

Utilización de larvas de *Sitophilus zeamais* (Motshulsky) como suplemento en la dieta para la producción de pollos de carne

S. LÓPEZ-VERGÉ^{1*}, A.C. BARROETA¹, J. RIUDAVETS² y J.J. RODRÍGUEZ-JEREZ³

¹Departament de Ciència Animal i dels Aliments. Facultat de Veterinària, Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), 08193 Bellaterra, España; ²IRTA, Entomología, Ctra. Cabrils Km 2, Cabrils, España; ³Grupo de Investigación Biorisc – Grisc. Facultad de Veterinaria, UAB, 08193 Bellaterra, España. *Autor corresponsal: sergilv1@gmail.com

Con el ritmo de crecimiento actual de la población mundial, se prevé que la demanda de alimentos superará la oferta, constituyendo un peligro de sobreexplotación de los recursos naturales. Encontrar fuentes de proteína y nutrientes más económicos y que no compitan en recursos con los seres humanos resulta, por tanto, necesario. En este marco, los insectos pueden erigirse como una alternativa natural a las fuentes de proteína convencionales. El objetivo del presente estudio es demostrar la validez del uso de insectos en la alimentación de pollos de carne. Para ello se determinó la composición nutricional de tres especies de insectos (*Tenebrio molitor*, *Ephestia kuehniella* y *Tribolium confusum*) para valorar su utilización, en forma de harina, en la fabricación de piensos. Los resultados obtenidos en proteína bruta, estuvieron comprendidos entre el 42,47% y el 58,77%, y en extracto etéreo, entre el 24,99% y el 34,13%. En una segunda prueba, se realizó un estudio con objeto de comparar el efecto de la adición de larvas de la especie *Sitophilus zeamais* en el maíz, destinado a la formulación de la dieta experimental (insectada) respecto a la misma dieta sin tratar (control). Para ello, 36 pollos hembra, Ross 308, de 21 días de edad fueron aleatoriamente asignados a los dos tratamientos en 12 jaulas (a razón de 3 pollos por jaula y 6 jaulas por tratamiento). Los animales alimentados con la dieta insectada presentaron un mayor peso vivo final ($P = 0,015$). En cuanto al consumo medio diario (CMD), los pollos asignados al tratamiento insectado también presentaron valores mayores ($P = 0,015$), de un 6% superior a lo largo del período experimental. La ganancia media diaria (GMD) resultó ser ligeramente superior en los animales asignados al tratamiento insectado, aunque sólo se acercó a la significación estadística ($P = 0,083$). Además, tanto para los índices de transformación como para los rendimientos de canal, no existieron diferencias entre tratamientos ($P > 0,05$). Finalmente, de manera simultánea al estudio, se llevó a cabo una control microbiológico para la detección de posibles patógenos, obteniéndose resultados de ausencia tanto para *Salmonella sp.* como para *Listeria monocytogenes*. De acuerdo a nuestros resultados, podemos concluir que los insectos pueden ser utilizados de forma segura en la alimentación de pollos de carne.

Palabras clave: *Sitophilus zeamais*; insectos; larvas; broiler; harina

With the current growth rate of the world population is expected that food demand will outstrip supply, constituting a danger of over-exploitation of natural resources. Find protein and nutrient sources cheaper and they do not compete for resources with humans is, therefore, necessary. In this framework, insects can stand as a natural alternative to conventional protein sources. The aim of this study is to test the validity of insects as feedstuff for broiler chickens. On the one hand, the nutritional composition of three insect species (*Tenebrio molitor*, *Ephestia kuehniella*, and *Tribolium confusum*) was determined in order to assess their potential use in animal nutrition. In dry matter basis the results obtained in crude protein (ranging from 42.47% to 58.77%) and ether extract (ranging from 24.99% to 34.13%) support the idea that

they can indeed be used in animal nutrition. On the other hand, a feeding trial was conducted in order to compare the effect of adding larvae of *Sitophilus zeamais* to the diet on the performance parameters. For this purpose, the birds were randomly allocated to 12 cages (3 animals per cage) and cages were randomly distributed in 2 treatments (6 cages per treatment). Animals fed the insect-infested diet had higher final body weight ($P = 0.015$) and higher average daily feed intake (ADFI, $P = 0.015$) compared to animals fed the untreated (control) diet. Average daily gain (ADG) was found to be slightly higher, although not quite statistically significant ($P = 0.083$). In addition, there were no significant differences ($P > 0.05$) between treatments for feed conversion ratio (FCR) and carcass yield. A microbiological study was also carried out to detect pathogens. The results were negative for both *Salmonella sp.* and *Listeria monocytogenes*. The study concludes that the insects could be valid (and safe) for use as broiler chicken feed.

