



Facultad de Veterinaria
Universidad Zaragoza



Trabajo Fin de Grado en Veterinaria

Alternativas al uso de granos de cereales en la
alimentación de larvas de *Tenebrio molitor*.

Alternatives to the use of cereal grains for the feeding of *Tenebrio molitor* larvae.

Autor/es

Antoni-Manuel Vives Humbert

Director/es

Manuel Fondevila Camps

Facultad de Veterinaria

2020

Índice

1. Resumen	1
1.1 Abstract.....	1
2. Introducción	1
3. Justificación y objetivos	2
4. Revisión bibliográfica.....	4
4.1. Alternativas en alimentación animal y las ventajas de los insectos.....	4
4.2..Potencial de la cría de tenebrios en producción animal.....	8
4.3. Composición nutricional	9
4.3.1. Proteínas.....	10
4.3.2. Grasas.....	11
4.3.3. Minerales y vitaminas.....	12
4.4. Condiciones de cría de Tenebrio molitor.....	13
4.5 Análisis de dietas alternativas.....	17
4.5.1.Los ingredientes en las dietas convencionales.....	17
4.5.2.Las materias primas alternativas.....	17
4.5.3.Composición de los productos respecto al tipo de cría.....	23
5. Conclusiones.....	25
5.1 Conclusions.....	26
6. Bibliografía	27

1.RESUMEN

En la última década, el uso de insectos en alimentación humana y animal está adquiriendo un creciente interés debido a su alto valor nutritivo y bajo impacto ecológico, y por ello se están introduciendo en el mercado europeo, avalado por estudios que sugieren su potencial y rentabilidad económica. Su cría requiere el control de parámetros ambientales como la temperatura y la humedad relativa, al igual que de las características del sustrato del cual se alimentan. Destaca la posibilidad de poder alimentar a las larvas de *Tenebrio molitor* con alimentos alternativos que supongan una solución medioambiental y al mismo tiempo abaratar su coste de producción manteniendo la productividad y calidad nutritiva. La composición de las larvas de *T. molitor* en términos de proteínas y grasas varía mucho en cantidad y calidad dependiendo de las condiciones de alimentación, y la problemática se basa en poder ajustar estas alternativas para buscar un coste de producción que pueda competir en el mercado.

Palabras clave: “*Tenebrio molitor*”, larvas”, “Composición”

1.1.ABSTRACT

Over the last decade, the use of insects for food and feed has attracted a growing interest due to its high nutritious value and low ecological impact, and for this reason they are being introduced to the European market, supported by studies that guarantee its potential and financial profitability. Its breeding requires the control of environmental parameters such as the temperature and the relative humidity, as well as the substrate features of which they feed. A possibility stands out to feed the *Tenebrio molitor* larvae with alternative feed that imply an environmental solution and at the same time reduce its production cost, maintaining the productivity and nutritive quality. In terms of protein and fats, the composition of larvae of *T. molitor* vary significantly in quantity and quality depending on the feeding conditions, and the challenge is to adjust these alternatives in order to find a production cost that has a chance to compete in the market.

Keywords: “*Tenebrio molitor*”, “larvae”, “Composition”

2.INTRODUCCIÓN

Actualmente, los insectos son contemplados como posible ingrediente en las dietas animales e incluso en dietas humanas. Este hecho se debe a las ventajas que ofrece su uso, basadas en su composición nutricional como fuente de proteína de alto interés bromatológico, y en el hecho de ser una producción sostenible, por lo que puede ser aplicada a la alimentación de diferentes especies ganaderas. Los insectos emiten una baja proporción de gases de efecto invernadero (Oonincx et al., 2010), su producción requiere

poca agua, y se pueden alimentar con diferentes productos o subproductos que proceden de la industria agroalimentaria, optimizando la utilización de recursos y repercutiendo en la rentabilidad económica de su producción. La producción de algunas especies de insectos ya está consolidada en ciertos sectores de la alimentación animal. Se cría insectos para la alimentación de animales exóticos como reptiles, pequeños mamíferos insectívoros como el erizo, especies de peces exóticos y productivos o incluso como alimentación para algunas aves.

En producción animal su aplicación no está consolidada, debido tanto a restricciones legales en la Unión Europea como a la necesidad de optimizar los procesos de producción para garantizar su rentabilidad. Por ello aún son necesarios más estudios en profundidad sobre cómo afectan las distintas dietas a los insectos en su cría. Los subproductos agroalimentarios son la opción más rentable, ya que un número elevado de subproductos son generados en la industria cada año, con el consiguiente problema medioambiental de la gestión de residuos. Aunque muchos estudios apuntan a que los insectos como el gusano de la harina (*Tenebrio molitor*) poseen una alta capacidad de bioconversión, es imprescindible más información para optimizar la producción animal.

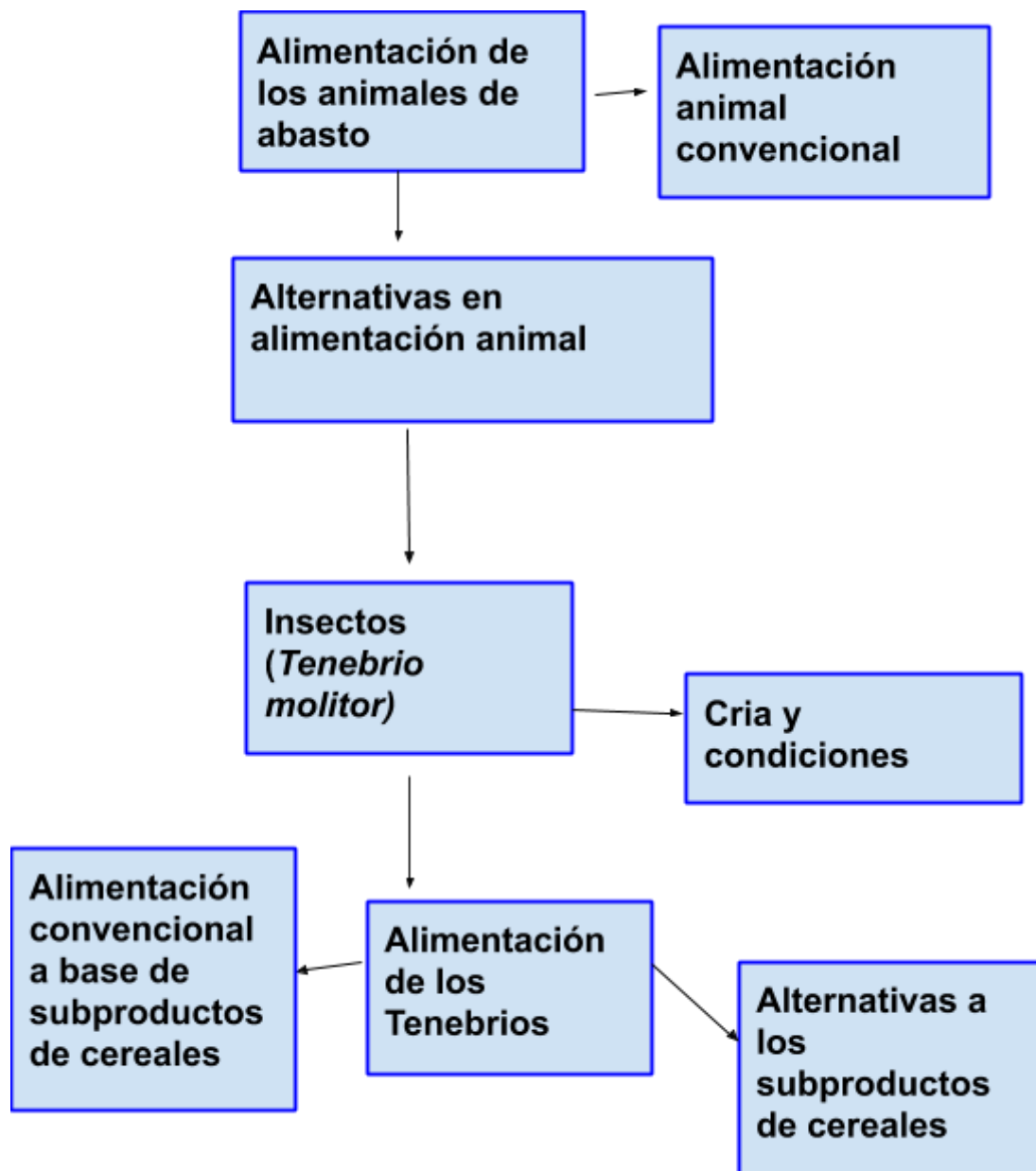
Como consecuencia del Estado de Alarma vivido durante los últimos meses por la pandemia de Covid-19, este trabajo pasó de ser planteado como un trabajo experimental llevado a cabo en la Facultad de Veterinaria de Zaragoza, donde estaba programada una cría experimental de larvas de *Tenebrio* con diferentes dietas a base de distintos ingredientes, a ser un trabajo de revisión bibliográfica en el que se recopilan resultados de autores que realizaron crías experimentales de larvas en distintas condiciones alimentarias.

