potencial de la harina de *Hermetia illucens* como una fuente alternativa adecuada de harina de soja para la alimentación de cuyes.

Palabras clave: Cobayo; índices productivos; mosca soldado negra; proteína animal; alimentación animal; sustituto proteico.

Abstract

One way to address food safety and feed production is through the rearing of insects that exhibit a small ecological footprint, high growth and reproduction rates, high levels of protein, fat and minerals. Forty growing guinea pigs were fed to evaluate the effects of isonitrogenated and isoenergetic diets in which different proportions of soybean meal (0%, 16%, 32% and 50%) were replaced with *Hermetia illucens* meal, evaluating feed consumption/day (g/day), total feed intake (g), final body weight (g), total weight gain (g) and feed conversion index. The trial was conducted in a repeated measures Analysis of Variance with Greenhouse-Geisser correction. Crude Protein in *Hermetia illucens* larva meal was $42.16 \pm 3.67\%$ (dry matter), replacing soybean meal did not show statistically significant difference between daily weight gain and body weight. The 32% replacement presented a higher daily consumption: 49.05 ± 0.69 g, total consumption: 1717 ± 24.32 g and food conversion: 3.22 ± 0.07 . Incorporating *Hermetia illucens* larva meal at 16% of the protein requirement in *Cavia porcellus* feeding showed a feed intake per day of 34.57 ± 0.56 and better feed conversion, 2.50 ± 0.04 . *Hermetia illucens* larval meal is an excellent high-quality protein substitute that satisfies the nutritional requirements with less feed in guinea pigs. These findings provide information on the potential of *Hermetia illucens* meal as a suitable alternative source of soybean meal for guinea pig feed.

Keywords: Guinea pig; productive indexes; black soldier fly; animal protein; animal feed; protein substitute.

Cite this article:

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

* Corresponding author
E-mail: jreategui@ucsm.edu.pe (J. Reátegui).

1. Introducción

Debido al aumento de los precios y los suministros limitados de harina de pescado, aceite de pescado, precios altos de soja y otras fuentes proteicas a nivel mundial, existe una necesidad urgente de que la industria de piensos investigue la posibilidad de utilizar fuentes alternativas de proteínas y grasas en la dieta (Hu *et al.*, 2020; Cashion *et al.*, 2017; Nesic y Zagon, 2019; Sogari *et al.*, 2019). Los insectos son una buena fuente de proteínas, lípidos, vitaminas y minerales, por lo que el uso de harina de insectos para reemplazar las fuentes tradicionales de proteína se está volviendo cada vez más común en la industria de alimentos para la acuicultura y producción animal en muchos países (Henry *et al.*, 2015; Tran *et al.*, 2015). Estos insectos exhiben una pequeña huella ecológica y una alta eficiencia de conversión alimenticia; además, los insectos pueden crecer rápidamente y reproducirse fácilmente en desechos orgánicos, estiércol de baja calidad, desechos de frutas entre otros (Tran *et al.*, 2015; Joint y Word Health Organization, 1991; Wang y Shelomi, 2017). Las larvas de *Hermetia illucens* (mosca soldado negra) son ricas en proteínas (42,1% y 56,9% en harina desgrasada) y lípidos (19-37%) exhiben un buen perfil de aminoácidos y ácidos grasos adecuados para su inclusión en piensos (Hu *et al.*, 2020; Renna *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2016; Makkar *et al.*, 2014) e incluye 4,8 a 5,11% de calcio y 0,6% fósforo (Segura-Cazorla, 2015; Hu *et al.*, 2020). Los perfiles de ácidos grasos de las larvas *Hermetia illucens* muestran ácidos grasos poliinsaturados y ácidos grasos monoinsaturados mucho más bajos que aceite de soja y pescado, pero niveles mucho más altos de ácidos grasos saturados, especialmente el ácido láurico (C12:0) (Renna *et al.*, 2017). El contenido de ácido linoleico (18:2n-6; concentración (3,6% - 4,5%) es mucho mayor que la del ácido α -linolénico (18:3n-3; 0,08% - 0,74%) (Tran *et al.*, 2015). El cobayo (*Cavia porcellus*) cuy o cuye es un pequeño roedor nativo de la zona andina de Perú, donde fueron domesticados para ser usados especialmente en la alimentación humana (Escobal *et al.*, 2020). Son prolíficos y fáciles de mantener; su reproducción parece ser una solución rápida que se puede utilizar para compensar las deficiencias de proteínas en las zonas rurales (Faihun *et al.*, 2020; Escobal *et al.*, 2020; Handlos, 2018). El establecimiento de la ganadería de ciclo corto está demostrando ser una de las soluciones sostenibles para abordar los problemas de la inseguridad alimentaria (Faihun *et al.*, 2020; FAO/WHO, 1991; Laiño *et al.*, 2009).