Key words: *Sitophilus zeamais*; insects; larvae; broiler; flour

Introducción

Hoy en día, teniendo en cuenta el ritmo de crecimiento actual de la población humana, la oferta mundial de alimentos debe crecer al mismo ritmo, si no más rápido. Por lo tanto, es esencial encontrar fuentes de proteína y nutrientes que no compitan directamente en recursos con los seres humanos y poder así reducir los costes en la alimentación animal.

En la industria avícola, las fuentes tradicionales de proteína son las harinas de soja y de pescado (Cuca et al., 1996; Oyegoke et al., 2006), pero cada vez resultan más caras (Tacon, 1994; Ramos-Elorduy et al., 2002), y muy demandadas para muchos propósitos, por lo que encontrar fuentes alternativas más baratas y mejor integradas en las cadenas tróficas resulta necesario. Los insectos podrían ser la alternativa para poder cumplir este objetivo.

Ecológicamente hablando, un aspecto importante que sugiere el uso adecuado de los insectos como parte de los alimentos es su alta tasa de reproducción, pudiendo ser considerados como una fuente renovable de proteína (Ramos-Elorduy, 1997).

Nutricionalmente, algunas especies se han descrito muy ricas en proteína (y por lo general de alta calidad) así como también en algunos ácidos grasos (Ramos-Elorduy et al., 2002). A modo de ejemplo, según Dufour (1987) en algunas especies de hormigas, termitas y orugas, el contenido de proteína es mayor que en las harinas de pescado tradicionales. Taylor (1975), afirma que la mayoría de especies de insectos son capaces de convertir proteína vegetal en proteína animal de manera muy eficiente, resultando en un alto rendimiento en comparación con otros animales utilizados en producción animal. Ciertamente, y especialmente en el caso de la avicultura, la inclusión de insectos como suplemento en la alimentación resulta adecuado, pues las aves (tanto silvestres como las de corral) ingieren insectos (tanto en estado adulto como en forma de larva o incluso pupa) de manera natural (Hwangbo et al., 2009).

Siguiendo con algunas otras características de composición química, para Akinnowo y Ketiku (2000), los insectos son también buenas fuentes de grasa, vitaminas y minerales. Concretamente, en lo que a ácidos grasos se refiere, muchas especies de insectos los presentan de buena calidad y especialmente de los grupos omega-3 de cadena larga, como por ejemplo los ácidos alfa-linolénico y ácido eicosapentanoico entre otros. Además, y en función de la especie de insecto estudiada, el perfil de ácidos grasos puede variar (Yang et al., 2006).

Con respecto a las vitaminas y minerales, los insectos se han descubierto ricos en estos elementos en muchos casos. Ejemplos de este hecho son que muchos de estos animales son ricos en hierro (Fe), calcio (Ca) y vitaminas, incluyendo las de tipo B (Bukkens, 1997).

La utilización de insectos en la alimentación animal se lleva realizando desde hace algunos años. Existen pues, algunos experimentos en la literatura que han resultado exitosos en acuicultura (Kumar et al, 1992; Rahman et al., 1996; Hernández-Martínez et al., 2008; Alegbeleye et al., 2012). En aves, muchos estudios se han centrado sobre todo en pollos de carne, con la finalidad de encontrar nuevas fuentes de proteína que sustituyan a otras más tradicionales como la soja o la harina de pescado. En los

años ochenta, algunos autores hicieron varios ensayos donde evaluaron diferentes especies de insectos como alimento para aves de corral (DeFoliart et al., 1982; Fagonee, 1983; Nakagaki et al., 1987). Actualmente, y probablemente como consecuencia del encarecimiento de las materias primas más habituales, los insectos cobran de nuevo interés como demuestran los experimentos en pollos de carne de Wang et al. (2007), Anand et al. (2008) y Hwangbo et al. (2009).

Son pues, muchos y variados los motivos por los cuales los insectos pueden contemplarse como una nueva fuente de proteína para la alimentación animal. Por todo ello, la creación de líneas de investigación orientadas en validar la inclusión de los insectos en la alimentación animal puede ser de gran interés en los próximos años. La presente propuesta persigue este propósito.

Material y métodos

Composición química de los insectos

Se determinó la composición nutricional (análisis Weende) de tres especies de insectos en forma larvaria (*Tenebrio molitor*, *Ephestia kuehniella* y *Tribolium confusum*) para determinar su uso potencial como ingrediente en alimentación de pollos de carne. Los análisis tuvieron lugar en el *Laboratori de Nutrició i Alimentació Animal* del *Departament de Ciència Animal i dels Aliments* de la UAB.