3.JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS DE ESTE TFG

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado (TFG) es poder valorar el uso de la especie *Tenebrio molitor* como posible ingrediente en dietas para animales de abasto, la forma de introducirlo en la producción primaria y sus valores nutricionales. Este trabajo también se va a centrar en cómo se lleva a cabo la cría y sus condiciones, para así poder entender cómo se plantean las condiciones de producción. Finalmente, este trabajo se centrará en los ensayos con distintas dietas experimentales a base de diferentes subproductos para poder valorar las diferencias respecto al uso de dietas convencionales, normalmente elaboradas con productos cerealícolas como el grano y el salvado de trigo. Por lo tanto, el trabajo contempla tres aspectos interrelacionados (Figura 1).

1. Uso de insectos como alternativa sostenible en la alimentación de los animales de abasto
2. Cría del *Tenebrio molitor*
3. Alternativas alimentarias a las dietas convencionales para las larvas de *Tenebrio*

Figura 1: Esquema de puntos de vista a abordar en este trabajo.



4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1. Alternativas en alimentación animal y las ventajas de los insectos

En producción animal, una correcta nutrición no solo asegura responder a las necesidades de mantenimiento y crecimiento, sino también unos buenos resultados en el índice de transformación y ganancia media diaria de los animales producidos. No todos los aminoácidos, grasas o carbohidratos tienen las mismas cualidades y por lo tanto no tienen las mismas ventajas.

Según la FAO, es esperable que la producción animal se incremente para satisfacer la demanda mundial de alimentos por el crecimiento demográfico que se espera en los próximos 30 años (Bruinsma, 2009). Esta demanda debe ser paliada por fuentes de alimentos que nos proporcionen rentabilidad, alta productividad y calidad testada, y un bajo impacto medioambiental. En este sentido, hay que tener en cuenta que es más caro reparar el daño ambiental por kilo de cerdo producido que la producción de ese kilo de cerdo (Nguyen et al., 2012). Hoy en día, en Europa, en porcino y avicultura las dietas se basan en harina de soja como principal ingrediente proteico, y maíz y cebada como ingredientes energéticos.

El uso de unos u otros ingredientes depende de su valor en el mercado y el momento en el que se demanda, debido a lo cual los precios fluctúan, en algunos casos comprometiendo la rentabilidad. Se han llevado a cabo estudios sobre otros productos agroalimentarios que se pueden contemplar en alimentación animal como alternativas, desde el trigo como ingrediente energético y la harina de colza como ingrediente proteico, hasta subproductos de la industria alimentaria (Fondevila y Latorre, 2017). Dichas alternativas deben proporcionar unos parámetros nutricionales de calidad y satisfacer las necesidades de producción, o incluso mejorar los parámetros productivos de las dietas convencionales.

La legislación europea (Reglamento UE 2017/893) contempla la utilización como alimento para el hombre o como ingrediente en alimentación animal destinada al consumo humano, de siete especies de insectos: dípteros como la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) y mosca común (*Musca domestica*); coleópteros como el gusano de la harina (*Tenebrio molitor*), escarabajo de la cama (*Alphitobius diaperinus*); y ortópteros como el grillo doméstico (*Acheta domestica*), grillo rayado (*Gryllodes sigillatus*) y grillo bicolor (*Gryllus assimilis*).

Además, su uso debe ser rentable. Un ejemplo de este hecho es que ciertas especies de insectos son una fuente de proteínas comparable cuantitativa y cualitativamente a la harina de soja como ingrediente proteico (Verbeke et al., 2015). El uso de insectos resulta atractivo porque crecen y se pueden reproducir con facilidad. Como ejemplo, una mosca doméstica

puede poner hasta 1000 huevos en una semana, de los que se obtienen larvas en un periodo de 72 horas (Čičová et al., 2012).

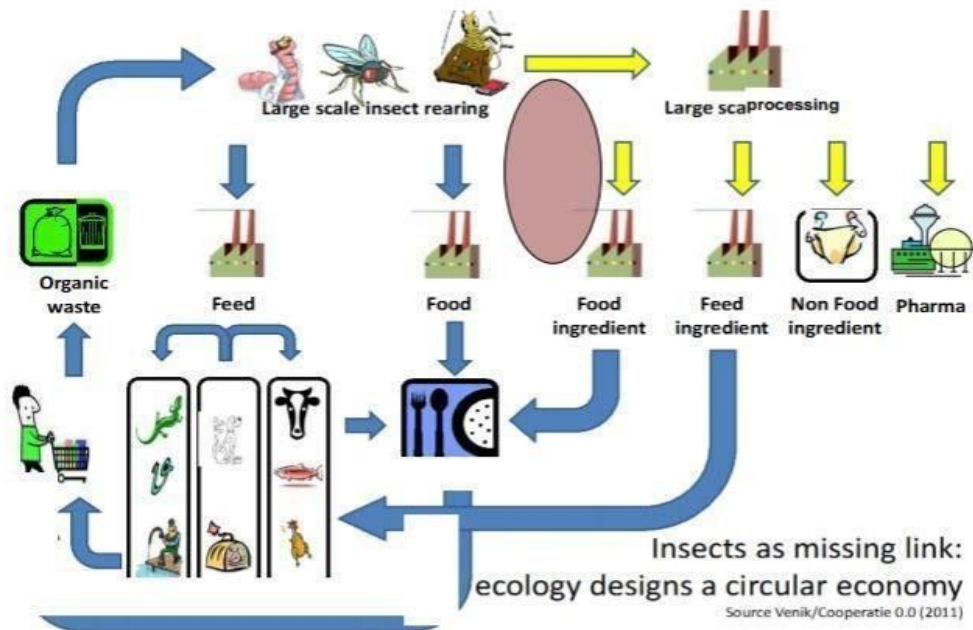
También brindan la oportunidad de poder alimentarlos con ingredientes que no se ajustan a las necesidades y ritmos de producción de los animales de abasto. Varios expertos también apuntan que la cría de insectos es menos contaminante al producir una menor cantidad de gases de efecto invernadero respecto a las producciones de vacuno y porcino (Oonninx et al., 2010). Además de este hecho, los insectos demuestran ser mejores bioconvertidores que las especies productivas de animales superiores, tal y como se justifica en la Tabla 1. Tal como observaron Mekonnen y Hoekstra (2010), al ser el índice de conversión más bajo en insectos, se requiere menos alimento para asegurar la misma cantidad de producto, por lo que resulta más rentable.