La alimentación del cuy es principalmente en base a desechos de cocina y pasto como suplemento; por su parte, en el caso de crianzas semicomerciales se emplea forraje verde tales como la alfalfa, maíz y la avena forrajera, los cuales representan altos costos de producción. Los criadores altoandinos y ubicados en zonas rurales con bajo poder adquisitivo no tienen noción de suplementación, y que le permite compensar los déficits en principios nutritivos, intensificar la producción para beneficiarse de la prolificidad, la precocidad y la resistencia de estos animales (Miéguoué *et al.*, 2018; Escobal *et al.*, 2020; Bindelle y Picron, 2012). La solución más razonable que puede adoptar un gran número de productores de cuyes de bajos ingresos es el uso de ingredientes proteicos no convencionales, como especies forrajeras con buen valor nutricional (Faihun *et al.*, 2020; Dahouda *et al.*, 2013; Miéguoué *et al.*, 2018) y concentrados a partir de harina de insectos.

El Perú es el primer país productor y consumidor de carne de cuy a nivel mundial, por lo que se vienen realizando diversas investigaciones en el sistema de producción de carne de cuy (Escobal *et al.*, 2020; Yoplac *et al.*, 2017), sin embargo, actualmente no se muestran reportes sobre la incorporación de harina de larvas de *Hermetia illucens* como insumo proteico en la alimentación de cuyes y que pueda sustituir a los insumos proteicos tradicionales como son harina de pescado y harina de soja, por ello el objetivo de la investigación fue determinar el efecto de diferentes concentraciones de harina de larva de *Hermetia illucens* y su consecuencia sobre consumo, ganancia de peso y conversión alimenticia de *Cavia porcellus* en etapa de crecimiento.

2. Materiales y métodos

El ensayo se desarrolló en el insectario piloto de la Universidad Católica de Santa María ubicada en el Fundo "La Católica" distrito Pedregal, provincia de Caylloma, región Arequipa. Geográficamente ubicada en Latitud Sur 16° 20' 08,35"; Longitud Oeste 72° 09' 08,56" a una altitud de 1498 m.s.m.m (MAP, 805. Pampa de Majes).

La harina de larva de *Hermetia illucens* se obtuvo del estadio larval cinco y pre pupa, fue caracterizada fisicoquímicamente por contenido de Materia Seca Total (MST), Humedad, Proteína Cruda (PC), Extracto Etéreo (EE), Cenizas (CZS) y Fibra Cruda (FC). Las muestras de harina se analizaron de acuerdo con el método AOAC International (AOAC, 1990). La humedad se midió secando a un peso constante a 105 °C durante 6 horas o hasta que se alcanzó un peso

constante. La proteína bruta (N×6,25) se analizó por el método Kjeldahl después de la digestión ácida con un autodigestor (FOSS, Tecator, Hoganos, Suecia). El lípido bruto se determinó mediante el método de extracción con éter utilizando el sistema Soxtec System HT (Soxtec System HT6, Tecator, Suecia). El contenido de ceniza se determinó en un horno de mufla operado a 550 °C durante 6 h. Las pruebas de FDN, FDA, LDA se realizaron según las técnicas validadas de Van Soest y Roberston. (Technology, 2005; Van Soest, Robertson y Lewis, 1991). Con base a la caracterización fisicoquímica de la harina de *Hermetia illucens* se formularon cuatro dietas alimenticias para *Cavia porcellus* destetados en crecimiento, mediante el software pecuario ZLact. El T0 correspondió al tratamiento control sin inclusión de harina de *Hermetia illucens*, tres tratamientos incluyeron harina de *Hermetia illucens* en un 16%(T1), 32%(T2) y 50%(T3) del requerimiento proteico total en reemplazo de harina de soja, cumpliendo todas las dietas con el requerimiento nutricional del 18% de proteína total, dietas isonitrogenadas e isoenergéticas.

Se realizó la crianza de 40 animales debidamente identificados, las dietas alimenticias fueron proporcionadas a partir del día 15 de nacidos hasta el día 50 en base a un plan alimenticio programado en la granja. Los cuatro grupos fueron sometidos a condiciones homogéneas de ambiente. El plan higiénico incluyó la limpieza y desinfección de pozas y equipos, el control de endo y ectoparásitos según el programa preventivo de la granja al igual que el plan sanitario.

