



Larvas de gusano de harina (*Tenebrio molitor*) como alternativa proteica en la alimentación animal

Luis Carlos Medrano Vega

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiental
Bogotá, Colombia
2019

Larvas de gusano de harina (*Tenebrio molitor*) como alternativa proteica en la alimentación animal

Luis Carlos Medrano Vega

Monografía presentada como requisito parcial para optar al título de:
Zootecnista

Director:

Ana Milena Vanegas Azuero

Línea de investigación:

Nutrición animal sostenible

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiental
Bogotá, Colombia

2019

“Tengo un secreto para triunfar: volver a empezar”.

Anónimo

AGRADECIMIENTOS

Durante el transcurso de mi proceso de aprendizaje me enfrente con muchos retos personales, los cuales fueron provechosos para mi formación. Ahora que me encuentro culminando esta etapa tan especial en la vida de cualquier ser humano quiero agradecer a:

Mis padres por su educación, consejos y apoyo incondicional que me permitieron ser una persona ética y con ideales.

A mis hermanos por brindarme asesoría para solucionar las diferentes dificultades durante todo el tiempo de mi proceso formativo.

A Helen Carolina Vivas por estar incondicionalmente brindándome su colaboración respecto al apoyo moral.

Finalmente agradezco a mi profesora Ana Milena Vanegas por su dirección y enseñanzas generadas durante la elaboración de esta monografía.

Resumen

En los últimos años se ha generado un aumento en la población mundial que ha provocado una mayor demanda por fuentes de proteína de origen animal para su alimentación. Los altos costos para la obtención y extracción de materias primas necesarias para la industria de elaboración de alimentos balanceados para animales, así como el impacto ambiental que esto genera, ha provocado un creciente interés por la búsqueda de nuevas alternativas que permitan el reemplazo de las fuentes de proteína convencionales como son la harina de soya y de pescado.

En este sentido, los insectos aparecen como una alternativa nutricional interesante para la alimentación de especies animales monogástricas, gracias a su alto porcentaje de proteína de excelente valor biológico y compuestos fundamentales como vitaminas, minerales y ácidos grasos poliinsaturados. Otras de las ventajas que presenta este tipo de producción y que viabiliza su uso en la alimentación animal, es la resistencia a cambios climáticos adversos, el poco espacio que requieren para su producción y bajo impacto ambiental.

Dentro de los insectos estudiados para la alimentación animal, se encuentra un coleóptero que proporciona buenos resultados a nivel nutricional, comúnmente llamado gusano “amarillo o de la harina” (*Tenebrio molitor*). Con respecto a sus propiedades nutricionales, se destaca su excelente contenido de proteína de fácil digestión, así como la presencia de ácidos grasos poliinsaturados, especialmente oleico y linoleico, minerales y vitaminas, e incluso se ha reportado la producción de péptidos bioactivos.

Sin embargo, en Colombia la información al respecto todavía es escasa, por lo cual este trabajo tiene como objeto ofrecer una revisión bibliográfica rigurosa sobre del uso del *Tenebrio molitor* como una fuente alternativa proteica en la alimentación de animales monogástricos.

Palabras claves: *nutrición animal, proteína, ácidos grasos, insecto, coleóptero, Tenebrio molitor.*

Abstract

In the last years, an increase of worldwide population has been generated a higher demand of animal protein sources for alimentation. The elevated costs for the extraction and production of protein sources necessary for the animal feeding industry, as well as the environmental impact, has been generated a growing interest for the search the new alternatives for the replacement of the conventional protein sources as they are the soy and fish meal.

In this context, the insects appear as an interesting alternative source for the nutrition of the monogastric animals species, because to its protein high content of high biologic value and important compounds such as the vitamins, minerals and polyunsaturated fatty acids. Other advantages of this productive system for the use in animal feeding is its resistance to adverse changes climatic and little space for its rearing.

Within the insects studied for the animal feeding, there is a coleopter that provides good results in the nutritional field, commonly named yellow mealworm (*Tenebrio molitor*). With regard to its nutritional properties, is very important, its excellent content of easy digestion protein, as well as the content of polyunsaturated fatty acids, especially oleic and linoleic, minerals, vitamins, and it has even been reported the production of bioactives peptides.

However, in Colombia the information is still poor, whereby the aim of this document is make a literature review about the utilization of the *Tenebrio molitor* as an alternative protein source in the monogastrics animals feeding.

Key words: *animal nutrition, protein, fatty acids, insect, coleopter, Tenebrio molitor*

Tabla De Contenido

Resumen	5
Abstract	6
1. Introducción.....	10
2. Generalidades del gusano de harina (<i>Tenebrio molitor</i> Linnaeus)	12
2.1. Características morfológicas y ciclo de vida.....	12
2.2. Hábitos alimenticios.....	14
3. Composición química y valor nutricional del <i>Tenebrio molitor</i>	15
3.1. Humedad.....	15
3.2. Proteína.....	16
3.3. Minerales y vitaminas.....	18
3.4 Grasa.....	19
4. Inclusión de <i>Tenebrio molitor</i> en la alimentación de animales monogástricos	23
4.1. Peces.....	24
4.2. Aves.....	30
4.3. Otras especies.....	35
4.3.1. Cerdos.....	35
4.3.2. Camarón del pacífico (<i>Litopenaeus vannamei</i>).....	36
5. Conclusiones y Recomendaciones	38
Anexos	40
Bibliografía	41

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación Taxonómica del <i>Tenebrio molitor</i> . Fuente: (Vásquez Avila, 2016)	12
Tabla 2. Composición química del <i>Tenebrio molitor</i> en tres fases de crecimiento (% en base seca). Adaptado de (Nowak, Persijn, Rittenschober, & Charrondiere, 2016; M.-J. Sánchez-Muros et al., 2014).....	15
Tabla 3. Contenido de aminoácidos de la larva de <i>Tenebrio molitor</i> , harina de soya y requerimientos proteicos de juveniles de salmón (g/16 g. de nitrógeno). Adaptado de: Azagoh, et al., 2016.....	17
Tabla 4. Contenido de vitaminas y minerales de diferentes especies de insectos usados como fuente de proteína (mg/kg). Adaptado de: (Akhtar & Isman, 2018).....	18
Tabla 5. Contenido de vitaminas de la larva de <i>Tenebrio molitor</i> , los datos se encuentran expresados en base a 100 gr de porción comestible. Adaptado de Novak, et al., 2016.	19
Tabla 6. Principales ácidos grasos presentes en diferentes tipos de insectos y fuentes convencionales para la alimentación animal (% del total de ácidos grasos)	22

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Ciclo de vida del *Tenebrio molitor*. Fuente: <https://www.livinfarms.com/blog-1/2018/7/24/mealworm-vs-buffalo-worm-what-is-the-difference> 13
- Figura 2. . Insectos usados en la alimentación animal (% de artículos científicos) Tomado de (M. J. Sánchez-Muros, Barroso, & de Haro, 2016) 23
- Figura 3. Principales insectos utilizados para la alimentación animal en acuicultura (%de artículos científicos) Tomada de (M. J. Sánchez-Muros et al., 2016) 25

1. Introducción

A medida que va pasando el tiempo nos enfrentamos a nuevos retos respecto a la sostenibilidad de producciones dedicadas a la cría y levante de animales domésticos. Para el año 2050 se proyecta que la población mundial alcanzará los 9 billones de habitantes, lo que se traduce en una creciente demanda por proteínas de origen animal especialmente de especies monogástricas como las aves y los peces (I. Biasato et al., 2017).

Esta situación está generando un deterioro del medio ambiente relacionado con la extracción de materias primas requeridas para la producción de alimento balanceado (Sancho, Alvarez Gil, & Fernández Sánchez, 2015) ya que requieren de grandes extensiones de tierras fértiles y agua en abundancia, lo que afecta la sostenibilidad de las granjas dedicadas a la cría de estos animales (Ravzanaadii, Kim, Choi, Hong, & Kim, 2012). En este sentido, la búsqueda de fuentes alternativas para su alimentación es un tema de interés actual en el campo de la nutrición animal.

Las principales fuentes de proteína utilizadas en las dietas de estas especies son la harina de soya y la harina de pescado. Estas materias primas en nuestro país son importadas y durante los últimos años se ha incrementado su costo debido a su alta demanda, lo que podría en un futuro afectar su disponibilidad

En este contexto, los insectos han sido propuestos como una fuente alternativa de proteína, aún más cuando hacen parte de la dieta natural de especies como los peces y aves (Nizza et al., 2016). Adicionalmente, cuentan con una gran capacidad de transformar diferentes tipos de desecho en proteína de alta calidad y requieren poco espacio para su crianza, lo que los hace ambientalmente sostenibles (M.-J. Sánchez-Muros, Barroso, & Manzano-Agugliaro, 2014).

Dentro de las diferentes especies de insectos, se destaca la larva del gusano de harina (*Tenebrio molitor*) que se caracteriza por el alto valor biológico de su proteína, excelente perfil de ácidos grasos y buena digestibilidad (Makkar, Tran, Heuzé, & Ankers, 2014). El

Tenebrio molitor es un escarabajo que se alimenta de grano, harina y sus productos derivados. Son ricos en proteínas (47–60%) y lípidos (31–43%) con alto contenido en ácidos grasos poliinsaturados especialmente ácido oleico y linoleico, lo que los hace adecuados para su inclusión en alimentos para animales. Sus larvas se crían fácilmente en productos vegetales y animales de bajo valor nutritivo. Se producen comercialmente para ser utilizados como alimento para mascotas (aves y reptiles) o cebos de pesca (Makkar et al., 2014).