Tabla1: Alimento necesario para producir una unidad de producto en distintas especies productivas, en comparación con grillo doméstico (van Huis et al., 2010)

7,7 kg/kg de carne de ternera	3,6 kg/kg de carne de cerdo	6,3 kg/kg de carne de oveja	2,2 kg/kg de carne de pollo	1,7 kg/kg de carne de grillo doméstico
-------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	--

Hoy en día, para explicar el coste de un alimento en ciertos ámbitos productivos y económicos es más correcto referirse al precio de sus principales nutrientes, como la proteína o la grasa que al del producto en sí, dado que este precio es más específico e induce menos al error. Las estadísticas apuntan a que la producción de proteína tiene unos costes más elevados dependiendo de donde proceda. Según Meuwissen (2011), actualmente la proteína de *Tenebrio molitor* producida con alimentos convencionales es 51 veces más cara que la proteína de la soja, ya que la primera cuesta 31,70 euros por kilo mientras que la de soja tiene un coste de 0,62 euros por kilo. Lo que se propone es crear un modelo de producción animal, en el que los animales puedan transformar y convertir en nutrientes fuentes de alimento poco atractivas, no solo para alimentación humana, sino también poco palatables o útiles nutricionalmente y metabólicamente en alimentación animal. Los pequeños organismos como los insectos que usan la energía que proviene de subproductos agroindustriales, son un elemento fundamental en este modelo (Rumpold y Pleissner, 2018). La Figura 2 presenta un planteamiento de la producción de insectos integrada en un sistema de economía circular, para convertir en alimento los residuos generados a nivel doméstico y los provenientes de la industria agroalimentaria.

Figura 2: Uso de insectos en una economía circular (Venik et al., 2011)



El primer esquema (figura 3) es el que se sigue convencionalmente, el objetivo constante es optimizar, masificar y asegurar la alimentación y la producción de alimentos, se produce y se desecha en masa y en grandes cantidades, de forma que la cantidad producida sea tan grande que lo haga rentable y económico. El segundo esquema (figura 4) muestra cómo aplicar subproductos a la cría de insectos, abaratando su producción.

Figura 3: Formas de usar los subproductos de la producción agraria

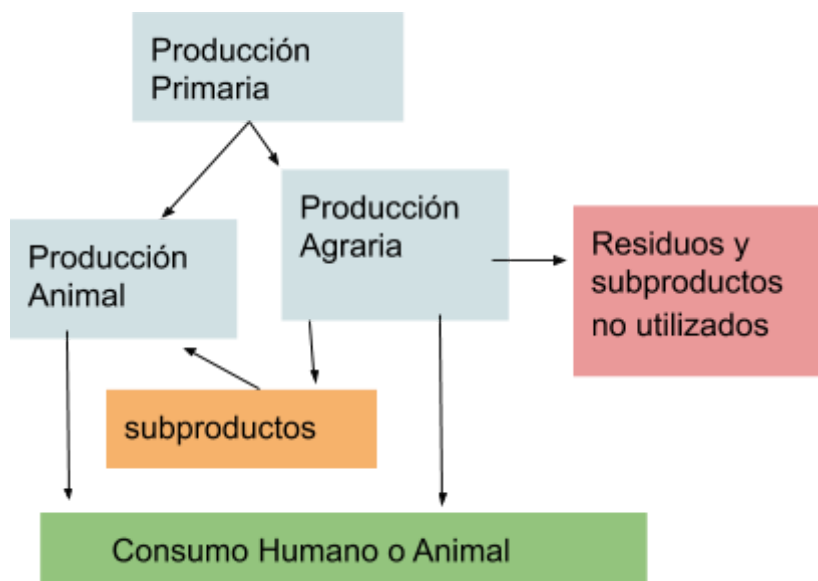
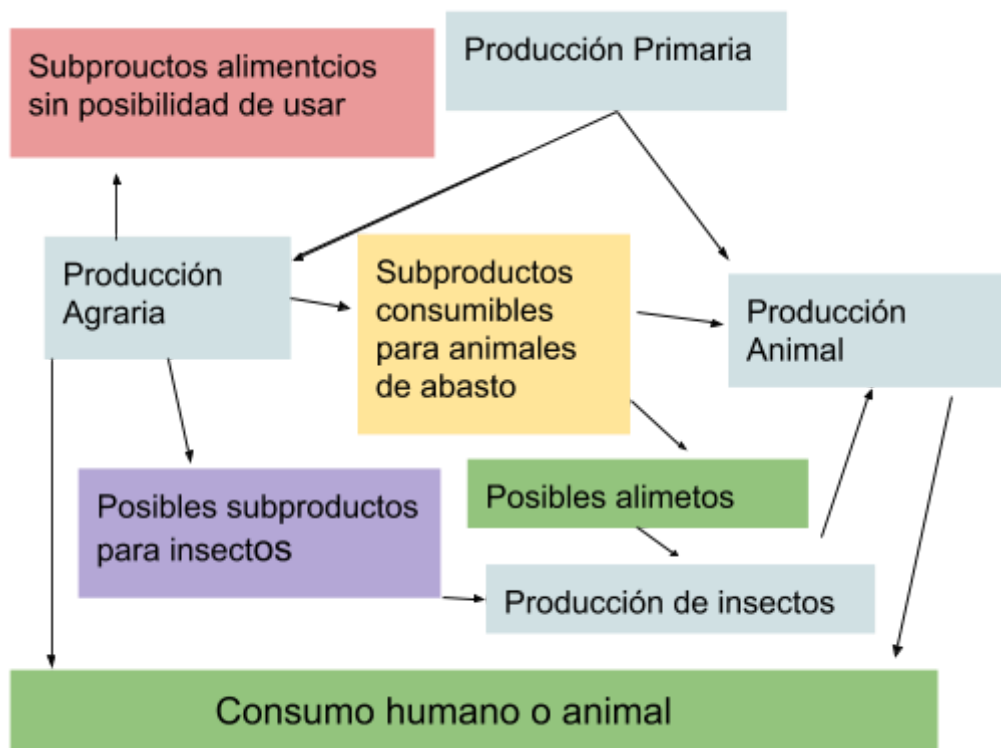