El ensayo se condujo mediante un análisis de varianza de medidas repetidas con corrección de Greenhouse-Geisser; en el análisis estadístico de los datos se consideró un esquema de medidas repetidas calculándose medidas de tendencia central y dispersión. Si hubo una prueba F significativa, las comparaciones posteriores de las medias de tratamiento se determinaron usando la prueba de rango múltiple de Duncan. Las diferencias se consideraron significativas en o por debajo del nivel de probabilidad de 0,05. Los indicadores productivos calculados fueron: consumo de alimento/día (g/día), consumo total de alimento (g), peso corporal final (g), aumento de peso total (g), e índice de conversión alimenticia.

3. Resultados y discusión

La composición de la harina de larva de *Hermetia illucens* se muestra en la **Tabla 1**, se determinó un contenido promedio de Proteína Cruda de 42,16 ± 3,67 (%MS) y Extracto Etéreo de 19,38 ± 3,45 (%MS), esto hace que

la harina de larva de *Hermetia illucens* pueda ser considerada como un ingrediente con un buen contenido calórico y energético.

Tabla 1
Caracterización fisicoquímica de harina de larva de *Hermetia illucens*

Parámetro nutricional	Media ± DS
Humedad (%)	5,94 ± 1,179
Materia Seca (%)	94,21 ± 1,22
Proteína Cruda (%MS)	42,16 ± 3,67
Extracto Etéreo (%MS)	19,38 ± 3,45
Ceniza (%MS)	9,78 ± 3,63
Fibra Cruda (%MS)	6,60 ± 1,06
Extracto Libre de Nitrógeno (%MS)	25,72 ± 4,76

Un contenido de proteína cruda de 42,16 ± 3,67% se encuentra dentro del rango reportado por otros autores que va entre el 42,00% a 45,00%MS y es cercano al contenido de la soja, 41,10%, y similar al encontrado en Beetles, 42,20%, pero superior que en *Eristalis tenax*, 40,90%, *Tenebrio molitor*, 38,30% y Grillos, 32,60% (Adámková et al., 2017; Hu et al., 2020; Cashion et al., 2017; Kuntadi y Maharani, 2018; Nesic y Zagon, 2019; Sogari et al., 2019; Nyakeri et al., 2017; Zielińska et al., 2015), así mismo el extracto etéreo fue de 19,38 ± 3,45%MS se ha mostrado evidencia que éste parámetro puede presentar variaciones dependiendo del sustrato sobre el cual se desarrolla el cultivo de *Hermetia illucens* (Nyakeri et al., 2017); sin embargo diferentes autores reportan un rango aceptable entre el 18,10% a 35,00%MS (Nyakeri et al., 2017; Weththasinghe et al., 2020).

La ración alimenticia se formuló según los requerimientos nutricionales de *Cavia porcellus* en la etapa de crecimiento - engorde, se utilizaron los mismos insumos en su formulación para los 4 tratamientos (**Tabla 2**) y se reemplazó los insumos proteicos y un determinado porcentaje de grasa por harina de larva de *Hermetia illucens*, en 4,01% de la dieta total y un 16% de la fuente proteica requerida para T1, 8,76% de la dieta total representando el 32% de la fuente de proteína para T2 y 14,90% de la dieta total representado el 50% de reemplazo del requerimiento proteico para T3, T0 no empleó harina de *Hermetia illucens*.

La inclusión de la harina de *Hermetia illucens* en cuatro dietas T0(0%), T1(16%), T2(32%) y T3(50%) del requerimiento proteico total en reemplazo de soja para la producción de cuyes raza Perú brindó pesos finales de 885,40 ± 74,02 g (T0), 904,20 ± 43,41 g (T1), 900,80 ± 110,45 g (T2) y 926,20 ± 72,27 g (T3), se puede entender que existió crecimiento en todos los *Cavia porcellus* a través del tiempo en los cuatro tratamientos, se muestran los resultados en la **Tabla 3**.