A pesar de estas excelentes características nutricionales, en Colombia los estudios respecto a este tema aún son escasos. Por esta razón el objeto de este trabajo es realizar una revisión bibliográfica detallada de la composición, valor nutricional y uso de larvas de *Tenebrio molitor* en la alimentación de animales monogástricos.

2. Generalidades del gusano de harina (*Tenebrio molitor* Linnaeus)

La familia de los tenebrios es amplia y se conocen cerca de 14600 especies que presentan diferentes características en cuanto su morfología, características como su tamaño, color y forma varían notablemente dependiendo de la especie (Díaz Gámez, 2014). El gusano de la harina corresponde a las larvas de dos tipos de escarabajos oscuros de la familia Tenebrionidae, el escarabajo amarillo (*Tenebrio molitor* Linnaeus) y el escarabajo oscuro común (*Tenebrio obscurus* Fabricius), esta clase de escarabajos son autóctonos de Europa y actualmente se distribuyen por todo el mundo (Azagoh et al., 2016; Makkar et al., 2014). La clasificación taxonómica de este insecto puede observarse en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación Taxonómica del *Tenebrio molitor*. Adaptada de (Vásquez Avila, 2016)

Nombre Científico	<i>Tenebrio molitor</i> Linnaeus
Clase	Insecto
Orden	Coleóptero
Familia	Tenebrionidae
Género	Tenebrio
Especie	Molitor

2.1. Características morfológicas y ciclo de vida

El *Tenebrio molitor* mal llamado gusano de harina, es un coleóptero de color castaño oscuro de cuerpo compacto con bordes paralelos. En su estado adulto posee unas medidas aproximadas de 18.0 mm de largo por 4.0 mm de ancho.

El ciclo de vida del *Tenebrio molitor* es variable, aproximadamente dura entre 280 – 600 días. Las hembras pueden depositar entre 250 a 1000 huevos ovalados de color blanco, con forma de riñón aisladamente o en racimo en materiales alimenticios. Estos huevos son incubados durante aproximadamente 10 a 12 días, en una temperatura óptima

contemplada entre 18° a 20°C. Al cabo de este tiempo eclosionan larvas blancas que van adquiriendo un color amarillento a medida que crecen, las cuales en su estado de desarrollo miden de 2.5 a 3.75 cm de largo (Díaz Gámez, 2014). Durante esta fase pasan por varios estadios que pueden durar de 3 a 4 meses, incluso puede llegar a durar hasta 18 meses dependiendo de las condiciones de crianza (Makkar et al., 2014).

La larva madura posee un color amarillo y marrón claro, tiene una longitud y peso de aproximadamente 20 mm y 160 mg respectivamente, aunque actualmente los productores comerciales de larvas agregan una hormona en la alimentación para evitar que muden y pasen a ser adultos, dando como resultado larvas gigantes que pueden alcanzar los 2 cm de longitud y un peso de 300 mg (Makkar et al., 2014).

La siguiente etapa catalogada como pupa, tiene una duración de 7 a 9 días con una temperatura de 25°C o en su defecto puede llegar hasta 20 días a temperaturas más bajas. Finalmente llega a etapa de estado adulto convirtiéndose en escarabajo y puede vivir de dos a tres meses (Azagoh et al., 2016; Makkar et al., 2014). La Figura 1 esquematiza el ciclo de vida del *Tenebrio molitor*.

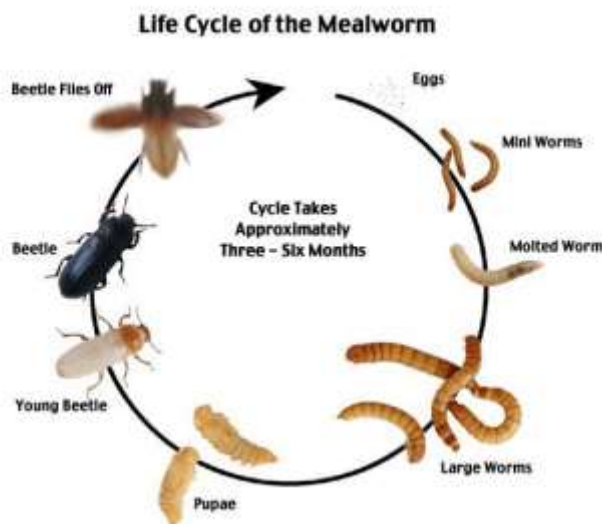


Figura 1. Ciclo de vida del *Tenebrio molitor*. Tomada de <https://www.livinfarms.com/blog-1/2018/7/24/mealworm-vs-buffalo-worm-what-is-the-difference>

2.2. Hábitos alimenticios

Los tenebrios se alimentan de todo tipo de cereales y granos y prefieren los que se encuentran húmedos y en estado de descomposición. Atacan todo tipo de subproductos de la molienda, harinas, semillas, insectos muertos entre otros. Son coleópteros de hábitos nocturnos (Intriago Sánchez & Valencia Burgos, 2014).

A pesar de que estos insectos prefieren los productos de molinería, son omnívoros y bajo condiciones de cautiverio pueden ser alimentados con toda clase de desechos de plantas, harinas de trigo y maíz entre otras y generalmente son suplementados con fuentes proteicas como la harina de soya y leche en polvo. La dieta deberá ser balanceada para que tenga cerca del 20% de proteína en base seca. Es importante el suministro de materiales húmedos (frutas y vegetales), ya que los niveles adecuados de humedad permiten un mejor desempeño de la fertilidad, además de aumentar su productividad. Los tenebrios son capaces de transformar desechos de baja calidad en proteína y grasa de excelente calidad en poco tiempo (Makkar et al., 2014).

3. Composición química y valor nutricional del *Tenebrio molitor*

El *Tenebrio molitor* está compuesto principalmente por agua, proteínas, grasa, carbohidratos, minerales y otras sustancias, que en conjunto dan cuenta de su valor nutricional. El insecto vivo está compuesto por 20% de proteína, 13% de grasa, 2% de fibra y 62% de agua, mientras que las larvas secas se componen aproximadamente de 53% de proteína, 28% de grasa, 6% de fibra, y 5% de agua (Mariod, Saeed Mirghani, & Hussein, 2017). Sin embargo, su composición química puede variar de acuerdo a su alimentación, estado de desarrollo y hábitat (Akhtar & Isman, 2018). En la Tabla 2 se presenta la composición química del *Tenebrio molitor* en diferentes etapas de desarrollo.

Tabla 2. Composición química del *Tenebrio molitor* en tres fases de crecimiento (% en base seca). Adaptado de (Nowak, Persijn, Rittenschober, & Charrondiere, 2016; M.-J. Sánchez-Muros et al., 2014)

Componente	Larva	Pupa	Adulto
Humedad	62	61	62.1
Proteínas	49.5	54.6	66.3
Extracto etéreo	38.1	30.8	14.9
Cenizas	2.8	3.4	3.3

3.1. Humedad

Los valores reportados para humedad resultan similares para todos los estadios del insecto incluso en su fase madura, al contrario de otras especies en las que el contenido de humedad aumenta a medida que este crece (Nowak et al., 2016). Contenidos de 60 a 70% de humedad han sido reportados (Azagoh et al., 2016), este rango de variación probablemente se deba al tipo de dieta ofrecida a los insectos (van Broekhoven, Oonincx, van Huis, & van Loon, 2015)

3.2. Proteína

El alto contenido de proteína en las larvas de *Tenebrio molitor*, es quizás lo que lo hace una materia prima de gran interés en la alimentación de animales, incluso llegando a ser mayor que en la harina de soya, principal fuente proteica en la alimentación animal (De Marco et al., 2015). El contenido de proteína en base seca puede variar de 47-60% (De Marco et al., 2015; Makkar et al., 2014). Estas variaciones pueden deberse a diferentes factores como la fase de desarrollo, alimentación, entre otros. De acuerdo con lo reportado por Azagoh, et al., 2016, la remoción de la grasa incrementa el contenido de proteína cruda en el producto, siendo de 83% en las larvas desengrasadas, 80,8% en la harina de larvas desengrasada frente al 71,6 y 65,5% en la harina de larvas y larvas de *Tenebrio molitor*.

En cuanto a su perfil de aminoácidos, es importante destacar que la lisina y la leucina son dos de los aminoácidos esenciales más abundantes, mientras que el ácido glutámico es el más abundante del grupo de los no esenciales (De Marco et al., 2015). Adicionalmente es buena fuente de treonina, aminoácido importante en la dieta animal (Mariod et al., 2017). Todos los aminoácidos esenciales se encuentran en cantidades adecuadas para suplir los requerimientos del salmón a excepción de la metionina, lo que evidencia la gran calidad de la proteína de este insecto (Azagoh et al., 2016) El perfil de aminoácidos de las larvas de *Tenebrio molitor* se presenta en la Tabla 3.

Con relación a la digestibilidad de la proteína, estudios han demostrado que una exposición a temperaturas excesivamente altas en los procesos de secado y deshidratación de las larvas para su inclusión en las dietas podría reducir la digestibilidad, ya que no podría ser hidrolizada por las enzimas digestivas del tracto gastrointestinal del animal, debido a la inducción de reacciones entre aminoácidos. Sin embargo, se han encontrado resultados opuestos donde la digestibilidad de la proteína *in vitro* fue menor en los insectos crudos con valores cercanos al 85%, frente a aquellos a los que se les realizaron diferentes procesos de cocción los cuales presentaron valores por encima del 90%. Estas diferencias pueden deberse a diversos factores como la

temperatura, el tiempo de cocción y las metodologías usadas en los experimentos de digestibilidad (Caparros Megido et al., 2018).