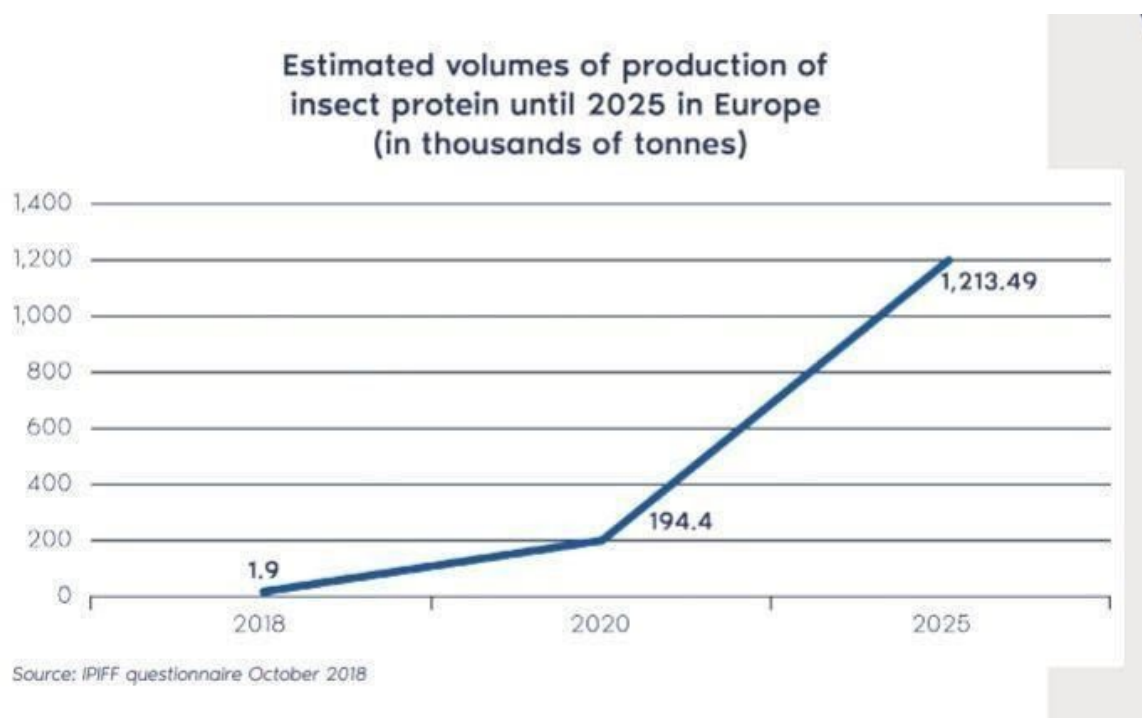
Figura 4: Formas de usar los subproductos y la producción de insectos de la producción agraria



La eliminación de desechos y residuos es un hecho que se repite en todos los elementos de la cadena alimentaria, desde la granja hasta la mesa (Xue et al., 2017). Algunos de esos residuos de producción no son apropiados para alimentación animal o para otros fines (fertilización, biocombustión, etc.), por lo que esos subproductos se desechan, provocando pérdidas y una reducción en la rentabilidad de la producción, y pueden generar un problema medioambiental.

Siempre hay subproductos de la industria agroalimentaria que de ningún modo se podrían usar para ningún tipo de dieta porque contienen sustancias nocivas y peligrosas para la salud humana o animal, a menos que exista algún tratamiento, como algunos procesados térmicos en el que el producto deja de ser perjudicial. Lo que más atractivo resulta de este modelo es que subproductos que inicialmente no interesan por su bajo valor nutricional o su mala digestibilidad en vertebrados, resultan una buena opción para alimentar a microorganismos o invertebrados, para los cuales sí presentan buena digestibilidad, palatabilidad y composición nutricional beneficiosa. Se espera que en los próximos años aumente la producción de insectos y sus derivados (Figura 5).

Figura 5: Volumen estimado de la producción de proteína de insectos hasta el año 2025 (en miles de toneladas). Fuente: IPPF Questionnaire octubre 2018.



4.2. Potencial de la cría de tenebrios en producción animal

Originalmente, el tenebrio ha sido considerado como plaga en muchas culturas y países dentro de Europa, ya que puede contaminar el grano cosechado de cereales. A día de hoy los controles de plagas integrados en los países desarrollados hacen que no sean tan frecuentes estas pérdidas, pero en cualquier caso estos insectos cumplen con muchas de las características de una especie invasora en potencia:

-Gran capacidad de adaptación a un medio nuevo, debido a que a la semana de la cópula, la hembra deposita un centenar de huevos, de 4 a 17 días ponen un promedio de 500 huevos después de la cópula (Mendoza, 2017), de los que muchas de las larvas eclosionadas se adaptan y prosperan.

-Como muchos insectos, tiene un intervalo generacional y ciclo de vida muy cortos, por lo que en poco tiempo pueden pasar a ser una población grande y con alta densidad, siempre y cuando el ambiente donde se desarrollen ofrezca alimento y condiciones adecuadas.

La especie de interés en este trabajo es el denominado Gusano de la Harina (*Tenebrio molitor*) Es un insecto coleóptero que presenta las fases de larva, pupa y adulto, lo que es denominado como ciclo holometábolo, que indica que los individuos de esta especie sufren una metamorfosis completa. Los insectos demuestran tener un índice de conversión del alimento comparable a otros animales de abasto, eso si la proporción comestible que sacamos de estos es mayor, y por lo tanto, su producción es más eficiente.

Imagen 1: Las fases de larva, pupa y adulto de *T.molitor* de izquierda a derecha



4.3. Composición nutricional de los insectos

La producción de insectos como alimento se ha desarrollado fundamentalmente en los últimos 10 años. Por ello, además de que se produce a pequeña escala en el mercado europeo, el conocimiento en relación a su valor nutritivo, así como a su digestibilidad y palatabilidad todavía es escaso. Aunque en alimentación humana se les atribuye la posibilidad de generación de procesos alérgicos (Yen,2010), no se han observado en animales ni en consumidores humanos de sus productos (Van Broekhoven et al., 2016).

El *Tenebrio molitor* se aprovecha con fines alimenticios en forma de larva, dado que concentra más proteína y grasa y menos quitina que los escarabajos adultos. Todas las fases del *Tenebrio* tienen un porcentaje de humedad parecido, que varía del 60 a 70% (Azagoh et al., 2016). Este porcentaje obliga a desecar el producto para su utilización y así mejorar su aprovechamiento.

Los componentes que más interesan en los insectos como producto alimenticio son la proteína y la grasa (Tabla 2), aunque además pueden considerarse otros compuestos como la quitina. La quitina se encuentra en el exoesqueleto de los insectos, y su contenido puede variar en las diferentes especies de interés y en su estado de desarrollo, alcanzando 56 y 137 mg/kg de materia seca en larvas y escarabajos adultos de *T. molitor* (Finke, 2007).

Se trata de un polímero de N-acetil glucosamina asociado a proteínas, lípidos y minerales, digestible para los rumiantes pero no para los monogástricos. Más allá de ser un inconveniente en la digestibilidad del producto presentan ciertas características inmunoestimulantes (Lee et al., 2008; Stull et al., 2018), siendo idóneo para su uso como agente probiótico y antimicrobiano, reduciendo la necesidad de terapias con antibióticos (Van Huis et al., 2013). En cuanto a la composición nutricional, la quitina es un compuesto difícil de analizar bromatológicamente, por lo que en muchos casos los valores se presentan en forma de fibra ácido detergente en vez de quitina (Finke, 2007).