Tabla 2

Insumos en kg y porcentaje (%) utilizados en la formulación de las dietas

Insumos	T0	T1	T2	T3
Harina de maíz	11,32 (45,27%)	11,43 (45,72%)	12,10 (48,41%)	13,19 (52,74%)
Afrecho de trigo	6,52 (26,09%)	6,56 (26,23%)	5,42 (21,69%)	3,49 (13,96%)
Harina integral de soja	2,50 (9,99%)	2,19 (8,74%)	1,89 (7,54%)	1,29 (6,36%)
Torta de soja	3,46 (13,84%)	2,97 (11,86%)	2,61 (10,44%)	2,19 (8,76%)
Aceite de soja	0,263 (1,05%)	0,061 (0,22%)	0,000 (0,0%)	0,000 (0,0%)
Harina de larva de <i>H. illucens</i>	0,000 (0,0%)	1,003 (4,010%)	2,192 (8,76%)	3,727 (14,90%)
Carbonato de calcio	0,095 (0,38%)	0,000 (0,0%)	0,000 (0,0%)	0,000 (0,0%)
Sal	0,138 (0,55%)	0,138 (0,55%)	0,138 (0,55%)	0,138 (0,55%)
Fosfato monocalcico	0,260 (1,03%)	0,236 (0,94%)	0,250 (1,00%)	0,286 (1,14%)
Actigen	0,020 (0,08%)	0,020 (0,08%)	0,020 (0,08%)	0,020 (0,08%)
Cloruro de colina 60%	0,030 (0,12%)	0,030 (0,12%)	0,030 (0,12%)	0,030 (0,12%)
DL- metionina	0,126 (0,50%)	0,125 (0,49%)	0,124 (0,49%)	0,124 (0,49%)
Gustor	0,013 (0,05%)	0,013 (0,05%)	0,013 (0,05%)	0,013 (0,05%)
L- lisina	0,058 (0,20%)	0,040 (0,15%)	0,015 (0,05%)	0,000 (0,0%)
Lactic dry	0,013 (0,05%)	0,013 (0,05%)	0,013 (0,05%)	0,013 (0,05%)
Myco- AD A-Z	0,028 (0,11%)	0,028 (0,11%)	0,028 (0,11%)	0,028 (0,11%)
Prime EQH 101	0,120 (0,48%)	0,120 (0,48%)	0,120 (0,48%)	0,120 (0,48%)
Procreatin	0,028 (0,11%)	0,028 (0,11%)	0,028 (0,11%)	0,028 (0,11%)
Quantum blue	0,009 (0,03%)	0,009 (0,03%)	0,009 (0,03%)	0,009 (0,03%)
Triptófano	0,000 (0,0%)	0,000 (0,0%)	0,002 (0,00%)	0,010 (0,04%)
TOTAL	25 (100,00%)	25 (100,00%)	25 (100,00%)	25 (100,00%)

Tabla 3Peso (g) de *Cavia porcellus* para cada tratamiento a través de los días

Días	T0	T1	T2	T3
D15	423,1 ± 56,80aA	420,2 ± 36,19aA	443,9 ± 45,73aA	388,4 ± 44,02aA
D22	529,4 ± 70,59bA	517,4 ± 40,04bA	525,2 ± 58,57bA	503,6 ± 48,71bA
D29	602,9 ± 84,98cA	596,0 ± 55,95cA	603,4 ± 77,14bA	593,1 ± 51,87cA
D36	744,3 ± 82,44dA	715,5 ± 81,26dA	740,2 ± 101,59cA	751,0 ± 61,13dA
D43	817,6 ± 84,81eA	794,3 ± 82,32eA	791,7 ± 117,99cA	823,0 ± 58,73eA
D50	885,4 ± 74,02eA	904,2 ± 43,41fA	900,8 ± 110,45dA	926,2 ± 72,27fA

1 Letras minúsculas similares en la misma columna indican que no hay diferencia significativa entre días a un $\alpha = 0,05$.2 Letras mayúsculas similares en la misma fila indican que no hay diferencias significativas entre los tratamientos $\alpha = 0,05$.

3 Media ± DE.

Para la evaluación de peso corporal (g) se realizó un análisis de varianza de medidas repetidas empleando la corrección de Greenhouse-Geiser puesto que se incumplió el supuesto de esfericidad; se identificó al factor día como significativo sobre el peso de los cuyes ($p < 0,000$) y a la interacción día por tratamiento como no significativa ($p = 0,080$), el análisis de varianza realizado para identificar diferencias entre el peso obtenido por los tratamientos no mostró diferencias estadísticamente significativas a un 95% de confianza ($p = 0,999$).

La inclusión de harina de larva de *Hermetia illucens* en las dietas no genera cambios significativos para peso corporal respecto al tratamiento control, los valores se encontraron dentro del rango establecido por otros autores (Yoplac et al., 2017; Escobal et al., 2020; Solari, 2010), INIA (Kajjak, 2015) reporta que los cuyes raza Perú presentan un peso de 1046 g a las ocho semanas y a las 7 semanas un peso aproximado de 950 g según su curva de crecimiento. El tratamiento control evidenció un peso menor a lo señalado por INIA (Kajjak, 2015) quien menciona que en cuyes mejorados y en buenas condiciones de manejo, alimentación y sanidad, se obtienen pesos que van de 0,750 a 0,850 kg entre 9 y 10 semanas de edad (Kajjak, 2015; Solari, 2010).