Piensos y diseño experimental

Se administraron 2 tipos distintos de dietas en forma de harina (desde los 21 a los 37 días de edad). Los piensos experimentales fueron formulados para satisfacer o exceder las necesidades señaladas en FEDNA (2008) a partir de una dieta base (Tabla 1).

Tabla 1. Ingredientes y composición nutricional de las dietas.

<i>Ingredientes (%)</i>	<u>(21-37 días de edad)</u>	
Maíz*		52,11
Soja (44%)		25,11
Soja extrusionada		14,84
Manteca de cerdo		4,00
Fosfato monocálcico		1,59
Carbonato cálcico		1,28
Cloruro sódico		0,39
Complejo vitamínico ¹		0,30
DL-metionina		0,26
L-lysina clh		0,10
L-treonina		0,03
<i>Composición analizada (%±DE)²</i>	<i>Dieta control (C)</i> <u>(21-37 días de edad)</u>	<i>Dieta insectada (I)</i> <u>(21-37 días de edad)</u>
Materia seca	89,17 ± 0,745	88,62 ± 1,548
Cenizas	5,96 ± 0,000	5,85 ± 0,044
Proteína bruta	21,48 ± 0,50	20,77 ± 0,867
Extracto etéreo	9,02 ± 0,136	8,94 ± 0,011
Fibra bruta	2,46 ± 0,024	2,58 ± 0,236
Energía bruta (kcal/kg de pienso±DE) †	4.249 ± 74,6	4.217 ± 109,2
EMA (Kcal/kg de pienso) ‡	3.315	3.191
<i>Análisis teórico</i>		
Materia seca (%)	88,21	
EM (Kcal/kg)	3.140	
Cenizas (%)	6,01	
Proteína bruta (%)	20,61	
Extracto etéreo (%)	9,16	
Fibra bruta (%)	3,69	

*El maíz usado es estándar (control, C) o con inóculo de *S. zeamais* (insectado, I) dependiendo de la dieta elegida.

¹Proporciona por kg de pienso: vitamina A (E-672) 13500 UI; vitamina D3 (E-671) 4800 UI; vitamina E (alfa-tocoferol) 45 mg; vitamina B1 3 mg; vitamina B2 9 mg; vitamina B6 4.5 mg; vitamina B12 16,5 µg; vitamina K3 3 mg; pantotenato de calcio 16,5 mg; ácido nicotínico 51 mg; ácido fólico 1,8 mg; biotina 30 µg; Fe (E-1) (procedente de FeSO₄·7H₂O) 54 mg; I (E-2) (procedente de Ca(I₂O₃)₂) 1,2 mg; Co (E-3) (procedente 2CoCO₃·3Co(OH)₂·H₂O) 0,6 mg; Cu (E-4) (procedente CuSO₄·5H₂O) 12 mg; Mn (E-5) (procedente MnO) 90 mg; Zn (E-6) (procedente ZnO) 66 mg; Se (E-8) (procedente Na₂SeO₃) 0,18 mg; Mo (E-7) ((NH₄)₆Mo₇O₂₄) 1,2 mg. ² Los valores son medias de 2 determinaciones para los 2 piensos experimentales. EMA (Energía metabolizable aparente). EM (Energía metabolizable). † Analizado ‡ Calculado.

La fabricación de los piensos experimentales se llevó a cabo en el *Servei de Granges i Camps Experimentals* de la *Universitat Autònoma de Barcelona* (UAB).

La única diferencia entre los dos piensos fue debida al tipo de maíz (insectado o no) y que fue utilizado para formular la dieta.

Se llevó a cabo un diseño completamente al azar para evaluar el efecto de las dos dietas [insectada, I (por la adición de larvas de la especie *Sitophilus zeamais* dentro del grano) y control, C (estándar de maíz y soja)].

Animales e instalaciones

Un total de 36 pollos hembra de la estirpe Ross 308 (Terra-Avant, S.A. Anglès, España) de 21 días de edad, se identificaron individualmente, se agruparon según peso vivo y se distribuyeron al azar en los 2 tratamientos experimentales. El ensayo se llevó a cabo en la granja experimental del *Servei de Granges i Camps Experimentals* de la *Universitat Autònoma de Barcelona* y fue aprobado por el Comité de Ética de la misma institución.