Tabla 2: Composición química (% sobre materia seca) de harinas de soja y harina de Tenebrio molitor de mayor interés productivo (a partir de Makkar et al., 2014), en comparación con harina de soja (FEDNA,2010)

Ingrediente	Cenizas	Grasa Bruta	Proteína Bruta	Lisina Total	Metionina Total
Harina de soja	7,0	2,2	50,0	3,05	0,67
Tenebrio molitor	3,1+-0,9	36,1 +-4,1	52,8 +-4,2	2,86	0,79

4.3.1. Proteínas

El contenido en proteína bruta de la larva de tenebrio es muy elevado, pudiendo alcanzar entre el 40 y el 60 % de su materia seca. Sin embargo, hay que diferenciar entre nitrógeno proteico y no proteico (NNP), del cual cierto porcentaje corresponde a la quitina. Según Janssen et al. (2017), la proporción de NNP puede oscilar entre el 10 y el 25% sobre materia seca, según un estudio en tres especies de insectos (*Alphitobius diaperinus*, *Tenebrio molitor* y *Hermetia illucens*). Lógicamente, estas proporciones aumentan si se somete al producto a un procesado para la extracción de grasa.

El valor y potencial de un ingrediente proteico para un pienso es dependiente de la proporción de proteína bruta sobre materia seca y la digestibilidad, que depende del tipo de proteína. La composición aminoacídica dentro de la proteína bruta determina en parte la calidad de esa proteína, pues los insectos como ingrediente proporcionan harinas muy ricas en aminoácidos esenciales. Esas harinas, al ser parte de una dieta en ganadería, proporcionan perfiles aminoacídicos distintos a los animales alimentados a base ingredientes vegetales.

Este hecho se puede aplicar a estudios actuales, ya que un experimento del 2009 se analizó músculo de la pechuga de pollos alimentados con gusanos de la seda, y se obtuvo unos valores diferentes a los pollos con dietas convencionales. El contenido proteico no varió mucho pero si lo hizo el aminoacídico, los niveles de lisina y también los de triptófano se

vieron incrementados (Hwangbo et al., 2009). El contenido en metionina es mayor o igual en la larva de tenebrio que en la harina de soja al 47%, pero el contenido total en aminoácidos azufrados (metionina+cistina) es menor comparado con esta última. La valina es un aminoácido muy abundante en estas larvas, incluso comparando con la cantidad de valina en harina de pescado (67%). El triptófano es el aminoácido menos abundante (tabla 3).

Tabla 3: Composición aminoacídica de las proteínas de insectos de mayor interés productivo, expresada en proporción de la proteína y respecto a la lisina (a partir de Makkar et al., 2014).

	Lys	Met	Met + Cys	Thr	Trp	Arg	Val	Ile
% sobre PB:								
<i>M. domestica</i> (larva)	6,1	2,2	2,9	3,5	1,5	4,6	4,0	3,2
<i>H. illucens</i> (larva)	6,6	2,1	2,2	3,7	0,5	5,6	5,1	8,2
<i>T. molitor</i> (larva)	5,4	1,5	2,3	4,0	0,6	4,8	6,0	4,6
<i>B. mori</i> (pupa)	7,0	3,5	4,5	5,1	0,9	5,6	5,5	5,1
H. soja (47%)	6,1	1,4	2,9	3,9	1,3	7,3	4,8	4,5
H. pescado (67%)	7,4	2,7	3,6	4,1	1,1	6,0	4,9	4,1
% Lys:								
<i>M. domestica</i> (larva)		36	48	57	25	75	66	52
<i>H. illucens</i> (larva)		32	33	56	8	85	77	124
<i>T. molitor</i> (larva)		28	43	74	11	89	111	85
<i>B. mori</i> (pupa)		50	64	73	13	80	79	73
H. soja (47%)		23	48	64	22	119	79	74
H. pescado (67%)		36	48	55	14	80	66	55
Balance proteína ideal		31	60	65	19	42	68	55

Lys: lisina; Met: metionina; Met + Cys: metionina + cistina; Thr: treonina; Trp: triptófano; Arg: arginina; Val: valina; Ile: isoleucina.

En nutrición porcina, los aminoácidos esenciales que condicionan la nutrición y que suelen presentar mayores problemas como limitantes son la lisina y la metionina, seguidos por treonina y triptófano. Dependiendo en qué porcentajes se presenten en la composición de los aminoácidos determinará si ese alimento cubre las necesidades. En el caso de la metionina, los ingredientes a base de insectos proporcionan mayor cantidad que la harina de soja. Sin embargo, la lisina es mayor en la soja que en los insectos como el *Tenebrio molitor*. Si el producto se destina a su uso en avicultura, hay que tener en cuenta que la metionina es uno de los aminoácidos limitantes, junto con la lisina, metionina, treonina, triptófano y valina. El tenebrio demuestra ser capaz de regular su contenido en proteína y desecharlo cuando es necesario en forma de ácido úrico, tanto es así que en dietas más proteicas la excreción de este era mayor que en las dietas más energéticas (Van Broekhoven et al., 2015).

4.3.2. Grasa

La grasa es muy abundante en los insectos, aunque las larvas y las pupas contienen más cantidad de grasa que los estados adultos (Chen et al., 2009), y también difiere entre especies en cuanto a cantidad de saturados e insaturados .

El grillo y el tenebrio tienen un elevado porcentaje de ácidos grasos insaturados (Tabla 4). En el tenebrio, los niveles de ácido laurico (dodecanoico) son inferiores a los de la mosca soldado, pero el primero destaca por un considerable porcentaje de ácido oleico y linoleico. El índice n 6/n3 es un parámetro que establece la relación entre las cantidades de los grupos de ácidos grasos omega. Se considera que un índice bajo de menos del 5% en los alimentos es óptimo a nivel de salud y nutrición humana. En muchas especies de abasto es más alto (10-15%), pero se considera que con la dieta esto puede cambiar (Kouba y Mouro, 2011). Al igual que en la alimentación en producción animal convencional, el contenido de grasa varía directamente en función del sustrato donde se desarrollan las larvas, no solamente en cantidad sino en la composición lipídica.

Tabla 4: Contenido en principales ácidos grasos (% sobre materia seca) de harinas de los insectos de mayor interés productivo.

	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3
<i>M. domestica</i> (larva) ¹	5,5	31,1	13,4	3,4	24,8	19,8	2,0
<i>H. illucens</i> (larva) ¹	2,9	16,1	3,5	5,7	32,1	4,5	0,2
<i>A. domesticus</i> ¹	0,7	23,4	1,3	9,8	23,8	38,0	1,2
<i>T. molitor</i> ¹	4,0	21,1	4,0	2,7	37,7	27,4	1,3
<i>T. molitor</i> ²	2,6	18,0	2,1	3,8	40,9	29,7	1,6
<i>Grilloides sigilatus</i> ²	1,7	23,5	3,8	7,4	29,1	29,8	2,1
<i>Scistocerca gregaria</i> ²	1,7	23,2	1,8	9,3	36,2	14,0	11,4

C14:0: mirístico; C16:0: palmítico; C16:1: palmitoleico; C18:0: esteárico; C18:1: oleico; C18:2: linoleico; C18:3: linolénico

¹: Makkar et al. (2014); ²: Zielinska et al. (2015)

4.3.3. Minerales y vitaminas

Otro punto de interés de la composición nutricional es la relación calcio/fósforo (Ca:P). Los niveles de calcio son bajos, pero se puede aumentar con la alimentación del insecto. El fósforo ofrece una gran biodisponibilidad en los insectos, a diferencia de muchos alimentos vegetales cuyo fósforo está en forma de fitatos y por tanto muy poco biodisponible (Finke y Oonincx, 2017). Conociendo la relación Ca:P en los posibles alimentos ricos en calcio o en fósforo para *Tenebrio molitor*, se puede alterar este índice dependiendo del consumo al que se destinen las larvas.