Evaluar producción, solo en términos de peso podría conllevar a error puesto que el peso final dependerá del peso inicial del animal el cual, a pesar de ser la misma especie y raza, presentan diferencias inherentes por ser organismos vivos. Por ello la ganancia de peso por semana puede revelar el efecto de las diferentes dietas sobre el desarrollo de *Cavia porcellus*. En la Tabla 4 se muestra los promedios de ganancia de peso por semana para cada tratamiento, se observó que T3 mostró una mayor ganancia de peso entre los días 36 y 50 de crecimiento (Semana 4 = 43,46 ± 3,33 g y Semana 5 = 53,78 ± 5,56 g) respecto a los demás tratamientos, incluso fue mayor al tratamiento control el cual ganó 39,45 ± 5,00 g en la semana 4 (días 36 - 43) y 46,21 ± 4,80 g en la semana 5 (días 43 - 50).

Realizado un análisis de varianza de medidas repetidas con corrección de Greenhouse-Geisser, la ganancia de peso a través de las semanas presentó diferencias significativas ($p = 0,000$) sin embargo, la interacción semana por tratamiento no fue significativa para la ganancia de peso de *Cavia porcellus* ($p = 0,199$). El análisis de varianza para efectos entre tratamientos mostró diferencias significativas ($p = 0,04$) mostrando mayor ganancia.

Tabla 4Ganancia de peso (g) de *Cavia porcellus* por semana

Semana	Días	T0	T1	T2	T3
S1	15 - 22	106,3 ± 26,1aAB	100,0 ± 20,1aAB	81,3 ± 33,1aA	115,2 ± 11,4aB
S2	22 - 29	179,8 ± 47,2bA	185,0 ± 45,9aA	159,5 ± 53,4aA	204,7 ± 14,8bA
S3	29 - 36	321,2 ± 57,0cA	310,1 ± 81,3bA	296,3 ± 78,1bA	362,6 ± 27,6cA
S4	36 - 43	394,5 ± 50,0dAB	386,8 ± 89,5bAB	347,8 ± 95,2bA	434,6 ± 33,3dB
S5	43 - 50	462,1 ± 48,0eA	484,1 ± 59,6cAB	456,9 ± 77,5cA	537,8 ± 55,6eB

1 Letras minúsculas similares en la misma columna indican que no hay diferencia significativa entre las semanas a un $\alpha = 0,05$.2 Letras mayúsculas similares en la misma fila indican que no hay diferencias significativas entre los tratamientos a un $\alpha = 0,05$.

3 Media ± DE.

El aumento de peso total (g) también evidenció diferencias estadísticamente significativas ($p = 0,0224$) siendo el T3 el que presentó una ganancia total de $537,8 \pm 55,6$ g superiores a los demás tratamientos; la ganancia diaria se encontró entre 13,20 y 15,36 g; según INIA, (Kajjak, 2015) la ganancia diaria de cuyes raza Perú es de 16,93g, ligeramente superior a lo encontrado con las dietas estudiadas en la presente investigación debido posiblemente al tiempo de evaluación (7 semanas).

El grupo control mostró una menor ganancia de peso lo cual podría ser atribuido a la calidad de la proteína de origen vegetal, en el caso específico de la soja es considerada una proteína completa pues contiene todos los aminoácidos esenciales requeridos en la nutrición sin embargo, su contenido de metionina y triptófano es bajo (FAO/WHO, 1991) para la alimentación animal, en harina de *Hermetia illucens* el contenido de Metionina es de 2,1 y de Triptófano es 0,5 %MS (Barragan-Fonseca et al., 2017); así mismo (Gilani et al., 2012; Cruz et al., 2003) en una serie de estudios en roedores concluyen que las proteínas vegetales poseen índices de eficiencia proteica dentro del rango de 1,2 – 2,4 (incluida la proteína de soja) y podrían ser tan bajos como 0,95 para la harina de trigo, mientras que las proteínas animales están en el rango de 3,1 – 3,7.

En la Tabla 5 se muestra los parámetros productivos por cuy para cada tratamiento; el T1 correspondiente a un reemplazo del 16% del requerimiento proteico total fue el que presentó mejor ingesta de alimento por día (g) y Consumo total de alimento (g) con $34,57 \pm 0,56$ g y $1210 \pm 19,71$ g respectivamente, seguido de T0 y T2 sin diferencias significativas entre ellos. T3 mostró el mayor consumo con una ingesta de alimento por día de $49,05 \pm 0,69$ g y un Consumo total de alimento de $1717 \pm 24,32$ g.

La ingesta total de alimento es un parámetro de suma importancia que fue mayor en T3 con $1717 \pm 24,32$ g, seguido de T0 y T2 con $1468 \pm 19,51$ g y $1431 \pm 30,12$ g respectivamente y la dieta T1 con $1210 \pm 19,71$ g, en todos los tratamientos la ingesta total de alimento (g) fue menor a lo reportado por INIA (Kajjak, 2015) entidad que estandariza las líneas de cuyes en el Perú, el cual reporta un valor de

2153 g al cabo de 8 semanas, esto puede ser posible debido a que la evaluación realizada en la presente investigación fue hasta los cincuenta días de crecimiento.