Los animales se alojaron en 12 jaulas a razón de 3 pollos por jaula (6 réplicas por tratamiento) hasta los 37 días de edad. A lo largo de todo el experimento se realizaron controles de las condiciones ambientales y la administración de agua y pienso fue *ad libitum*.

Controles productivos y recogida de muestras

Semanalmente, y a lo largo de todo el periodo experimental, se realizaron controles de ingestión de pienso y peso de los animales para determinar el consumo medio diario (CMD), la ganancia media diaria (GMD) y el índice de transformación del alimento (IT).

Se tomaron muestras de las dietas experimentales al inicio y final del periodo experimental. Dichas muestras, se homogeneizaron, molieron y almacenaron a -20°C en espera de la realización del análisis proximal de acuerdo a los procedimientos de la AOAC (2005).

La energía bruta (EB) se determinó utilizando un calorímetro adiabático (IKA-Kalorimeter sistema C4000, Jankel-Kunkel, Staufen, Alemania) y se realizó una cuantificación en ácidos grasos por transesterificación directa (Sukhija and Palmquist, 1988), cuyos resultados pueden observarse en la Tabla 2.

De los 29 a los 31 días de edad se llevó a cabo un balance de digestibilidad utilizando el método de recogida total de excretas, de acuerdo al método de referencia europeo (Bourdillon et al., 1990).

Durante el último día del balance de digestibilidad, las excretas se pesaron y se homogeneizaron, tomándose además una muestra representativa que fue conservada a -20°C. Restos no deseados, tales como plumas, plumón y restos de alimento se eliminaron de las muestras manualmente. Posteriormente, las muestras de excretas fueron secadas en estufa a 60°C durante 5 días, molidas y almacenadas a 5°C para su posterior análisis (humedad, cenizas, extracto etéreo y energía bruta). Los valores de metabolizabilidad aparente se calcularon a partir de la diferencia entre la cantidad ingerida y la cantidad excretada, expresada como porcentaje de la cantidad ingerida. En el caso de la energía metabolizable aparente (EMA), el porcentaje de metabolizabilidad de la energía se multiplicó por la EB del pienso correspondiente.

Al final del experimento, los 36 pollos de 37 días de edad (y aproximadamente 2 kg de peso) se mantuvieron en ayunas durante 5 horas previamente a ser sacrificados, desangrados y desplumados en un matadero comercial (Gimave, S.A., Ripollet, España).

A las 12 horas posteriores al sacrificio tuvo lugar el pesaje de la canal así como la extracción y pesaje del paquete de grasa abdominal (grasa que rodea el proventrículo hasta la cloaca).

Tabla 2. Composición en ácidos grasos de los piensos experimentales y el maíz.

<i>Ácidos grasos</i> (mg /g pienso)	Dietas (21-37 días de edad)		Maíz		
	Control (C)	Insectada (I)	Control (C)	Insectado (I)	
C14:0	0.71	0.64	-	-	
C16:0	16.56	15.69	5.99	5.07	
C16:1	0.97	0.88	-	-	
C18:0	6.92	6.52	0.88	0.81	
C18:1n9c	28.86	27.24	11.56	10.52	
C18:1n11c	1.87	1.73	0.31	0.26	
C18:2n6	34.84	33.84	23.56	18.05	
C18:3n3	3.39	3.22	0.66	0.54	
C20:1n9	0.47	0.44	-	-	
AGS	mg/g	24.19	22.85	6.87	5.88
	%	25.57	25.33	15.99	16.68
AGMI	mg/g	32.17	30.29	11.87	10.78
	%	34.01	33.58	27.63	30.58
AGPI	mg/g	38.23	37.06	24.22	18.59
	%	40.42	41.09	56.38	52.74
Total AG		94.59	90.20	42.96	35.25

AGS: ácidos grasos saturados; AGMI: ácidos grasos monoinsaturados; AGPI: ácidos grasos poliinsaturados. AG: Ácidos grasos. Nota: El símbolo "-" indica valor no detectado.

Análisis estadístico

El análisis estadístico fue llevado a cabo mediante el uso del programa informático SAS (SAS, 2008), versión 9.2 para Windows. Mediante el análisis de la varianza (ANOVA), se determinó si existían diferencias significativas entre los distintos parámetros productivos en función del tratamiento (dieta control o insectada). Para ello, se utilizó el procedimiento GLM de SAS.

Cuando existieron diferencias significativas ($P \leq 0,05$), éstas se evaluaron utilizando el test de Tukey-HSD (considerando la dieta como efecto fijos).