Tabla 3. Contenido de aminoácidos de la larva de *Tenebrio molitor*, harina de soya y requerimientos proteicos de juveniles de salmón (g/16 g. de nitrógeno). Adaptado de: Azagoh, et al., 2016

Aminoácido	<i>Tenebrio molitor</i>	Harina de soya	Requerimiento de juveniles de salmón
Esenciales			
Histidina	2.5	3.1	1.8
Isoleucina	3.5	4.2	2.2
Leucina	6.2	7.6	3.9
Lisina	5.4	6.2	5.0
Metionina	0.7	1.3	4.0
Cisteína	0.6	1.4	
Treonina	3.2	3.8	2.2
Valina	5.4	4.5	3.2
Triptófano	1.2	1.4	0.5
No esenciales			
Arginina	4.2	7.6	
Alanina	6.6	4.54	
Acido glutámico	8.3	19.9	
Acido aspártico	6.4	14.1	
Glicina	4.2	4.5	6.0

Por otra parte, se ha reportado la producción de péptidos bioactivos con actividad microbiana por parte del *Tenebrio molitor* capaces de contrarrestar infecciones por hongos y bacterias gram- positivas y gram-negativas (de Souza et al., 2015).

3.3. Minerales y vitaminas

Se ha evidenciado alto contenido de minerales en las larvas de *Tenebrio molitor*. Sin embargo, esta fracción sigue siendo más baja frente a otros insectos usados en alimentación humana y animal (Tabla 4). Particularmente, el contenido de Ca en las larvas de *Tenebrio molitor* y en general en los insectos es relativamente bajo debido a que en su mayoría no poseen un esqueleto interno (Nowak et al., 2016), lo que puede resultar en un limitante que debe ser tenido en cuenta a la hora del balanceo de raciones para especies que requieren altos niveles de Ca como por ejemplo las gallinas ponedoras.

De acuerdo con lo reportado por Mariod et al., 2017, el contenido de los principales minerales presentes en este tipo de larvas son los siguientes: magnesio (87.5 mg / 100 g), zinc (4.2 mg / 100 g), hierro (3.8 mg / 100 g), cobre (0.78 mg / 100 g) y manganeso (0.44 mg / 100 g). Sin embargo, se ha evidenciado una alta variabilidad en los datos reportados en la literatura, probablemente debido a los diferentes métodos analíticos usados, así como a factores específicos de cada especie.

Tabla 4. Contenido de vitaminas y minerales de diferentes especies de insectos usados como fuente de proteína (mg/kg). Adaptado de: (Akhtar & Isman, 2018)

Insecto	Ca	Zn	Fe	K	Mg	Niacina	B12	Tiamina
Grillo (<i>A. domesticus</i>)	40.7	6.7	1.9	347	33.7	3.8	5.4	34.1
Gusano de harina (<i>T.molitor</i>)	23.1	4.6	2.2	340	60.6	5.6	0.5	2.1
Gusano ceroso (<i>G. mellonello</i>)	24.3	2.5	5	221	32.6	3.7	0.1	2.3
Larva de mosca soldado negra (<i>Hermetia illucens</i>)	934.2	13	6.6	453	40	7.1	5.5	7.7
Gusano de seda (<i>B. mori</i>)	17.7	3.1	1.6	326	49.8	2.6	0.1	3.3
Mosca doméstica (<i>Musca domestica</i>)	76	8.5	12.5	303	80.6	9	0.6	11.3

En cuanto al contenido de vitaminas, se encuentra poca información disponible en la literatura. Novak et al., 2016, reporta el contenido de vitaminas de la larva de *Tenebrio molitor*, y teniendo en cuenta los valores nutricionales de referencia establecidos por el

Codex alimentarius para el etiquetado de alimentos, este insecto podría ser catalogado como fuente de niacina, riboflavina, folato, vitamina B12 y vitamina 6 y como alto en riboflavina, piridoxina y vitamina B12 (Tabla 5).

Tabla 5. Contenido de vitaminas de la larva de *Tenebrio molitor*, los datos se encuentran expresados en base a 100 gr de porción comestible. Adaptado de Novak et al., 2016.

Vitamina E (Unidades internacionales UI)	0,99
Vitamina A (UI)	29
α -tocoferol (mg)	1,9
Piridoxina (mg)	0,70
Tiamina (mg)	0,18
Riboflavina (mg)	1,21
Niacina (mg)	4,10
Ácido pantoténico (mg)	2,04
Folato (μ g)	137
Vitamina B12 (μ g)	0,30
Vitamina C (mg)	1,8

3.4 Grasa

La larva de *Tenebrio molitor* posee un alto nivel de grasa comparado con otras materias primas. Los datos disponibles en la literatura con respecto al contenido de lípidos reportan valores que oscilan entre el 24 y el 43% en base seca (Azagoh et al., 2016; Makkar et al., 2014; Valdez Pantoja & Untiveros Bermúdez, 2010). Esta particularidad se puede convertir en una limitación en algunas producciones animales, porque puede inhibir el crecimiento de los animales e incluso generar alteraciones metabólicas.

Se han evaluado las características organolépticas y fisicoquímicas del aceite extraído de las larvas de *Tenebrio molitor*, encontrando que es un aceite con sabor suave y olor ligeramente a maní (Valdez Pantoja & Untiveros Bermúdez, 2010), lo que podría sugerir que podría ser fácilmente utilizado como un ingrediente en dietas para animales. El índice de saponificación reportado es muy similar al del aceite de oliva siendo de 192,2 mg KOH/g de grasa y 192,4 mg KOH/g de grasa respectivamente (Valdez Pantoja &

Untiveros Bermúdez, 2010). Algunos estudios han reportado un valor menor de saponificación llegando a 162 mg KOH/g (Mariod et al., 2017).

Con relación al perfil de ácidos grasos es importante destacar que puede ser modificado por factores como el tipo de alimentación que se ofrezca a los insectos durante su crianza, así como por los procesos involucrados en la manufactura de harinas a partir de las larvas (M.-J. Sánchez-Muros et al., 2014).

La grasa del *Tenebrio molitor* presenta cantidades considerables de ácidos grasos insaturados, componentes esenciales en diferentes procesos metabólicos de los animales. Estos ácidos grasos corresponden a cerca del 80% del total de la grasa presente en las larvas y están representados principalmente por el ácido oleico (monoinsaturado) y linoleico (poliinsaturado) (Valdez Pantoja & Untiveros Bermúdez, 2010).

Diversos estudios han demostrado, que los ácidos grasos poliinsaturados de las familias omega 3 $C18:3$ y omega 6 $C18:2$ actúan en la prevención del cáncer y de algunas enfermedades cardiovasculares. Dentro de este tipo de ácidos grasos se encuentran el ácido linoleico $C18:2n-6$ y el ácido linolénico $C18:3n-3$, ácidos grasos esenciales que no pueden ser sintetizados por los mamíferos y por consiguiente deben ser suministrados en la dieta. Además de los beneficios anteriormente mencionados, estos compuestos actúan como precursores de ácidos grasos de cadena larga como el eicosapentanoico-EPA ($C20:5n-3$), docosahexanoico-DHA ($C22:6n-3$) y araquidónico-ARA ($C20:4n-6$) que son esenciales tanto para humanos como animales en funciones de respuesta de transmisión nerviosa y funciones cerebrales, entre otras.

Alves et al., 2019, reportó que el extracto de aceite proveniente de larvas de *Tenebrio molitor* contenía un 10,7% de ácido linoleico y 0,23 de ácido α -linolénico, aunque la mayoría de estudios han obtenido porcentajes de ácido linoleico superiores al 20% (M.-J. Sánchez-Muros et al., 2014; Makkar et al., 2014; Valdez Pantoja & Untiveros Bermúdez, 2010).

Normalmente, los insectos terrestres como el *Tenebrio molitor* presentan deficiencias en EPA y DHA, ácidos grasos con importantes funciones biológicas en los vertebrados, al contrario de los insectos acuáticos que presentan altos niveles de EPA, lo que los convierte en buena fuente de estos biocompuestos especialmente en la alimentación de peces de agua dulce. Por su parte, el DHA solamente aparece en unas cuantas especies del género *Notonecta* y el orden *Ephemeroptera* (M.-J. Sánchez-Muros et al., 2014).

En este sentido, fuentes convencionales como la harina de pescado presentan mayores niveles de estos ácidos grasos de cadena larga frente a la mayoría de insectos (M.-J. Sánchez-Muros et al., 2014). En la Tabla 6 se observa el perfil de ácidos grasos de diferentes tipos de insectos incluido el *Tenebrio molitor*, frente a fuentes convencionales para la alimentación animal como la harina de soya y la harina de pescado.