El valor de la conversión alimenticia es relevante puesto que al no existir diferencias estadísticamente significativas en el Peso Corporal Final (g) el tratamiento óptimo será aquel que con un menor consumo permita una mayor conversión por ello la relación de conversión de alimento fue evaluado indicando que la mejor dieta alimenticia es la T1 con una relación de conversión de $2,50 \pm 0,04$ seguido de los demás tratamientos que no mostraron diferencias significativas entre sí con $3,14 \pm 0,09$; $3,18 \pm 0,09$ y $3,22 \pm 0,07$ para T0, T2 y T3 respectivamente.

La conversión alimenticia para cuy de raza Perú es de 3,03 (Kajjak, 2015), con los tratamientos T0, T2 y T3 no se evidenciaron diferencias significativas entre los valores de conversión alimenticias con un promedio de $3,16 \pm 0,05$ por su parte el T1 si presentó un valor menor respecto a los demás tratamientos con solo $2,50 \pm 0,04$. Con todo ello se puede afirmar que la mejor dieta fue la T1 puesto que con una inclusión del 16% de reemplazo proteico total requerido, lo que equivale a un 4,01% de la dieta total se obtuvieron conversiones alimenticias de $1,97 \pm 0,08$ lo cual implica que con un menor consumo de alimento es posible obtener pesos finales de $0,906 \pm 0,05$ g que no muestran diferencias significativas respecto a los pesos finales de los otros tratamientos.

En diversas investigaciones revisadas (Faihun et al., 2020; Sotelo et al., 2018; Mattos et al., 2003), los sustitutos proteicos tuvieron un contenido proteico bajo, menor que la soja 41,1% (Zielińska et al., 2015), por ello es probable que la conversión alimenticia supere el valor de 3,03 mencionado por INIA (Kajjak, 2015) pues los animales *Cavia porcellus* requerirán mayor consumo para cubrir los requerimientos nutricionales. Esto sitúa a la harina de larva de *Hermetia illucens* como un excelente sustituto nitrogenado debido a su alto contenido proteico ($42,16 \pm 3,67\%$) de alta calidad que satisface los requerimientos nutricionales con menor cantidad de alimento tal y como se observó en T1.

Tabla 5

Parámetros productivos por cuy según tratamiento

	T0	T1	T2	T3	p-value
Consumo de alimento/día (g)	41,94 ± 0,56b	34,57 ± 0,56a	40,89 ± 0,86b	49,05 ± 0,69c	0,001
Consumo total de alimento (g)	1468 ± 19,51b	1210 ± 19,71	1431 ± 30,12b	1717 ± 24,32c	0,000
Ganancia diaria de peso (g)	13,20 ± 0,60a	13,83 ± 0,31a	13,05 ± 1,34a	15,36 ± 1,17a	0,2049
Aumento de peso total (g)	462,1 ± 48,0a	484,1 ± 5,96ab	456,9 ± 77,5a	537,8 ± 55,6b	0,0224
Peso corporal final (g)	885,4 ± 74,02a	906,75 ± 48,69a	900,8 ± 110,44a	926,2 ± 75,27a	0,7352
Conversión alimenticia	3,14 ± 0,09b	2,50 ± 0,04a	3,18 ± 0,09b	3,22 ± 0,07b	0,0004

1 Letras similares en la misma fila indican que no hay diferencia significativa entre tratamientos a un $\alpha = 0,05$.2 Media \pm DE.

En los últimos años, los insectos han recibido una atención creciente como ingrediente sostenible para la producción de alimentos acuícolas y animales (Henry *et al.*, 2015; Makkar *et al.*, 2014; Nesic y Zagon, 2019) aunque la producción de insectos en volúmenes suficientes para competir con la harina de pescado y fuentes de proteínas vegetales aún no se han logrado (Sogari *et al.*, 2019). Las larvas de la mosca soldado negra no son económicamente competitivas con la harina de pescado, soja, entre otras; sin embargo es prometedor su estudio e investigación como fuente proteica y los productores están aumentando la producción de insectos para satisfacer la creciente demanda mundial de proteínas y reducir el costo de la producción de harina (Weththasinghe *et al.*, 2020).