Para el caso del peso vivo final, la detección de diferencias significativas tuvo lugar mediante el procedimiento de modelo lineal mixto de medidas repetidas realizado con el programa informático R (2011), versión 2.13.0.

Los resultados de los parámetros productivos se analizaron utilizando cada jaula como unidad experimental (6 réplicas por tratamiento). Por otro lado, para los parámetros de rendimiento de la canal la unidad experimental fue el ave (18 pollos por tratamiento).

Análisis microbiológico

Un estudio microbiológico fue realizado para evaluar la seguridad de la adición de insectos de la especie *Sitophilus zeamais* tanto en el pienso final como en 3 tipos de grano (maíz, trigo y arroz). Las dietas fueron las mismas que se utilizaron para alimentar a las aves durante el estudio *in vivo*. Por otra parte, los tres tipos de cereal en grano fueron seleccionados sólo para probar la seguridad como materia prima aunque no fueron utilizados para alimentar los animales. Todas las determinaciones se realizaron en el *Laboratori d'Higiene i Seguretat Alimentària* perteneciente al *Departament de Ciència Animal i dels Aliments* de la UAB.

VIDAS ® y TEMPO ® (ISO 16140) fueron los sistemas de ensayo utilizados con el fin de realizar la detección y recuento de patógenos.

Resultados y discusión

Composición química de los insectos

Los resultados del análisis proximal realizado en las tres especies de insectos se muestran a continuación (Tabla 3).

Tabla 3. Composición proximal de las especies de insecto estudiadas (valores expresados en materia seca y fresca)

	<i>T. molitor</i>		<i>E. kuehniella</i>		<i>T. confusum</i>	
	Materia seca	Materia fresca	Materia seca	Materia fresca	Materia seca	Materia fresca
PB	58,77±0,224	31,35±0,119	42,47±0,233	17,71±0,097	46,97±0,08	21,00±0,036
EE	24,99±0,918	13,33±0,490	34,13±0,011	14,23±0,005	-	-
FB	7,81±0,174	4,16±0,093	5,67±0,247	2,31±0,101	-	-
Cenizas	9,98±0,543	5,32±0,290	3,02±0,350	1,26±0,146	5,35*	2,39*
Humedad	46,65±0,025		58,30±0,045		55,29*	

PB: Proteína bruta; EE: Extracto etéreo; FB: Fibra bruta. Nota: El símbolo "-" indica análisis no realizado.* Valor determinado con una sola réplica. Valores expresados como media ± Desviación estándar.

Los valores obtenidos revelaron que la proteína bruta (PB) osciló entre el 42 al 58%, con *T. molitor* obteniendo el valor más alto y *E. kuehniella* el más bajo. Para el extracto etéreo (EE), los valores fueron igualmente variables, oscilando entre el 25 y el 34%, con *E. kuehniella* obteniendo el valor más alto y *T. molitor* el más bajo (no hubo resultados para *T. confusum* debido a falta de muestra suficiente). Nuestros resultados difieren de los obtenidos por Ramos-Elorduy et al. (2002) para *T. molitor* en PB (47,7 ± 1,30), EE (37,7 ± 2,40) y FB (5,0 ± 0,50). No se encontraron otros resultados para *E. kuehniella* y *T. confusum*.

Aún así, estos resultados parecen confirmar resultados previos académicos de que los insectos son una buena fuente de proteína y grasa (Bukkens, 1997; Akinnawo y Ketiku, 2000; Ramos-Elorduy et al., 2004; entre otros autores).

Parámetros productivos

Los resultados productivos y los rendimientos de canal se muestran en la Tabla 4.

Con el paso del tiempo y edad de las aves hubo una diferencia en el peso vivo, así como una tendencia a una mayor ganancia media diaria (GMD) en los pollos alimentados con la dieta tratada con insectos. Hacia los últimos días de edad (35 a 37) estas diferencias en peso vivo se acentuaron y fueron de media de 44,0 g y 50.1g superior a los animales alimentados con la dieta control ($P = 0,033$ y $P = 0,015$ respectivamente).

En cuanto a la GMD, los resultados no fueron estadísticamente diferentes entre los 21 a los 28 días de edad (C: 86,21 ± 2,982 vs. I: 87,14 ± 2,226, $P = 0,556$), pero tendieron a la significación estadística de los 28 a los 37 días de edad (C: 92,120 ± 4,289 vs. I: 97,14 ± 3,791, $P = 0,061$) y de los 21 a los 37 días de edad (C: 89,58 ± 3,145 vs. I: 92,77 ± 2,545, $P = 0,083$). Al final, las aves crecieron más cuando se alimentaron de la dieta con insectos. Este mayor crecimiento podría deberse a que tal vez los insectos son más cercanos a la dieta natural de las aves (según lo sugerido por Hwangbo et al., 2009). Puede que tal vez existan algunos componentes químicos en los insectos que ayuden a la absorción de nutrientes de las aves.