Tabla 6. Principales ácidos grasos presentes en diferentes tipos de insectos y fuentes convencionales para la alimentación animal (% del total de ácidos grasos)

	SFA			MUFA				PUFA				Referencia
	C14:0	C16:0	C18:0	C16:1n-7	C18:1n-9	C18:2n-6	C18:3n-3	C20:3n-6	C20:4n-6	C20:5n-3	C22:6n-3	
Aceite de pescado	3.2	13.5	2.7	9.8	23.7	1.4	0.6		1.6	11.2	12.6	(1)
Aceite de soya	0.1	10.3	3.8	0.2	22.8	51	6.8	0.2				(1)
Insectos terrestres												
<i>Tenebrio molitor</i>	3.3	16.1	2.5	3	41.9	30.9	1.4	0	0	0	0	(1)
<i>Tenebrio molitor</i>	3.69	14.98	2.54	3.73	51.33	22.47	0	ND	ND	ND	ND	(2)
<i>Tenebrio molitor</i>	4.0	21.1	2.7	4.0	37.7	27.4	1.3					(3)
<i>Galleria mellonella</i>	0.2	34.6	1.5	2.2	54	6.6	0.5	0	0	0	0	(1)
<i>Locusta migratoria</i>	2.3	39	5.4	1.8	26.2	3.8	21.4	0	0	0	0	(1)
<i>Copris nevinsoni</i>	0.3	1.31	28.26	N.D	3.68	1.75	0	10.36	40.24	12.94	N.D	(1)
<i>Holotrichia sp.</i>	N.D	0.77	27.92	0.51	5.59	N.D	0	13.86	47.26	N.D	3.39	(1)
Insectos acuáticos												
<i>Berosus sp.</i>	3.1	18.1	15.4	6.7	19.7	11.3	4.9	0	0	5.7	0	(1)
<i>Lara avara</i>	0.9	18.5	2.1	9.1	36.2	21.3	5.5	0	0	0.9	0	(1)
<i>Psephenus sp.</i>	3	21.7	3	12	24.6	5.4	7	0	0	9.7	0	(1)

(1) (M.-J. Sánchez-Muros et al., 2014), (2) (Valdez Pantoja & Untiveros Bermúdez, 2010), (3) (Makkar et al., 2014)

4. Inclusión de *Tenebrio molitor* en la alimentación de animales monogástricos

Haciendo frente a los crecientes problemas en la generación de alimentos a nivel mundial, los gobiernos y entidades privadas han promovido el desarrollo de la industria dedicada a la crianza de insectos como fuente de alimentación animal (Azagoh et al., 2016). El uso de insectos representa un gran potencial para mejorar la sostenibilidad de los sistemas intensivos de producción animal, ya que permite minimizar los impactos ambientales sobre los recursos naturales y en su mayoría presentan un interesante valor nutricional (Verbeke et al., 2015). En la Figura 2 se muestran los principales órdenes de insectos usados para alimentación animal de acuerdo a las publicaciones realizadas a nivel mundial.

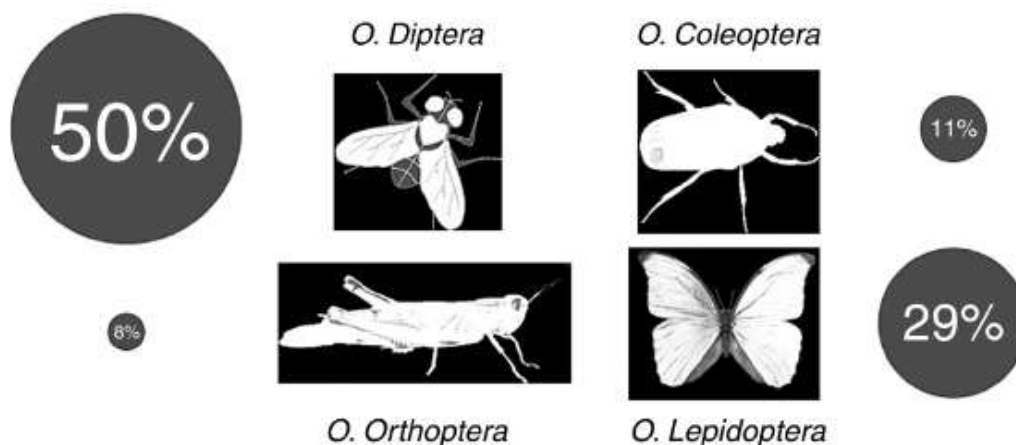


Figura 2. . Insectos usados en la alimentación animal (% de artículos científicos)

Tomado de (M. J. Sánchez-Muros, Barroso, & de Haro, 2016)

En el año 2017 la Comisión Europea a través de la reglamentación 2017/893-24/05/2017, autorizó la inclusión de 7 especies comestibles de insectos para la alimentación de sistemas acuícolas, dentro de las cuales se encuentra el *Tenebrio molitor*. Este insecto se considera una buena fuente para el reemplazo parcial de fuentes convencionales como la harina de soya y la harina de pescado las cuales representan elevados costos en la alimentación de especies monogástricas tales como aves, cerdos y peces (Henry, Gasco, Chatzifotis, & Piccolo, 2018).

Por otra parte, los animales mantenidos en centros de conservación, como bioparques, zoológicos y centros de recepción y rehabilitación de fauna, tienen la necesidad de consumir una dieta que cumpla con sus requerimientos nutricionales específicos. En este sentido el *Tenebrio molitor* gracias a sus propiedades nutricionales y teniendo en cuenta que es un alimento habitual en el medio natural de este tipo de animales, podría ser una buena fuente para su suplementación.

Las larvas de *Tenebrio molitor* pueden ofrecerse como alimento vivo, sin embargo actualmente la industria ofrece las larvas secas e incluso en forma de harina. Algunos estudios han evaluado diferentes métodos de secado, así como temperaturas y tiempos de procesamiento (Mariod et al., 2017). Estos procesos de conservación aumentarían la vida útil de los productos y garantizaría un menor riesgo de contaminación por cualquier tipo de microorganismo.

A continuación, se presenta una revisión bibliográfica del uso de *Tenebrio molitor* en la alimentación de peces y aves principalmente.

4.1. Peces

La acuicultura en los últimos años ha tenido un fuerte crecimiento debido a la alta demanda por este tipo de proteína a nivel mundial. Teniendo en cuenta los exigentes requerimientos nutricionales de los peces, son utilizados ingredientes ricos en proteína en la elaboración de los alimentos balanceados. Es así, como la harina y aceite de pescado son materias imprescindibles en esta industria. Sin embargo, la demanda

excesiva de estos alimentos ha provocado un aumento en los precios que se ha visto reflejado en una disminución en su utilización. Sumado a esto se ha presentado el aumento de los precios del petróleo y la energía necesarios para su transformación (Iaconisi, Bonelli, Pupino, Gai, & Parisi, 2018)

Como respuesta a esta problemática se han buscado fuentes alternativas, dirigiendo la mirada a los insectos principalmente por su alto contenido de proteína y su perfil de aminoácidos (Iaconisi et al., 2018; M.-J. Sánchez-Muros et al., 2014). En la figura 3 se presentan las principales especies que actualmente se han evaluado en la alimentación de sistemas acuáticos, dentro de los cuales se encuentra el *Tenebrio molitor*.

Espece	Orden	%
<i>Musca doméstica</i>	Díptera	34
<i>Bombyx mori</i>	Lepidóptera	29
<i>Hermetia illuscens</i>	Díptera	13
<i>Tenebrio molitor</i>	Coleóptera	9

Figura 3. Principales insectos utilizados para la alimentación animal en acuicultura (%de artículos científicos) Tomada de (M. J. Sánchez-Muros et al., 2016)

El uso del *Tenebrio molitor* como sustituto parcial de la harina de pescado se ha estudiado en diferentes especies de peces. De acuerdo con los reportado por Iaconisi et al., 2018, se evaluaron diferentes niveles de inclusión de harina de *Tenebrio molitor* como sustituto parcial de la harina de pescado en la alimentación de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). Los resultados reportan que no hubo diferencias significativas en la ganancia de peso de los peces, así como en las características físicas de los filetes crudos y cocidos (pH, capacidad de retención de agua y fuerza de corte). Tampoco se presentaron diferencias en la composición proximal de los filetes a excepción del perfil de ácidos grasos que tuvo modificaciones con la inclusión de la harina de *Tenebrio molitor*. Hubo un aumento en los ácidos grasos oleico (C18:1n9) y linoleico (C18:2n6) y una disminución de EPA y DHA a medida que el nivel de inclusión del insecto fue mayor.

Esto se explica claramente por el bajo contenido de estos ácidos grasos de cadena larga en el insecto frente a la harina de pescado.

Igualmente, en otro estudio realizado con esta especie se determinó, que la inclusión de harina de *Tenebrio molitor* hasta en un 50% como reemplazo de la harina de pescado no afectó el crecimiento de los peces, ni la composición química del producto final (M. J. Sánchez-Muros et al., 2016).

Por otra parte, se ha evaluado la utilización de harina de *Tenebrio molitor* en la alimentación de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*). Los reportes de M^aJ. Sánchez-Muros et al., 2016, demuestran que el reemplazo parcial o total de la harina de soya y harina de pescado (25-50%) por harina de gusano amarillo, no afectó significativamente los niveles de ingesta, índices biométricos, digestibilidad *in-vitro* de la proteína y composición del perfil de aminoácidos del músculo. Sin embargo, se presentó un menor crecimiento en los peces, situación que fue atribuida a la presencia de quitina en el exoesqueleto del insecto, teniendo en cuenta que algunos estudios con tilapia han reportado que contenidos de 1% o más de quitina en la dieta pueden provocar depresión en el crecimiento de los peces.

El perfil lipídico del músculo también presentó modificaciones, encontrando un mayor contenido de ácidos grasos oleico (C18:1n9) 18:1n-9 y linoleico (C18:2n6) en los peces alimentados con dietas con inclusión de harina de *Tenebrio molitor* y una disminución de EPA y DHA, reflejando la composición de las dietas iniciales.