En gallinas ponedoras siempre interesa que el calcio sea más alto que el fósforo, pues estos animales lo necesitan para formar el huevo y mantener el equilibrio con el calcio que proviene de los huesos, la inclusión de CaCO₃ en un 8% en las dietas de larvas destinadas a alimentar ponedoras resultó beneficioso al poder mantener ese equilibrio (Klasing et al., 2000).

En cuanto a las vitaminas, el contenido en vitamina A en las larvas de *Tenebrio* es bajo, como en otros insectos, porque acumulan la vitamina B en los ojos compuestos (Von Lintig, 2012) y no en el hígado como los animales superiores. El nivel de vitamina A en larvas es bajo al no tener ojos compuestos, y también muestran bajos niveles de vit D, C, niacina y tiamina.

4.4. Condiciones de cría de *Tenebrio molitor*

Para poder criar estos insectos en condiciones adecuadas se deben tener en cuenta unos parámetros ambientales muy específicos. La temperatura es un factor que limita su supervivencia: a 40 grados o más mueren y menos de 17 grados entran en hipobiosis y el crecimiento de las larvas está muy limitado. Por ello, debe estar comprendida entre 25 y 32 grados (Terrartropoda, 11 agosto, 2013). La humedad relativa (HR) puede estar entre el 40 y el 80 %, aunque para las larvas se recomienda una HR en torno al 70%. Un sustrato con una humedad relativa alta modifica la humedad relativa del ambiente, lo que puede provocar la aparición de mohos y por ende un descenso en el crecimiento y el índice de conversión (Garrucho, 2017). Variaciones en las condiciones ambientales de temperatura y humedad tienen un efecto importante sobre la duración del ciclo de desarrollo, pudiendo alargarse notablemente al salir del rango óptimo.

Otro factor a tener en cuenta es el número de tomas de alimento. El sustrato o el alimento se suele ofertar una sola vez al inicio de la cría, estimando la cantidad necesaria para toda la fase de desarrollo, y por eso es importante que el alimento sea seco y no húmedo y que pueda fermentar con microorganismos patógenos y contaminar a las larvas. El alimento puede ser sometido a temperaturas altas para minimizar su carga microbiana (esterilización), con un posterior proceso de deshidratación (Ramos Elorduy et al., 2002). Es recomendable mantener a temperaturas bajas los alimentos no tratados o enteros como son los trozos de verdura, o incluso congelarlos a temperaturas de menos 20 grados, antes de su uso (Mendoza, 2017). Algunos ensayos también practican la congelación a menos 20 grados en los sustratos (Oonincx et al., 2015).

Para su cría, se colocan en contenedores de producción no muy grandes, en salas o instalaciones donde se pueda controlar la temperatura y la humedad relativa. Dado que *T. molitor* no es capaz de volar o trepar por paredes lisas en ninguno de sus estados de desarrollo (larva, pupa o escarabajo), los contenedores no necesitan ser muy altos ni estar tapados. En cuanto al tamaño de las cajas, que puede variar, los autores de algunos experimentos usan cajas de 18 x 9 x 6 (Oonincx et al., 2015, Van Broekhoven et al., 2015). Las larvas se mantienen dentro de la caja donde se suministra el sustrato del cual se alimentan, y convenientemente, una fuente de agua que pueden ser verduras (zanahoria, patata) o frutas (manzana) con un alto contenido en humedad, para que las larvas se hidraten. Es importante distinguir esto de la humedad ambiental, ya que es un factor nutricional y metabólico.

Para el mantenimiento de la humedad ambiental, hay que disponer de un sistema evaporador de agua junto con un sistema de control de humedad y que la cuantifique para asegurarse de que está en el rango adecuado. A diferencia de la cría de otras especies, no es necesario contar con ningún tipo de iluminación especial; de hecho, se recomienda oscuridad o poca luz para que el ciclo se lleve a cabo de la mejor forma posible. pues son animales de hábitos nocturnos (Intriago Sánchez y Valencia Burgos, 2014).

Imagen 2 y 3: Suministro de trozos de zanahoria a las larvas (imagen 2 a la izquierda) y a los adultos (imagen 3 a la derecha).



Imagen 4: Ejemplo de producción de larvas en cajones apilados.



Imagen 5 :4 tipos de sustratos preparados con diferentes ingredientes.



En producción animal, para tener una producción óptima, el número de animales por metro cuadrado debe adecuarse a la optimización del uso del sustrato, al mantenimiento de las condiciones ambientales y a las particularidades de dominancia y competición de la especie concreta, para maximizar la productividad. En el caso de la producción industrial de tenebrio se recomienda una densidad de las larvas entre 800 y 1400 larvas por metro cuadrado (Van Broekhoven et al., 2015). El transcurso de la cría se debe desarrollar teniendo en cuenta su ciclo holometábolo, que condiciona las fases de producción (Figura 6).

Cuando las larvas se transforman a pupa es conveniente que se trasladen a otro contenedor con el resto de pupas, ya que puede haber casos de canibalismo por parte de las larvas (Dossey et al., 2016). De la misma forma, cuando las pupas han pasado a adulto se trasladan al recipiente de cría para que se inicie el proceso de puesta con los otros adultos.

El estado de larva es una fase de crecimiento que se caracteriza por el desarrollo de los órganos internos del animal y por llevar a cabo numerosas mudas, hasta nueve (Oonincx et al., 2015) a medida que estas vísceras crecen, hasta llegar al estado de pupa. A medida que van creciendo las larvas llegan a ser más grandes que los adultos, midiendo hasta 3 centímetros y medio y con un peso entre 90 y 160 mg (Ramos-Elorduy et al., 2002).

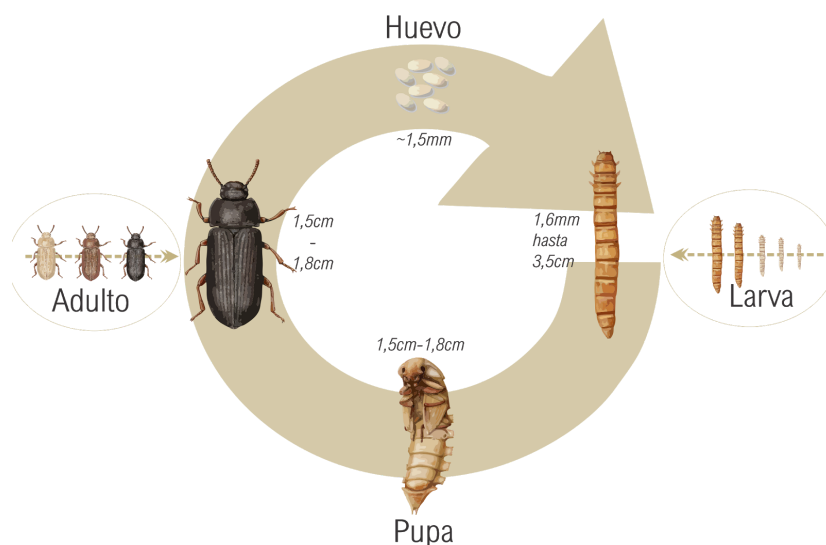
La pupa tiene la característica de ser una fase de poca actividad aunque se producen cambios morfológicos y fisiológicos muy importantes para que se desarrolle el siguiente estadio. Durante esta fase el Tenebrio no consume alimento. La fase adulta se caracteriza porque de la pupa sale un individuo con las características propias de un insecto (6 extremidades, dos antenas y con un color negro oscuro). La vida media de los adultos varía según la fuente consultada, pero abarca un periodo de tiempo de 3 a 4 meses (84 a 112

días) (Arellano y Velásquez, 2007), aunque en algunos casos se citan hasta 210 días. Aunque al principio los escarabajos son claros, van adquiriendo tonalidades marronáceas y finalmente un color negro al cabo de una semana.