Los pollos también tendieron a consumir más sobre la dieta insectada (aunque el consumo medio diario (CMD) no fue significativamente diferente) de los 21 a los 28 días de edad (C: 116,03 ± 7,061 vs. I: 124,29 ± 8,744, $P = 0,102$) y de los 28 a los 37 días de edad (C: 156,30 ± 7,839 vs. I: 164,44 ± 7,422, $P = 0,094$), haciéndose significativamente diferente en el conjunto del periodo experimental (C: 138,68 ± 2,831 vs. I: 146,88 ± 6,229, $P = 0,015$), comprendido entre los 21 y los 37 días de edad. Además, es bien sabido que los pollos tratan de consumir la cantidad de alimento necesario cubrir de este modo sus necesidades de energía (Sanz et al., 2000), por lo que este razonamiento explicaría el aumento del consumo de alimento de las aves asignadas a la dieta con insectos (dieta que además posee un menor nivel energético como se observa en la Tabla 1).

Asimismo, los pollos no parecieron experimentar problemas de palatabilidad (no rechazaron el alimento) en ninguna de las dos dietas a lo largo del experimento.

Independientemente del período, los índices de transformación (IT) fueron estadísticamente iguales al margen del tratamiento (C: $1,55 \pm 0,030$ vs. I: $1,58 \pm 0,049$, $P = 0,173$ de los 21 a los 37 días de edad) como de hecho se esperaba (ya que las aves consumieron más y crecieron más con la dieta insectada, resultando en similares IT en los dos tratamientos).

Nuestros resultados concuerdan con los obtenidos por Khatun et al. (2003) y por Wijayasinghe y Rajaguru (1977) a excepción del IT, que resultó ser mejor en las dietas con insectos en sus respectivos estudios.

Finalmente, en lo que respecta a los rendimientos de canal, no observamos diferencias estadísticamente significativas en canal eviscerada (CE), canal no eviscerada (CNE), peso de pechuga (P) y grasa abdominal (GA).

Tabla 4. Parámetros productivos¹ y parámetros de rendimiento de la canal² de pollos de carne.

	Tratamiento		Estadísticos		
	Control (C)	Insectado (I)	Root MSE	P-valor	
<i>Parámetros productivos (21-28 días de edad)</i>					
CMD(g/d)	116,03	124,29	7,947	NS	
GMD (g/d)	86,21	87,14	2,632	NS	
IT (consumo: ganancia)	1,35	1,43	0,089	NS	
<i>Parámetros productivos (28-37 días de edad)</i>					
CMD(g/d)	156,30	164,44	7,634	NS	
GMD (g/d)	92,20	97,14	4,048	NS	
IT (consumo: ganancia)	1,70	1,69	0,041	NS	
<i>Parámetros productivos (21-37 días de edad)</i>					
CMD(g/d)	138,68	146,88	4,838	0,015	
GMD (g/d)	89,58	92,77	2,861	NS	
IT (consumo: ganancia)	1,55	1,58	0,041	NS	
<i>Parámetros de rendimiento de la canal</i>					
Peso vivo final (g)	2.172	2.216	-	0,015	
Canal no eviscerada (CNE)	(g)	1.941	1.973	87,9	NS
	(%) ³	89,40	89,11	1,962	NS
Canal eviscerada (CE)	(g)	1.492	1.509	119,6	NS
	(%) ³	68,64	68,12	4,044	NS
Peso de pechuga (P)	(g)	446,75	456,30	36,493	NS
	(%) ³	20,57	20,57	1,348	NS
Grasa abdominal (GA)	(g)	42,50	45,44	10,275	NS
	(%) ³	1,95	2,06	0,462	NS

¹Valores teniendo en cuenta la jaula como unidad experimental. ²Valores teniendo en cuenta los individuos como unidad experimental. ³Referido al peso vivo de los animales antes de sacrificio. CMD: Consumo medio diario; GMD: Ganancia media diaria; IT: Índice de transformación.

Balance de metabolización

Los valores de metabolización obtenidos a partir del balance realizado entre los 29 y 31 días de edad se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Balance de metabolización entre los 29 y los 31 días de edad.