Henry et al., 2018, encontró que la inclusión de harina de *Tenebrio molitor* en la alimentación de lubina europea (*Dicentrarchus Labrax*), mejoró la actividad antiinflamatoria de los peces relacionada con una menor producción de óxido nítrico y actividad de la mieloperoxidasa y la ceruloplasmina en el suero de los peces. La actividad bacteriolítica en suero contra una bacteria Gram negativa no se vió afectada significativamente por la dieta, sin embargo la actividad antibacteriana de la lisozima y la inhibición de la tripsina sérica que se encuentran relacionadas con una mejora en la actividad antiparasitaria de los peces, se incrementó significativamente. En juveniles de

lubina se encontró que la inclusión del 25% de harina de gusano en la dieta no afectó significativamente el crecimiento de los peces y por el contrario permitió disminuir en un 36% el uso de la harina de pescado. Niveles de inclusión más altos afectaron negativamente el desarrollo de los animales. El perfil de ácidos grasos también fue afectado, presentando un aumento en el contenido de ácidos grasos de la familia omega 6 y una disminución drástica de ácidos grasos de la familia omega 3 (Gasco et al., 2016).

Reportes de inclusión de la harina de larvas en la alimentación de pez dorada (*Sparus aurata*) indican que porcentajes del 25 y 50% de harina de *Tenebrio molitor* en la dieta como reemplazo parcial de la harina de pescado tuvieron buena aceptación por parte de los peces. Los mejores resultados se dieron con la inclusión del 25%, con el cual no se presentaron efectos negativos sobre las características morfométricas del tracto digestivo ni sobre la digestibilidad de la proteína; incluso se obtuvieron mejores resultados en cuanto a la conversión alimenticia versus el grupo control. Al contrario, niveles mayores de inclusión (50%) afectaron negativamente la digestibilidad, además de disminuir el rendimiento en canal (Piccolo et al., 2017).

En el bagre africano (*Clarias. gariepinus*), se ha encontrado que el reemplazo de la harina de pescado con gusanos de la harina sean frescos o secos es una alternativa completamente viable. El reemplazo del 40% de la harina de pescado con gusano de harina (seco y molido) no presentó efectos negativos en la curva de crecimiento de los peces ni sobre la eficiencia alimenticia. Reemplazos hasta del 80% presentaron buenos resultados en estos aspectos, siendo ligeramente más bajos frente a la dieta control. Por su parte, los peces alimentados solamente con gusanos vivos presentaron una depresión en su crecimiento, aspecto que fue superado cuando se la alimentación se realizó conjuntamente con alimento comercial. Con relación a la composición química de la canal de los peces hubo un incremento del contenido de lípidos que fueron alimentados con las dietas experimentales (Ng, Liew, Ang, & Wong, 2001).

Resultados de un estudio realizado con alevines de bagre común (*Ameiurus melas*) demostraron que el reemplazó del 50% de la harina de pescado como fuente proteica en la dieta con harina de larvas de *Tenebrio molitor*, no afectó significativamente su

supervivencia, ni tampoco los parámetros de crecimiento, aunque los peces alimentados con harina de insecto obtuvieron un peso ligeramente menor. Sin embargo esto pudo deberse a que la dieta que contenía solamente harina de pescado contenía 51,6% de proteína y la dieta experimental 50,8% lo que pudo haber generados estas diferencias en las variables evaluadas (Roncarati, Gasco, Parisi, & Terova, 2015).

En el caso del besugo (*Pagellus bogaraveo*), un pez de importancia económica para la piscicultura mediterránea, se evaluó el efecto de dietas en las cuales se reemplazó el 25 y 50% de la harina de pescado por harina de larvas sobre parámetros productivos y características fisicoquímicas de la canal. No se encontraron diferencias significativas en la ganancia de peso, ingesta diaria de alimento ni conversión alimenticia, así como tampoco en los parámetros de calidad de los filetes tales como capacidad de retención de agua y textura. El color de la piel de la parte dorsal no fue afectada significativamente, al contrario de la región ventral la cual se tornó con menor luminosidad en los animales alimentados con la dieta con inclusión del 50% de *Tenebrio molitor*. Por su parte, el color de los filetes también sufrió modificaciones con la inclusión del insecto. La composición proximal no fue afectada a excepción del perfil de ácidos grasos donde se encontró una mayor cantidad de EPA en los animales mantenidos con la dieta control (Iaconisi et al., 2017).

Algunos estudios se han enfocado en la evaluación de la inclusión de harina de *Tenebrio molitor* sobre la respuesta inmunológica de los peces. En este sentido, se evaluó el efecto de la inclusión de un 25 y 50% de harina de *Tenebrio molitor* en la dieta suministrada a trucha arco iris, lo que representó un reemplazo del 35 y 67% respectivamente de harina de pescado. Los resultados obtenidos demuestran un marcado incremento en la actividad de las enzimas antioxidantes intestinales y una disminución en la peroxidación de los lípidos lo que indica que la harina de insecto es capaz de mejorar el sistema de defensa del intestino. Ese incremento en la respuesta inmunitaria podría estar dado por la presencia de quitina y de otros compuestos bioactivos presentes en las larvas. (Henry, Gai, Enes, Pérez-Jiménez, & Gasco, 2018)

La respuesta inmunitaria también fue evaluada en bagre amarillo (*Pelteobagrus fulvidraco*) un pez cultivado ampliamente en China y otros países asiáticos. Se determinó que la harina de pescado podría ser reemplazada hasta en un 75% por harina de *Tenebrio molitor* sin tener efectos sobre los parámetros de crecimiento de los peces. Por el contrario si hubo efectos sobre la respuesta inmunológica innata y adaptativa de los animales, siendo mejor en los peces alimentados con la harina de larvas. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos los autores recomiendan una inclusión de por lo menos 18% de harina de *Tenebrio molitor* en la dieta de este tipo de peces (Su et al., 2017).

Otro pez asiático de importancia económica es el pez mandarín (*Siniperca scherzeri*), en el cual se evaluaron variables como ganancia de peso, eficiencia alimenticia y parámetros relacionados con la respuesta inmunitaria. Los resultados evidenciaron que la conversión alimenticia y la curva de crecimiento mejoraron con la inclusión de harina de larva de *Tenebrio molitor* hasta en un 20%, porcentajes mayores presentaron efectos negativos (Sankian, Khosravi, Kim, & Lee, 2018)

En cuanto a la composición química de los filetes no hubo diferencias significativas entre tratamientos, aunque si hubo un aumento considerable en el contenido de ácidos grasos saturados y monoinsaturados en aquellos provenientes de animales alimentados con gusano amarillo frente a la dieta control, sin embargo, el nivel de colesterol en plasma fue menor con la inclusión más alta de la harina de *Tenebrio molitor* (30%). La inclusión de *Tenebrio molitor* afectó positivamente la actividad de la lisozima y la glutatión peroxidasa (Sankian et al., 2018). Estos resultados son interesantes teniendo en cuenta que estas enzimas juegan un rol importante en la protección del organismo contra los procesos oxidativos y en el mejoramiento de la respuesta inmune.

Así mismo, en un estudio realizado recientemente, se realizó la evaluación de las colonias bacterianas presentes en el tracto gastrointestinal de los peces cuando harina de *Tenebrio molitor* es incluida en su dieta. Se utilizaron tres especies acuícolas: Dorada, Lubina Europea y Trucha Arco Iris. Los resultados demuestran que el reemplazo de la harina de pescado por harina de larva de *Tenebrio molitor* tuvo un efecto marcado sobre la población microbiana en el intestino de las tres especies estudiadas. Sin embargo las

dos especies marinas sufrieron más modificaciones que la trucha arco iris, ya que en la lubina y la dorada se detectaron cerca del 60% de nuevas especies de microorganismos en el intestino frente a un 33% en la trucha arco iris (Antonopoulou et al., 2019). Estos resultados sugieren que se requiere mayor conocimiento sobre la ecofisiología del tracto gastrointestinal de los peces al momento de realizar reemplazos de su dieta convencional, ya que estos cambios podrían afectar positiva o negativamente tanto los coeficientes de digestibilidad de los alimentos como la salud en general de los animales.

Las evidencias científicas demuestran que el uso de harina de larvas de gusano amarillo es viable como fuente proteica en la alimentación de diferentes especies de peces. Sin embargo, se hace necesario ampliar los estudios al respecto con el fin de determinar los niveles de inclusión adecuados para cada tipo de especie, así como encontrar el balance adecuado en la dieta para evitar una disminución considerable en el contenido de ácidos grasos de la serie omega 3, ya que éstos juegan un papel fundamental en importantes procesos biológicos de los peces, además de modificar favorablemente su valor nutricional.

4.2. Aves

Uno de los mayores retos de la industria avícola es la producción de alimentos balanceados que contengan todos los nutrientes requeridos por las aves para obtener los índices de crecimiento adecuados en cortos períodos de tiempo. La harina de soya es la principal materia prima en su dieta, sin embargo generalmente es complementada con harina de pescado, ya que esta última contiene todos los aminoácidos esenciales que la mayoría de veces son deficientes en las fuentes de origen vegetal (M. J. Sánchez-Muros et al., 2016). Sin embargo, estas materias primas tienen elevados costos y requieren grandes cantidades de energía para su producción por lo que se hace necesario buscar otras alternativas proteicas (Allegretti, Talamini, Schmidt, Bogorni, & Ortega, 2018).

En contraste con otras especies animales, las aves en su hábitat natural consumen grandes cantidades de insectos, lo que sugiere que éstos podrían ser una buena alternativa de suplementación para las aves que se encuentran en confinamiento. Los gusanos de la harina son una fuente potencial en las dietas para aves de corral en particular para reemplazar la harina de soya o la harina de pescado, teniendo en cuenta que su perfil de aminoácidos es de excelente calidad. Sin embargo, el contenido de metionina de este insecto es limitante para su uso en aves por lo que se debe suplementar este aminoácido en la ración (Makkar et al., 2014; Ramos-Elorduy, Avila Gonzales, Rocha Hernández, & Pino, 2002).