4. Conclusiones

La harina de *Hermetia illucens* debe ser considerada como un ingrediente con buen aporte Proteico (42,16 \pm 3,67%MS), Extracto Etéreo (19,38 \pm 3,45%MS) y de sales minerales para la nutrición animal siendo una fuente proteína de origen animal alternativa para el uso en remplazo de otras en la alimentación del cuy y animales productivos. La harina de larva de *Hermetia illucens* en reemplazo de soja no mostró diferencias estadísticamente significativas entre la ganancia de peso diaria y el peso corporal final entre las cuatro dietas alimenticias. El T3 presentó un mayor consumo diario (49,05 \pm 0,69) y consumo total (1717 \pm 24,32) lo cual dio como conversión alimenticia 3,22 \pm 0,07, la dieta con incorporación harina de *Hermetia illucens* en concentración del 16% (T1) del requerimiento proteico total para alimentación de cuyes (*Cavia porcellus*) demostró una ingesta de alimento por día de 34,57 \pm 0,56 y una conversión alimenticia de 2,50 \pm 0,04 menor cantidad de alimento al estándar mencionado por INIA, lo cual sitúa a la harina de *Hermetia illucens* como un excelente complemento proteico para la alimentación de cuyes con ventajas competitivas en sistemas productivos pues supondrá menor consumo de alimento para obtener mayores pesos finales en menor tiempo.

Agradecimientos

El equipo de investigación agradece al Banco Mundial (BM), Banco Interamericano de Desarrollo (IDB), Programa Nacional de Innovación Agropecuaria (PNIA) y al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Católica de Santa María (UCSM) por el financiamiento del Proyecto: Desarrollo de Conocimiento en el Empleo de Dípteros (*Hermetia illucens*) para el Bioprocesamiento de Residuos Orgánicos Agrícolas. Contrato N° 029-2016-INIA-PNIA/UPMSI/IE. Fondo de Investigación Estratégica, ejecutado por Vicerrectorado de Investigación – Universidad Católica de Santa María, Resolución Nro. 24305-R-2017.

ORCID

J. Reátegui  <https://orcid.org/0000-0001-6359-3999>
 X. Barriga  <https://orcid.org/0000-0003-1593-1046>
 A. Obando  <https://orcid.org/0000-0003-1765-2710>
 G. Moscoso  <https://orcid.org/0000-0002-9027-8713>
 P. Manrique  <https://orcid.org/0000-0002-5889-2748>
 I. Salazar  <https://orcid.org/0000-0001-7057-2897>

Referencias bibliográficas

- Adámková, A.; Mlček, J.; Kouřimská, L.; *et al.* 2017. Nutritional potential of selected insect species reared on the island of Sumatra. *Int J Environ Res Public Health* 14(5): 521.
- AOAC. 1990. Association of official analytical chemists. Official methods of analysis. In: AOAC Arlington, VA.
- Barragan-Fonseca, K.; Dicke, M.; Van Loon; *et al.* 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.
- Bindelle, J.; Picron, P. 2012. Le Cobaye: un petit herbivore facile a nourrir dans des petites parcelles. *Troupeaux et Cultures des Tropiques* 4(1): 11-16.
- Cashion, T.; Tyedmers, P.; Parker, R.; *et al.* 2017. Global reduction fisheries and their products in the context of sustainable limits. *Fish and Fisheries* 18(6): 1026-1037.
- Cruz, G.; Oliveira, M.; Pires, C.; *et al.* 2003. Protein quality and in vivo digestibility of different varieties of bean (*Phaseolus vulgaris* L.)= qualidade da proteína e digest. *Brazilian Journal of Food Technology* 2: 157-162.
- Dahouda, M.; Adjolohoun, S.; Senou, M.; *et al.* 2013. Effets des aliments contenant les folioles de Moringa oleifera Lam et des aliments commerciaux sur les performances de croissance des lapins (*Oryctolagus cuniculus*) et la qualité de la viande. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 7(5): 1838-1852.
- Escobal, A.; Martel, K.; Patiño, Í.; *et al.* 2020. Obtención de alimento balanceado extruido con cáscara de papa (*Solanum tuberosum*) para engorde de cuyes (*Cavia porcellus*). *Livestock Research for Rural Development* 32: Article 19.
- Faihun, A.; Akouedegni, G.; Zoffoun, A.; *et al.* 2020. Performances de reproduction de cochons d'Inde complémentés au Commelina benghalensis et au