Tras completar su metamorfosis, los escarabajos tardan de 10 a 12 días en copular, Después de la cópula las hembras ponen huevos a la semana, y éstos tardan otra semana en eclosionar, dando fruto a pequeñas larvas. Estas larvas van creciendo hasta alcanzar su tamaño máximo, en estado prepupa, en el término de 1,5-2 meses. Las pupas tardan en convertirse en adultos de 6 a 10 días para transformarse en la nueva generación de escarabajos adultos. En condiciones normales (70% de humedad relativa y 32°C) el ciclo de huevo a huevo suele ser alrededor de 300 días (Damborsky et al., 2000). Como se verá más adelante, la alimentación de las larvas condiciona mucho los tiempos de desarrollo, al igual que los rangos de temperatura ya explicados. Las hembras ponen unos 500-1000 huevos a lo largo de su vida, de color blanco y en forma de riñón (Díaz, 2014), y su máxima productividad se alcanza cuando los adultos tienen entre 2 y 3 semanas de vida (Moreno, 2018).

Figura 6: Ciclo de vida del *Tenebrio molitor*, con los tres estados incluyendo la fase de huevo, y los tamaños correspondientes a cada estado.

(Fuente: <https://www.ecoproten.com/blog/tenebrio-molitor-propiedades-nutricionales-y-caracteristicas>)



4.5. Análisis de dietas alternativas

4.5.1. Ingredientes en dietas convencionales

Los tenebrios son omnívoros. Se suelen alimentar de productos vegetales, aunque también puede alimentarse de carne y otros alimentos de origen animal. Las dietas control en experimentos nutricionales pueden dar una idea, en términos de ingredientes, de cuáles son los más normalizados industrialmente. Los niveles de proteína, grasa y almidón en las dietas estipuladas para el tenebrio pueden variar más de lo esperado. En uno de estos estudios se usaron dos dietas control distintas, y aunque los contenidos en proteína y grasa no eran muy desiguales, el contenido en almidón varió de un 43 a un 23%, entre dietas varió el 20% el contenido en almidón (Van Broekhoven et al., 2015). Los contenidos en proteína eran del 15 y 19% respectivamente, que se consideran rangos aceptables en cuanto a las necesidades de proteína.

Teniendo en cuenta el sustrato sobre el que se desarrolla esta especie en libertad (granos de cereales), no parece que sean necesarios un amplio número de ingredientes para alimentar a las larvas y que crezcan adecuadamente. Los ingredientes a base de cereales no suelen superar el 15 % en proteína, excepto el gluten del maíz (Rumbos et al., 2020).

Los ingredientes más extendidos son cereales como el trigo, la avena y el maíz, acompañados de soja, o incluso productos de lechería (Makkar et al., 2014). Se sostiene que las larvas pueden ser alimentadas solamente con salvado de trigo y una fuente de agua proveniente de vegetales frescos (Garrucho, 2017). Lo más utilizado es la combinación de grano de trigo en forma de harina, salvado y una fuente de agua (Miryam et al., 2000; Morales-Ramos et al., 2012; Punzo, 1975). Como referencia, el trigo duro nacional (*Triticum durum*), contiene un 14% de proteína, un 59 % de almidón y 11% de fibra (FEDNA, 2010)

El salvado de trigo es un ingrediente barato, y es un sustrato ampliamente utilizado en estudios científicos, además de usarse industrialmente. El inconveniente es que están presentes todos los nutrientes que necesitan para desarrollarse correctamente pero estos no están en las proporciones adecuadas, por lo que hay exceso de hidratos de carbono en forma de fibra (38,5%), pero el contenido proteico es del 15.1 %. Aun así, el problema de este ingrediente es la energía, pues solo contiene 20-23% de almidón (FEDNA, 2010). Aunque las larvas se produzcan igual y un 15 % de proteína puede ser suficiente en todo caso, este hecho se corrige combinando el salvado y la fuente de agua con un ingrediente un poco más proteico, como puede ser el bagazo de cerveza.

4.5.2. Las materias primas alternativas

Los experimentos en las dietas buscan explicar cómo afectan los diferentes ingredientes en los animales alimentados, y al mismo tiempo varían los porcentajes de proteína, grasa y fibra y ciertos minerales.

Un subproducto interesante es la levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*). Muchos estudios apuntan a que provoca un efecto mejorante en el ritmo de desarrollo si se incorpora en la dieta como ingrediente proteico, debido al alto valor aminoacídico de su proteína y a los factores de crecimiento que contiene, que pueden estimular el desarrollo de las fases larvares. En uno de estos estudios, Davis y Sosulski (1974) incluyeron un 10 % de levadura de cerveza y observaron un incremento del peso larval, que prácticamente se duplicó.

La dieta a base de salvado es la dieta control en el experimento presentado en la tabla 5. Al sustituir en un 10 % la dieta con bagazo, todos los parámetros mejoran excepto la supervivencia larval, que disminuye en un 6 % respecto a la dieta control. Las dietas que promueven los mejores resultados en términos de crecimiento y tiempo de desarrollo son las que incluyeron 30 y 50% de bagazo en sustitución de salvado. El bagazo de cerveza contiene un 24-26% de proteína bruta (FEDNA,2010), y al combinarse con el salvado en un 50 %, obtenemos una dieta con alrededor de un 20 % de proteína bruta. Una dieta con este porcentaje de proteína bruta sobre materia seca resulta compensada para el correcto crecimiento larval (Ramos-Elorduy et al., 2002).

Tabla 5: Datos de las diferentes dietas experimentales: dieta control a base de salvado de trigo (DBT) y sustituyendo un 10, 30, 50 o 70% por bagazo de cerveza (BGZ). Fuente: Kim et al. (2019)

Dietas	Porcentaje de supervivencia (%)	Ganancia de peso en mg	Ratio de crecimiento (peso final-peso inicial/ días)	Tiempo de desarrollo de las larvas	Peso de las pupas
Dieta 100% (DBT)	73	93.82b ±35.71	4.48	76.26c ±5.16	155.64 ±16.49
DBT 90%+BGZ 10%	67	108.87b ±26.90	4.67	74.67bc ±6.35	144.88 ±26.39
DBT 70%+BGZ 30%	87	132.77a ±23.60	4.88	67.17a ±5.20	147.22 ±19.14
DBT 50%+BGZ 50%	90	135.32a ±33.14	4.89	68.35a ±6.16	154.69 ±22.34
DBT 30%+BGZ 70%	87	107.23b ±37.47	4.62b	72.46b ±6.80	149.80 ±26.96

Otro subproducto muy estudiado y usado en estas pruebas con insectos es el que viene de la patata. La patata es un tubérculo que forma parte de muchas dietas humanas alrededor del mundo debido a su reducido coste comparado con otros productos. La patata es muy usada en la industria alimentaria. Los derivados de patata contienen factores como glicoalcaloides y solanina, que pueden alterar o comprometer el crecimiento y la supervivencia de las larvas, como se observó en un experimento con el escarabajo *Sitophilus oryzae* (Nenaah, 2011), Sería necesario evaluar si estos compuestos pueden afectar específicamente a *Tenebrio molitor*, y ejercer sobre él un efecto similar.