El bajo contenido de Ca de las larvas, también debe ser tenido en cuenta cuando se incluye en dietas para aves. Algunos estudios se han realizado con el fin de suplementar a los insectos con fuentes de Ca para incrementar su contenido, obteniendo buenos resultados (Makkar et al., 2014).

Investigaciones recientes realizadas con pollo de engorde, evaluaron la inclusión de harina de larva de *Tenebrio molitor* hasta en un 10% de la ración, encontrando que no hubo diferencias significativas frente a la dieta control en los parámetros productivos como ganancia de peso, ingesta diaria y conversión alimenticia (Ramos-Elorduy et al., 2002). En concordancia con estos resultados F. Bovera et al., 2015, reportaron que la sustitución parcial de harina de soya por harina de *Tenebrio molitor* no tuvo efectos negativos sobre la ganancia de peso, conversión alimenticia ni consumo de alimento. Adicionalmente, la relación albúmina/globulina fue menor en los pollos alimentados con *Tenebrio molitor* (0.44) frente a los alimentados con la dieta control (0.33). Los autores concluyen que esto podría significar una mejor respuesta inmune de las aves, gracias a la acción de la quitina presente en el insecto que podría actuar como prebiótico.

Contrariamente a estos resultados donde no se han reportado efectos significativos de la inclusión harina de *Tenebrio molitor* en dietas para pollos, algunos estudios reportan una mejora en los índices de conversión alimenticia, ingesta y ganancia de peso cuando se incluyó la harina del gusano amarillo en porcentajes del 1 al 10% en la ración.

Asimismo se encontró mayor rendimiento en canal y peso al sacrificio (Ballitoc & Sun, 2013).

Además de la evaluación de los parámetros productivos, se ha estudiado el efecto de la inclusión de harina de gusano amarillo en dietas para pollos sobre las características fisicoquímicas de la carne. Los resultados obtenidos demuestran que el reemplazo total de la harina de soya en la ración de machos de 30 días de nacidos por harina de *Tenebrio molitor*, no afectó la tasa de crecimiento de los animales ni tampoco las características de rendimiento en canal. Adicionalmente la composición química de la carne tampoco fue modificada significativamente (Fulvia Bovera et al., 2016). En contraste con estos resultados, Ballitoc & Sun, 2013, encontraron que la inclusión del 2% de harina de gusano amarillo incrementó el contenido de humedad en la región del muslo, así como el contenido de proteína en la región del pecho en pollos de engorde. El porcentaje de grasa abdominal también fue mayor, lo que coincide con otros resultados reportados en la literatura (I. Biasato et al., 2017).

Otro aspecto importante nutricionalmente, es el nivel de digestibilidad de las dietas suministradas. En este sentido, algunos autores han evaluado los coeficientes de digestibilidad de los nutrientes al incluir harina de *Tenebrio molitor* en la ración de pollos de engorde, obteniendo variedad de resultados. Fulvia Bovera et al., 2016, reportaron que los coeficientes de digestibilidad para materia seca y proteína cruda fueron mayores en los animales que se alimentaron con dietas a base de harina de soya que aquellos donde la alimentación incluyó la harina de insecto. Los autores atribuyen estos resultados al contenido de quitina del insecto que podría afectar la actividad intestinal de los animales.

Por otra parte, al comparar los coeficientes de digestibilidad de dietas con inclusión de harina de *Tenebrio molitor* y *Hermetia illucens*, otro insecto ampliamente estudiado como fuente proteica en la alimentación animal, se encontró que no hubo diferencias significativas en relación a la digestibilidad de la materia seca, proteína cruda, materia orgánica y energía bruta. Sin embargo, los coeficientes de digestibilidad aparente de

aminoácidos fueron mayores en los animales alimentados con la dieta de *Tenebrio molitor* (De Marco et al., 2015), lo que evidencia la excelente calidad de su proteína.

Teniendo en cuenta que los cambios que se realicen en la dieta habitual de los animales podría inducir cambios morfológicos en su tracto gastrointestinal, lo que al mismo tiempo podría afectar su salud, algunos estudios han estado dirigidos a evaluar este aspecto. Los resultados demuestran que la inclusión de harina de tenebrio molitor en dietas suministradas tanto a hembras de la línea Ross 708 como a machos, no indujo cambios en la morfología intestinal, manteniendo el desarrollo normal de los segmentos del intestino delgado (duodeno, yeyuno e íleon), órgano que juega un papel fundamental en los procesos digestivos de los diferentes nutrientes (I. Biasato et al., 2017; I Biasato et al., 2017).

A diferencia del estudio realizado con hembras donde no se encontraron diferencias significativas en las medidas morfométricas de las vellosidades y criptas del intestino, en los machos se encontró que la inclusión del 15% de harina de gusano amarillo tuvo influencia sobre esta variable, provocando vellosidades más cortas y criptas más profundas, frente a los animales alimentados con la dieta control y con el nivel de reemplazo del 5% de TM. Estos resultados son importantes, ya que las vellosidades largas y criptas poco profundas han estado asociadas con una mayor absorción y transporte de nutrientes, lo que podría sugerir que altos niveles de adición de harina de *Tenebrio molitor* podría conllevar a una disminución en la digestibilidad de la dieta. Estos hallazgos podrían estar soportados con otros estudios donde con inclusiones menores (7.5%), no se evidenciaron estos efectos negativos sobre la morfología intestinal (Biasato et al., 2016). Sin embargo, se hace necesario continuar investigando este tema con mayor profundidad, ya que ha sido poco explorado hasta el momento.

Los parámetros hematológicos generalmente son evaluados como indicadores del estado de salud y bienestar del animal. Los reportes coinciden, en que la inclusión de la harina de gusano amarillo en las dietas para pollos, no tuvo influencia sobre los parámetros séricos y los valores hallados estuvieron dentro de los valores de referencia normales para la especie (Biasato et al., 2016; I. Biasato et al., 2017; I Biasato et al.,

2017). La relación Heterófilos/Linfocitos (H/L) como indicador del estado de estrés de los animales, tampoco fue afectada por la inclusión de harina de *Tenebrio molitor* en la dieta, lo que demuestra que el uso de harina de gusano amarillo es seguro y no afecta la salud y el bienestar de las aves.

El uso de harina de larvas de *Tenebrio molitor* en gallinas ponedoras ha sido poco estudiado y no se encuentra mucha información disponible. Se realizó una investigación reemplazando parcialmente la harina de pescado por harina de gusano amarillo en dietas para ponedoras, obteniendo un aumento del 2.4% en el índice de postura con la dieta experimental (Wang et al., 1996)

Otra especie aviar de interés zootécnico es la codorniz (*Coturnix coturnix*), ya que actualmente tiene fines productivos tanto para la obtención de su carne como de sus huevos. Esta ave debe alcanzar su peso adulto en un periodo corto de tiempo (42 días aproximadamente), por lo que sus necesidades nutricionales deben ser suplidas con una dieta de buena calidad.

El suministro de larvas vivas de *Tenebrio molitor* como alimento suplementario a razón de 1 gramo diario por codorniz, mejoró significativamente la ganancia de peso de las aves siendo de 133.71 gr, frente a aquellas que solamente fueron alimentadas con concentrado comercial con una ganancia 121.14 gr. Igualmente, la conversión alimenticia mejoró pasando de 3.72 a 2.93 en los animales que consumieron la dieta experimental. Por su parte, el consumo de alimento comercial bajó significativamente en las aves alimentadas con la harina de gusano amarillo (391 gr) frente a las alimentadas con la dieta control (450 gr) (Díaz Gámez, 2014). Estos resultados podrían indicar menores costos de alimentación y por lo consiguiente mayor rentabilidad en el sistema productivo.

Por último, se reportan algunos estudios de sustitución de las fuentes de proteína tradicionales por harina de larva de gusano amarillo en perdices. La perdiz moruna (*Alectoris barbara*) es un ave que se encuentra establecida en España, el norte de África y las islas Canarias y que en los últimos años ha ganado importancia debido a su valor

económico para la producción comercial (producción de carne) y su importancia ecológica por la protección de las especies silvestres (Loponte et al., 2017).

Investigaciones recientes reportaron que, la sustitución en un 25 y 50% de la harina de soya de la dieta por harina de insectos *Tenebrio molitor* y *Hermetia illucens*, permitió aumentar el peso de la canal cruda y cocida de perdiz. Las características físicas de la carne cruda (fuerza de corte, pH y color) no tuvieron diferencias significativas entre tratamientos, al igual que su composición química a excepción del perfil de ácidos grasos. En el caso de la dieta con un nivel de sustitución del 50% con harina de *Hermetia illucens* se aumentó considerablemente el ácido láurico lo que a su vez conllevó a obtener el mayor índice aterogénico IA (0.38). Las dietas con *Tenebrio molitor* tanto al 25 como 50% de reemplazo presentaron un IA menores con valores de 0.34 y 0.32 respectivamente (Secci, Moniello, Gasco, Bovera, & Parisi, 2018). Estos resultados son positivos teniendo en cuenta que mayores valores de este parámetro se relacionan con mayor riesgo de sufrir arterioesclerosis.