	Tratamiento		Estadísticos	
	Control (C)	Insectado(I)	Root MSE	P-valor
EMA (kcal/kg)	3.315	3.191	67,2	0,010
<i>Metabolicidad (%)¹</i>				
Energía bruta	78,02	75,68	1,587	0.029
Materia seca	72,27	69,59	1,763	0.025
Materia orgánica	74,22	71,63	1,677	0.023
Extracto etéreo	86,9	85,20	2,351	NS
Proteína bruta	61,89	59,70	3,113	NS

¹metabolicidad % = [(cantidad ingerida – cantidad excretada) / cantidad ingerida]*100. EMA: Energía metabolizable aparente.

Para la EMA, los resultados muestran diferencias significativas entre los tratamientos ($P = 0,010$), siendo menor en el tratamiento insectado, y explicando el porqué del mayor consumo medio como se ha comentado con anterioridad.

Para la energía bruta (EB), la metabolicidad fue de un $78,02 \pm 1,704\%$ para el control (C) y un $75,68 \pm 0,782\%$ para la dieta con insectos (I) ($P = 0,029$), obteniéndose una diferencia significativa de metabolicidad de un $2,87\%$ entre ambos tratamientos experimentales. Para la materia seca, la metabolicidad fue de un $72,27 \pm 1,933\%$ para el control (C) y de un $69,59 \pm 1,574\%$ para la dieta con insectos (I) ($P = 0,025$), obteniéndose una diferencia significativa de metabolicidad de un $2,68\%$ entre ambos tratamientos experimentales. En cuanto a la materia orgánica fue de un $74,22 \pm 1,808\%$ para el control (C) y de un $71,63 \pm 1,534\%$ para la dieta con insectos (I) ($P = 0,023$), con una diferencia significativa de metabolicidad de un $2,59\%$ entre tratamientos. Finalmente, para el extracto etéreo (C: $86,09 \pm 2,531$ vs. I: $85,20 \pm 2,156$, $p = 0,527$) y para la proteína bruta (C: $61,89 \pm 2,878$ vs I: $59,70 \pm 3,332$, $p = 0,252$) las metabolicidades no fueron significativamente diferentes entre los tratamientos.

Tal y como muestran los resultados, esta menor digestibilidad y utilización energética de la dieta tratada con insectos es coherente con el aumento del consumo de pienso por parte de los animales como hemos visto en la sección de los parámetros productivos.

Patógenos

Las dos dietas experimentales obtuvieron resultados negativos tanto para *Salmonella sp.* como para *Listeria monocytogenes*. Así, la inclusión de insectos de la especie *S. zeamais* como suplemento en la dieta de pollos de carne resulta una alternativa segura (Tabla 6).

Tabla 6. Presencia-ausencia de patógenos

Tipo de patógeno	Tratamiento			
	Control (C)		Insectado (I)	
<i>Salmonella</i> ¹	0,05	negativo	0,05	negativo
<i>Listeria monocytogenes</i> ²	0.00	negativo	0,00	negativo

¹valores < 0,23 significa negativo y valores $\geq 0,23$ significa positivo. ²valores < 0,05 significa negativo y valores $\geq 0,05$ significa positivo.

Conclusión

En conclusión, podemos afirmar que los insectos *T. molitor*, y *E. kuehniella* pueden ser considerados como ingredientes potenciales para la alimentación de pollos de carne. La utilización de larvas de la especie *S. zeamais* como suplemento en la dieta parece no tener efectos negativos sobre los parámetros productivos y el rendimiento de la canal. Finalmente, y debido a los resultados microbiológicos obtenidos, el uso de insectos es seguro como suplemento en la dieta de broilers.