- Moringa oleifera au cours de deux cycles. *Livestock Research for Rural Development* 32: Article 2.
- FAO/WHO, J. 1991. Protein quality evaluation. Report of Joint FAO/WHO Expert Consultation. FAO Food and Nutrition Paper 51.
- Gilani, G.; Xiao, C.; Cockell, K. 2012. Impact of antinutritional factors in food proteins on the digestibility of protein and the bioavailability of amino acids and on protein quality. *British Journal of Nutrition* 108(S2): S315-S332.
- Handlos, M. 2018. Guide for community animal health workers: Raising rabbits and guinea pigs (cavies) for meat in smallholder environments in the Democratic Republic of the Congo. International Livestock Research Institute.
- Henry, M.; Gasco, L.; Piccolo, G.; *et al.* 2015. Review on the use of insects in the diet of farmed fish: past and future. *Animal Feed Science and Technology* 203: 1-22.
- Hu, Y.; Huang, Y.; Tang, T.; *et al.* 2020. Effect of partial black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal replacement of fish meal in practical diets on the growth, digestive enzyme and related gene expression for rice field eel (*Monopterus albus*). *Aquaculture Reports* 17: 100345.
- Joint, FAO y World Health Organization. 1991. Protein quality evaluation: report of the Joint FAO. FAO Food and Nutrition Paper 51.
- Kajjak, N. 2015. Crianza tecnificada de cuyes. Instituto Nacional de Investigación Agraria. Lima, Perú.
- Kuntadi, K.; Adalina, Y.; Maharani, K. 2018. Nutritional compositions of six edible insects in Java. *Indonesian Journal of Forestry Research* 5(1): 57-68.
- Laiño, A.; Gallardo, S.; Becerra, S.; *et al.* 2009. Gramíneas tropicales en el engorde de cuyes mejorados sexados (*Cavia porcellus* Linnaeus) en la zona de la Maná. *Revista Ciencia y Tecnología* 2(1): 25-28.
- Li, S.; Ji, H.; Zhang, B.; *et al.* 2016. Influence of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae oil on growth performance, body composition, tissue fatty acid composition and lipid deposition in juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). *Aquaculture* 465: 43-52.
- Makkar, H.; Tran, G.; Heuzé, V.; *et al.* 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology* 197: 1-33.
- Mattos, J.; Chauca, L.; San Martín, F.; *et al.* 2003. Uso del ensilado biológico de pescado en la alimentación de cuyes mejorados. *Rev. investig. vet. Perú* 14(2): 89-96.
- Miégoué, E.; Tendonkeng, F.; Mweugang, N.; *et al.* 2018. Effect of arachis glabrata levels in the diet on reproduction and pre-weaning growth performance of Guinea Pigs (*Cavia porcellus* L) fed on panicum maximum. *International Journal of Animal Science and Technology* 2(4): 36-44.
- Nesic, K.; Zagon, J. 2019. Insects—a promising feed and food protein source?. *Scientific journal Meat Technology* 60(1): 56-67.
- Nyakeri, E.; Ogola, H.; Ayieko, M.; *et al.* 2017. Valorisation of organic waste material: growth performance of wild black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) reared on different organic wastes. *Journal of Insects as Food and Feed* 3(3): 193-202.
- Renna, M.; Schiavone, A.; Gai, F.; *et al.* 2017. Evaluation of the suitability of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) diets. *J Anim Sci Biotechnol* 8(1): 1-13.
- Segura-Cazorla, M. 2015. Composición bromatológica hermetia illucens. Proyecto fin de carrera Ingeniero Técnico Agrícola, Universidad de Almería, España. 80 pp.
- Sogari, G.; Amato, M.; Biasato, I.; *et al.* 2019. The potential role of insects as feed: A multi-perspective review. *Animals* 9(4): 1-15.
- Solari, G. 2010. Ficha Técnica de Crianza de cuyes. Soluciones Prácticas-ITDG. Lima. Perú.
- Sotelo, A.; Contreras, C.; Norabuena, E.; *et al.* 2018. Uso de la harina de mani forrajero (*Arachis pintoi* Krapov & WC Greg) en la alimentación de cuyes (*Cavia porcellus* L). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 29(4): 1249-1258.
- Technology, A. 2005. Method for determining acid detergent lignin in beakers. In: ANKOM Technology Method 08/05, Ankom Technology Macedon, NY.
- Tran, G.; Heuzé, V.; Makkar, H. 2015. Insects in fish diets. *Animal Frontiers* 5(2): 37-44.
- Van Soest, P.V.; Robertson, J.; Lewis, B. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74(10): 3583-3597.
- Wang, Y.S.; Shelomi, M. 2017. Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods* 6(10): 91.
- Weththasinghe, P.; Hansen, J.; Nøkkland, D.; *et al.* 2020. Full-fat black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) meal and paste in extruded diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*): Effect on physical pellet quality, nutrient digestibility, nutrient utilization and growth performances. *Aquaculture* 530: 735785.
- Yoplac, I.; Yalta, J.; Vásquez, H.V.; *et al.* 2017. Efecto de la alimentación con pulpa de café (*Coffea arabica*) en los índices productivos de cuyes (*Cavia porcellus* L) Raza Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 28(3): 549-560.
- Zielińska, E.; Baraniak, B.; Karaś, M.; *et al.* 2015. Selected species of edible insects as a source of nutrient composition. *Food Research (International)* 77(3): 460-466.