De acuerdo con los hallazgos reportados en la literatura, el *Tenebrio molitor* resulta una alternativa interesante como fuente de proteína en la alimentación de aves, especialmente en pollos de engorde, probablemente debido a su afinidad por el consumo de insectos en su hábitat natural. Sin embargo, se requieren más investigaciones que permitan identificar el papel de la quitina en los procesos digestivos de las aves con el fin de minimizar sus impactos sobre la absorción de los nutrientes, entre otros aspectos.

4.3. Otras especies

4.3.1. Cerdos

Larvas secas de *Tenebrio molitor* fueron suministradas a cerdos en crecimiento con el fin de evaluar la digestibilidad ileal aparente de la proteína y los aminoácidos contenidos en la dieta. Se evaluaron cuatro dietas, cada una con una fuente de proteína distinta (harina de pescado, harina de carne, harina de pollo y larvas secas de *Tenebrio molitor*). Los resultados mostraron una mayor digestibilidad de la Lisina en los cerdos alimentados

con la dieta con *Tenebrio molitor* que aquellos alimentados con la ración que contenía harina de pescado. Igualmente la digestibilidad de la Histidina y la Arginina fue mayor en los animales a los que se les suministró el alimento con harina de pollo y con larvas de gusano amarillo, frente a las otras dos dietas (Yoo et al., 2019). Esta mayor digestibilidad de los aminoácidos podría verse reflejado en resultados positivos sobre el crecimiento de los animales y su deposición en el músculo.

Resultados similares se encontraron en lechones de aproximadamente 28 días de nacidos y 8 kg de peso vivo cuando fueron suplementados con larvas de *Tenebrio molitor*. Se utilizaron niveles de inclusión de 1 hasta el 6% de harina de larvas como reemplazante de harina y aceite de soya en la dieta (Jin, Heo, Hong, Kim, & Kim, 2016). El coeficiente de digestibilidad de la proteína y la materia seca aumentó a medida que el nivel de adición fue mayor, igualmente se obtuvieron resultados positivos en la ganancia diaria de peso y el peso corporal final de los animales (Jin et al., 2016).

Estos resultados permiten concluir, que la harina de larva de *Tenebrio molitor* es una buena fuente de proteína para ser utilizada en la alimentación de cerdos ya que permitiría aumentar el coeficiente de digestibilidad de los nutrientes, lo que se vería reflejado en una mejora en los parámetros productivos de la especie. Sin embargo, los estudios realizados hasta ahora son pocos y se requiere mayor investigación en este tema con el fin de profundizar en aspectos importantes como los límites de inclusión de la harina de *Tenebrio molitor* de acuerdo con la fase productiva, los beneficios económicos del uso de esta materia prima en la industria porcina, así como sus posibles efectos en la salud y morfología del tracto gastrointestinal de los cerdos.

4.3.2. Camarón del pacífico (*Litopenaeus vannamei*)

Choi et al., 2018 reportaron la evaluación del reemplazo parcial y total de la harina de pescado de la dieta de camarones por harina de larva de gusano amarillo, sobre los parámetros de crecimiento e indicadores de la respuesta inmune. Cuatro dietas fueron evaluadas (0, 25, 50 y 100% de sustitución), y los resultados obtenidos muestran que la adición de harina de *Tenebrio molitor* en 25, 50 y 75% en la dieta, impactó positivamente el peso final de los crustáceos con valores de 10.05, 11.41 y 10.36 gr respectivamente,

frente a 9.06 gr en los animales alimentados con la dieta control. Consecuentemente, la tasa de crecimiento específica y la conversión alimenticia también fueron mejores. Por otra parte, los niveles de los marcadores inmunitarios como el sistema profenoloxidasa fueron mayores en los camarones alimentados con la dieta con 50% de reemplazo, lo que supone una mejor respuesta inmunológica.

5. Conclusiones y Recomendaciones

En este trabajo las características nutricionales de la larva de *Tenebrio molitor* fueron revisadas y discutidas. Además, su uso como materia prima en la alimentación animal fue analizado a partir de la literatura disponible.

En términos del valor nutricional, la larva de *Tenebrio molitor* resulta una alternativa viable como fuente de proteína en la alimentación animal, similar a otras fuentes proteicas como la harina de soya y de pescado. Comparada con estas materias primas la cría de insectos para ser usada en la alimentación animal presenta ciertas ventajas: (i) Un contenido de aminoácidos esenciales y no esenciales en relaciones adecuadas que hacen que su fracción proteica sea de alto valor biológico. (ii) requieren poco espacio para su cultivo y representan un sistema productivo sostenible ambientalmente (iii) transforman subproductos de la industria alimentaria de baja calidad en valiosos compuestos como proteína, vitaminas y minerales.

La información disponible permite concluir que el uso de *Tenebrio molitor* en la alimentación de aves y peces resulta seguro y no afecta la salud y el bienestar de los animales. Por el contrario, podría inducir a una mejor respuesta inmunitaria adaptativa y humoral contra agentes infecciosos.

En la actualidad, se ha cuestionado el uso de *Tenebrio molitor* debido a sus limitantes de rendimiento teniendo en cuenta su tamaño, por lo cual hasta ahora se le considera como un suplemento y no un ingrediente principal para la industria de alimentos balanceados. En este sentido, se hace necesario buscar estrategias que permitan masificar su producción.

Se hace necesario continuar investigando acerca de los posibles efectos de la quitina presente en las larvas de *Tenebrio molitor* sobre los coeficientes de digestibilidad de los nutrientes de las dietas suministradas a los animales, así como de los cambios que pueda inducir en el tracto gastrointestinal.

Aún las investigaciones del uso de *Tenebrio molitor* en la alimentación animal son escasos, lo que sugiere que es un tema de gran interés y con alto potencial para ser investigado.

La aceptación en general de los insectos como fuente alternativa para la alimentación tanto humana como animal todavía es muy limitada debido a razones de índole cultural, pero, además, debido a la desconfianza de los consumidores porque generalmente asocian a los insectos con problemas sanitarios. En este sentido, es muy importante generar información clara y precisa que permita desmitificar estas creencias.

Anexos

Alimento comercial para aves a base de larvas de *Tenebrio molitor*



Bibliografía

- Akhtar, Y., & Isman, M. B. (2018). 10 - Insects as an Alternative Protein Source. In R. Y. Yada (Ed.), *Proteins in Food Processing (Second Edition)* (pp. 263-288): Woodhead Publishing.
- Alves, A. V., Freitas de Lima, F., Granzotti da Silva, T., Oliveira, V. S. d., Kassuya, C. A. L., & Sanjinez-Argandoña, E. J. (2019). Safety evaluation of the oils extracted from edible insects (*Tenebrio molitor* and *Pachymerus nucleorum*) as novel food for humans. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, *102*, 90-94. doi: <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2019.01.013>
- Allegretti, G., Talamini, E., Schmidt, V., Bogorni, P. C., & Ortega, E. (2018). Insect as feed: An emergy assessment of insect meal as a sustainable protein source for the Brazilian poultry industry. *Journal of Cleaner Production*, *171*, 403-412. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.244>
- Antonopoulou, E., Nikouli, E., Piccolo, G., Gasco, L., Gai, F., Chatzifotis, S., . . . Kormas, K. A. (2019). Reshaping gut bacterial communities after dietary *Tenebrio molitor* larvae meal supplementation in three fish species. *Aquaculture*, *503*, 628-635. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.013>
- Azagoh, C., Ducept, F., Garcia, R., Rakotozafy, L., Cuvelier, M. E., Keller, S., . . . Mezdour, S. (2016). Extraction and physicochemical characterization of *Tenebrio molitor* proteins. *Food Research International*, *88*, 24-31. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.06.010>
- Ballitoc, D., & Sun, S. (2013). Ground Yellow mealworms (*Tenebrio molitor*) feed supplementation improves growth performance and carcass yield characteristics in broilers. *Open science repository agriculture*. doi: 10.7392/openaccess.23050425
- Biasato, I., De Marco, M., Rotolo, L., Renna, M., Lussiana, C., Dabbou, S., . . . Schiavone, A. (2016). *Effects of dietary Tenebrio molitor meal inclusion in free-range chickens* (Vol. 100).
- Biasato, I., Gasco, L., De Marco, M., Renna, M., Rotolo, L., Dabbou, S., Schiavone, A. (2017). Effects of yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) inclusion in diets for female broiler chickens: implications for animal health and gut histology. *Animal Feed Science and Technology*, *234*, 253-263. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.09.014>
- Biasato, I., Gasco, L., De Marco, M., Renna, M., Rotolo, L., Dabbou, S., Schiavone, A. (2017). Yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) inclusion in diets for male broiler chickens: effects on growth performance, gut morphology, and histological findings. *Poultry Science*, *97*(2), 540-548. doi: 10.3382/ps/pex308
- Bovera, F., Loponte, R., Marono, S., Piccolo, G., Parisi, G., Iaconisi, V., Nizza, A. (2016). *Use of larvae meal as protein source in broiler diet: Effect on growth performance, nutrient digestibility, and carcass and meat traits* (Vol. 94).
- Bovera, F., Piccolo, G., Gasco, L., Marono, S., Loponte, R., Vassalotti, G., Nizza, A. (2015). Yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*, L.) as a possible alternative to soybean meal in broiler diets. *British Poultry Science*, *56*(5), 569-575. doi: 10.1080/00071668.2015.1080815