Referencias

- AKINNABO, O., y KETIKU, A.** (2000). Chemical composition and fatty acid profile of edible larva of *Cirina forda* (Westwood). *African Journal Biomed.* **13**: 93-96.
- ALEGBELEYE, W.O., OBASA, S.O., OLUDE, O.O., OTUBU, K., y JIMOH, W.** (2012). Preliminary evaluation of the nutritive value of the variegated grasshopper (*Zonocerus variegatus* L.) for African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell. 1822) fingerlings. *Aquacult. Res.* **43**: 412-420.
- ANAND, H., GANGULY, A., y HALDAR, P.** (2008). Potential value of acridids as high protein supplement for poultry feed. *International Journal of Poultry Science* **7**: 722-725.
- AOAC** (2005) *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 18th Ed. AOAC, Arlington, VA.
- BUKKENS, S.G.F.** (1997). The nutritional value of edible insects. *Ecol. Food Nutr.* **36**: 287-319.
- CUCA, G.M., AVILA, E.G.E., y PRO, A.** (1996). Alimentación de las aves, 8th edición. Chapingo, México. University Autón.
- DEFOLIART, G., FINKE, M., y SUNDE, M.** (1982). Potential value of the Mormon cricket (Orthoptera: Tettigoniidae) harvested as a high-protein feed for poultry. *J. Econ. Entomol.* **75**: 848-852.
- DUFOUR, D.L.** (1987). Insects as food: A case study from the Northwest Amazon. *American Anthropologist* **89**: 383-397.
- FAGONEE, I.** (1983). Inclusion of silkworm pupae in poultry rations. *J.Trop.Vet* **1**: 91-96.
- FEDNA** (2008) *Necesidades nutricionales para avicultura*. Eds: R. Lázaro y G.G. Mateos. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, Madrid, España
- HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, M., RAMOS-ELORDUY, J., PINO-MORENO, J. y ACOSTA-CASTAÑEDA, C.** (2008). Evaluación de dietas con inclusión de harina de ninfas de *Periplaneta americana* para la alimentación de la carpa japonesa. *Ciencia Pesquera* **16**: 23-28.
- HWANGBO, J., HONG, E.C., JANG, A., KANG, H.K., OH, J.S., KIM, B.W., y PARK, B.S.** (2009). Utilization of house fly-maggots, a feed supplement in the production of broiler chickens. *J. Environ. Biol.* **30**: 609-614.
- KHATUN, R., HOWLIDER, M., RAHMAN, M., and HASANUZZAMAN, M.** (2003). Replacement of fish meal by silkworm pupae in broiler diets. *Pakistan Journal of Biological Sciences* **6**: 955-958.
- KUMAR, A., HASAN, S., y JAGANNATHA RAO, R.** (1992). Studies on the performance of broilers fed on silkworm moth meal. *Int. J. Anim. Sci.* **7**: 227-227.
- NAKAGAKI, B., SUNDE, M., y DEFOLIART, G.** (1987). Protein quality of the house cricket, *Acheta domesticus*, when fed to broiler chicks. *Poult. Sci.* **66**: 1367-1371.
- OYEGOKE, O.O., AKINTOLA, A.J., y FARSORANTI, J.O.** (2006). Dietary potentials of the edible larvae of *Cirina forda* (westwood) as a poultry feed. *African Journal of Biotechnology* **5**: 1799-1802.
- RAHMAN, M., ZAHER, M., MAZID, M., HAQUE, M., y MAHATA, S.** (1996). Replacement of costly fish meal by silkworm pupae in diet of mirror carp (*Cyprinus carpio* L.). *Pak. J. Sci. Ind. Res.* **39**: 64-67.
- RAMOS-ELORDUY, J., GONZALEZ, E.A., HERNANDEZ, A.R., y PINO, J.M.** (2002). Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens. *J. Econ. Entomol.* **95**: 214-220.
- RAMOS-ELORDUY, J.** (1997). Insects: a sustainable source of food? *Ecol. Food Nutr.* **36**: 247-276.
- SANZ, M., FLORES, A., DE AYALA, P.P. y LOPEZ-BOTE, C.J.** (1999) Higher lipid accumulation in broilers fed on saturated fats than in those fed on unsaturated fats. *British Poultry Science* **40**: 95-101.
- SAS** (2008) Version 9.2, Statistical Analysis System Institute Inc., Cary, NC. USA.
- SUKHIJA, P.S. y PALMQUIST, D.L.** (1988) Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuffs and feces. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **36**: 1202-1206.
- TACON, A.C.** (1994). Dependence of intensive aquaculture system on fish meal. *F.A.C. Aquat. Newsletter* **6**: 10-16.
- TAYLOR, R.L.** (1975). Butterflies in My Stomach: Or: Insects in Human Nutrition (Santa Barbara, California: Woodbridge Press).

- WANG, D., ZHAI S., ZHANG, C., ZHANG, Q., y CHEN, H.** (2007). Nutrition value of the Chinese grasshopper *Acrida cinerea* (Thunberg) for broilers. *Anim. Feed Sci. Technol.* **135**: 66-74.
- WIJAYASINGHE, M.S., y RAJAGURU, A.S.B.** (1977). Use of Silkworm (*Bombyx mori* L.) Pupae as a protein supplement for poultry rations. *J. Natn. Sci. Coun. Sri Lanka* **5**: 95-104.
- YANG, L., SIRIAMORNPUN, S., y Li, D.** (2006). Polyunsaturated fatty acid content of edible insects in Thailand. *Journal of Food Lipids* **13**: 277-285.