- Caparros Megido, R., Poelaert, C., Ernens, M., Liotta, M., Blecker, C., Danthine, S., Francis, F. (2018). Effect of household cooking techniques on the microbiological load and the nutritional quality of mealworms (*Tenebrio molitor* L. 1758). *Food Research International*, 106, 503-508. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.002>
- Choi, I.-H., Kim, J.-M., Kim, N.-J., Kim, J.-D., Park, C., Park, J.-H., & Chung, T.-h. (2018). Replacing fish meal by mealworm (*Tenebrio molitor*) on the growth performance and immunologic responses of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 40.
- De Marco, M., Martínez, S., Hernandez, F., Madrid, J., Gai, F., Rotolo, L., Schiavone, A. (2015). Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. *Animal Feed Science and Technology*, 209, 211-218. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.08.006>
- de Souza, P. C., Morey, A. T., Castanheira, G. M., Bocate, K. P., Panagio, L. A., Ito, F. A., . . . Almeida, R. S. (2015). *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) as an alternative host to study fungal infections. *Journal of Microbiological Methods*, 118, 182-186. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2015.10.004>
- Díaz Gámez, G. M. (2014). *USO DE LA LARVA DE TENEBRIO (Tenebrio molitor) COMO ADITIVO PROTEICO, EN LA ALIMENTACIÓN DE CODORNICES (Coturnix coturnix japonica)*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Gasco, L., Henry, M., Piccolo, G., Marono, S., Gai, F., Renna, M., Chatzifotis, S. (2016). *Tenebrio molitor* meal in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) juveniles: Growth performance, whole body composition and in vivo apparent digestibility. *Animal Feed Science and Technology*, 220, 34-45. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.07.003>
- Henry, M. A., Gai, F., Enes, P., Pérez-Jiménez, A., & Gasco, L. (2018). Effect of partial dietary replacement of fishmeal by yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae meal on the innate immune response and intestinal antioxidant enzymes of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish & Shellfish Immunology*, 83, 308-313. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.09.040>
- Henry, M. A., Gasco, L., Chatzifotis, S., & Piccolo, G. (2018). Does dietary insect meal affect the fish immune system? The case of mealworm, *Tenebrio molitor* on European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Developmental & Comparative Immunology*, 81, 204-209. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dci.2017.12.002>
- Iaconisi, V., Bonelli, A., Pupino, R., Gai, F., & Parisi, G. (2018). Mealworm as dietary protein source for rainbow trout: Body and fillet quality traits. *Aquaculture*, 484, 197-204. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.11.034>
- Iaconisi, V., Marono, S., Parisi, G., Gasco, L., Genovese, L., Maricchiolo, G., Piccolo, G. (2017). Dietary inclusion of *Tenebrio molitor* larvae meal: Effects on growth performance and final quality traits of blackspot sea bream (*Pagellus bogaraveo*). *Aquaculture*, 476, 49-58. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.04.007>
- Intriago Sánchez, T. C., & Valencia Burgos, Y. (2014). *Determinación de antocianinas y valor nutricional de los tenebrios (Tenebrio molitor) alimentados con dietas enriquecidas con maíz morado (Zea mais L.)*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Ecuador.

- Jin, X. H., Heo, P. S., Hong, J. S., Kim, N. J., & Kim, Y. Y. (2016). Supplementation of Dried Mealworm (*Tenebrio molitor* larva) on Growth Performance, Nutrient Digestibility and Blood Profiles in Weaning Pigs. *Asian-Australas J Anim Sci*, 29(7), 979-986. doi: 10.5713/ajas.15.0535
- Loponte, R., Nizza, S., Bovera, F., De Riu, N., Fliegerova, K., Lombardi, P., . . . Moniello, G. (2017). Growth performance, blood profiles and carcass traits of Barbary partridge (*Alectoris barbara*) fed two different insect larvae meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*). *Research in Veterinary Science*, 115, 183-188. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.04.017>
- Makkar, H. P. S., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1-33. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>
- Mariod, A. A., Saeed Mirghani, M. E., & Hussein, I. (2017). Chapter 50 - *Tenebrio molitor* Mealworm. In A. A. Mariod, M. E. Saeed Mirghani & I. Hussein (Eds.), *Unconventional Oilseeds and Oil Sources* (pp. 331-336): Academic Press.
- Ng, W.-K., Liew, F.-L., Ang, L.-P., & Wong, K.-W. (2001). Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquaculture Research*, 32(s1), 273-280. doi: 10.1046/j.1355-557x.2001.00024.x
- Nizza, A., Piccolo, G., Loponte, R., Marono, S., Bovera, F., Parisi, G., Gasco, L. (2016). Use of *Tenebrio molitor* larvae meal as protein source in broiler diet: Effect on growth performance, nutrient digestibility, and carcass and meat traits. *Journal of Animal Science*, 94(2), 639-647. doi: 10.2527/jas.2015-9201
- Nowak, V., Persijn, D., Rittenschober, D., & Charrondiere, U. R. (2016). Review of food composition data for edible insects. *Food Chemistry*, 193, 39-46. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.114>
- Piccolo, G., Iaconisi, V., Marono, S., Gasco, L., Loponte, R., Nizza, S., Parisi, G. (2017). Effect of *Tenebrio molitor* larvae meal on growth performance, in vivo nutrients digestibility, somatic and marketable indexes of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Animal Feed Science and Technology*, 226, 12-20. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.02.007>
- Ramos-Elorduy, J., Avila Gonzales, E., Rocha Hernández, A., & Pino, J. M. (2002). Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens. *J Econ Entomol*, 95(1); 214-220.
- Ravzanaadii, N., Kim, S.-H., Choi, W.-H., Hong, S.-J., & Kim, N.-J. (2012). Nutritional Value of Mealworm, *Tenebrio molitor* as Food Source. *International Journal of Industrial Entomology*, 25, 93-98. doi: 10.7852/ijie.2012.25.1.093
- Roncarati, A., Gasco, L., Parisi, G., & Terova, G. (2015). Growth performance of common catfish (*Ameiurus melas* Raf.) fingerlings fed mealworm (*Tenebrio molitor*) diet. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(3), 233-240. doi: 10.3920/jiff2014.0006
- Sánchez-Muros, M.-J., Barroso, F. G., & Manzano-Agugliaro, F. (2014). Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 16-27. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.068>
- Sánchez-Muros, M. J., Barroso, F. G., & de Haro, C. (2016). Chapter 10 - Brief Summary of Insect Usage as an Industrial Animal Feed/Feed Ingredient. In A. T. Dossey, J.

- A. Morales-Ramos & M. G. Rojas (Eds.), *Insects as Sustainable Food Ingredients* (pp. 273-309). San Diego: Academic Press.
- Sánchez-Muros, M. J., de Haro, C., Sanz, A., Trenzado, C. E., Villareces, S., & Barroso, F. G. (2016). Nutritional evaluation of *Tenebrio molitor* meal as fishmeal substitute for tilapia (*Oreochromis niloticus*) diet. *Aquaculture Nutrition*, 22(5), 943-955. doi: 10.1111/anu.12313
- Sancho, D., Alvarez Gil, M. d. J., & Fernández Sánchez, L. d. R. (2015). Insectos y alimentación. Larvas de *Rhynchophorus palmarum* L, un alimento de los pobladores de la Amazonía Ecuatoriana. *Entomotropica*, 30, 135-149.
- Sankian, Z., Khosravi, S., Kim, Y.-O., & Lee, S.-M. (2018). Effects of dietary inclusion of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) meal on growth performance, feed utilization, body composition, plasma biochemical indices, selected immune parameters and antioxidant enzyme activities of mandarin fish (*Siniperca scherzeri*) juveniles. *Aquaculture*, 496, 79-87. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.07.012>
- Secci, G., Moniello, G., Gasco, L., Bovera, F., & Parisi, G. (2018). Barbary partridge meat quality as affected by *Hermetia illucens* and *Tenebrio molitor* larva meals in feeds. *Food Research International*, 112, 291-298. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.045>
- Su, J., Gong, Y., Cao, S., Lu, F., Han, D., Liu, H., Xie, S. (2017). Effects of dietary *Tenebrio molitor* meal on the growth performance, immune response and disease resistance of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). *Fish & Shellfish Immunology*, 69, 59-66. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.08.008>
- Valdez Pantoja, C., & Untiveros Bermúdez, G. (2010). EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE LAS LARVAS DEL *Tenebrio molitor*. *Rev Soc Quím Perú.*, 76 (4).
- van Broekhoven, S., Oonincx, D. G. A. B., van Huis, A., & van Loon, J. J. A. (2015). Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products. *Journal of Insect Physiology*, 73, 1-10. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2014.12.005>
- Vásquez Avila, J. A. (2016). *EVALUACIÓN DE BLOQUES MULTINUTRICIONALES CON HARINA DE LARVA DE TENEBRIO (Molitor linnaeus) EN EL ENGORDE DE CONEJOS (Oryctolagus cuniculus)*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Verbeke, W., Spranghers, T., De Clercq, P., De Smet, S., Sas, B., & Eeckhout, M. (2015). Insects in animal feed: Acceptance and its determinants among farmers, agriculture sector stakeholders and citizens. *Animal Feed Science and Technology*, 204, 72-87. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.04.001>
- Wang, Y., Chen, Y., Li, X., Xia, J., Du, Q., Zhi, C., & an. (1996). Study on the rearing larvae of *Tenebrio molitor* Linne and the effects of its processing and utilizing. *Acta Agriculturae Universitatis Henanensis*, 30(3), 288-292.
- Yoo, J. S., Cho, K. H., Hong, J. S., Jang, H. S., Chung, Y. H., Kwon, G. T., Kim, Y. Y. (2019). Nutrient ileal digestibility evaluation of dried mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae compared to three animal protein by-products in growing pigs. *Asian-Australas J Anim Sci*, 32(3), 387-394. doi: 10.5713/ajas.18.0647