En su estudio, Ramos Elorduy et al. (2002) compararon combinaciones de hasta 35 diferentes desechos orgánicos como sustrato para el crecimiento de larvas de tenebrio, y posteriormente analizaron la respuesta nutritiva de dichas larvas en la alimentación de broilers. Los sustratos seleccionados variaron desde restos de frutas y verduras hasta subproductos de arroz y legumbres, y se usaron en distinta proporción incluidos en cinco dietas mixtas junto con levaduras hasta alcanzar un 20% de proteína. Estas dietas se contrastaron con una dieta control a base de salvado de trigo y levaduras (22% de proteína). Dada la heterogeneidad en las mezclas de subproductos no se puede llegar a una conclusión definitiva respecto a los que promueven una mejor respuesta, pero sí es evidente que las larvas de *Tenebrio* pudieron desarrollarse a niveles similares al control con todas las combinaciones.

No queda clara la respuesta al nivel de proteína de la dieta, ya que la producción y la proporción de proteína de las larvas fue similar con niveles de proteína dietética a partir del 15%. El nivel de inclusión de harina de larvas de *Tenebrio* en la dieta de pollos de cebo (0, 5 ó 10%, en sustitución de harina de soja y aceite vegetal) no afectó a su crecimiento ni al índice de conversión, lo que indica que puede usarse como sustrato alimentario sin reducir la calidad del ingrediente.

Por su parte, Oonincx et al. (2015) evaluaron combinaciones de distintos subproductos (bagazo y levadura de cerveza, harina de galleta, pan rallado, peladura de patata, melazas de remolacha) en distintas combinaciones para conseguir dos niveles de proteína (22 y 13%) y de grasa (10 y 2%) tal y como muestra la Tabla 6. Además, emplearon zanahoria fresca como aporte de humedad alimentaria.

Tabla 6: Parámetros nutricionales de las larvas alimentadas con las distintas dietas (Oonincx et al., 2015). HP (alto en proteínas), LP (bajo en proteínas), HF (alto en grasas), LF (baja en grasas).

	Tiempo de desarrollo (en días)	Índice de conversión del alimento	Ratio de supervivencia (en %)	Proteína bruta extraída de las larvas (% DE MS)	Grasa bruta extraída de las larvas (% DE MS)	Materia seca extraída de las larvas
Dieta control 1	91	5,5	93	50,4	24,8	35
D. control 2	95	5,0	88	47,8	34,5	36
HPHF	88	4,5	88	51,3	22,6	32,3
HPLF	83	5,8	82	53,3	23,6	35,1
LPHF	135	19,1	15	44,1	27,2	34,8
LPLF	164	10,9	80	48,3	24,8	30,2

La oferta de una fuente de agua mejora la eficiencia de utilización del alimento, y reduce el tiempo de desarrollo. La inclusión en la dieta de 22% proteína redujo el tiempo de crecimiento de las larvas y aumentó la eficiencia de utilización del alimento respecto al nivel de 13%. No obstante, el rango de diferencias en este experimento es muy alto, y no permite deducir respuestas en el rango intermedio.

El contenido de proteína en la dieta experimental hace que cuanto más alto fuera este menor tiempo de desarrollo experimentaban las larvas, al igual que los tiempos de supervivencia eran mayores. Cabe recalcar que estas dietas proteicas tenían como uno de sus ingredientes el bagazo (levadura) de cerveza que funciona como estimulante alimentario como ya se ha comentado, a este hecho se le sumaba la aportación de zanahoria como fuente de humedad, que favorecía estos parámetros.

Van Broekhoven et al. (2015) también valoraron diversos subproductos (Tabla 7), como granos secos de destilería con solubles (DDGS), harina de galleta, residuos del procesado de patata y un subproducto de la fabricación de bioetanol, incluidos en diferentes proporciones en dietas con distintos niveles de proteína (del 10 al 26%) y almidón (del 20 al 50%), en un diseño similar al de Oonincx et al. (2015). Los niveles de proteína y almidón influyeron en el crecimiento e índice de transformación (Tabla 8), pero en este caso, el nivel de proteína no afectó la composición proteica de las larvas. En cuanto al uso de harina de galleta, las larvas alimentadas con este ingrediente en un 50 %, mostraron una alta mortalidad. Esto se puede deber a que algunas harinas de galleta dependiendo del origen contienen canela, cuya composición ha demostrado ser perjudicial para la viabilidad de las larvas (George et al., 2010; Isbikber et al., 2009).

Tabla 7: Composición por ingrediente de las dietas control y experimentales: HPHS (Alta concentración de proteínas y almidón), HPLS (Alta concentración de proteínas y baja en almidón), LPHS (Baja en proteínas y alta en almidón), LPLS (Baja en proteínas y almidón) (Van Broekoven, 2015).

	HPHS	HPHS(b)	HPLS	LPHS	LPHS(b)	LPLS
DDGS	10%	10%	20%			
Bagazo de cerveza	40%	40%	40%	5%	5%	10%
Pan rallado	10%	10%	10%	10%	10%	50%
Grano gastado			30%			40%
Peladura de patata	40%			85%		
Harina de galleta		40%			85%	

Tabla 8: Parámetros nutricionales de las larvas alimentadas con las distintas dietas (Van Broekoven, 2015)

	Tiempo de desarrollo (en días)	Índice De conversión del alimento	Ratio de supervivencia (en %)	Proteína cruda extraída de las larvas (% DE MS)	Grasa bruta extraída de las larvas (% DE MS)	Materia seca extraída de las larvas
Dieta control	123	3,44	86	45,1	25	27,3
HPHS	79	3,04	88	48,6	26,3	33,4
HPLS	95	2,62	92	47,5	27,6	29,4
LPHS	168	6,05	88	46,9	18,9	35,3

Se puede afirmar que la cantidad y proporción de proteína se refleja también en parámetros productivos como el índice de conversión y el tiempo que tardan las larvas a llegar al estado de pupa (tiempo de desarrollo). Las larvas también mostraron mayor supervivencia, mayor índice de conversión y menos tiempo de desarrollo cuando eran alimentadas con más cantidad de proteína. Se considera que el porcentaje alto de proteína aportado afecta disminuyendo el índice de conversión, mientras que el porcentaje elevado de carbohidratos lo aumenta. El peso de las larvas de la dieta HPLS también fue mayor que los promovidos por otros tratamientos. La dieta LPHS demostró tener menos nutrientes y algunos de sus ingredientes tenían peor digestibilidad, lo que justifica un aumento del consumo de zanahoria, ya que esta es considerada fuente de cierta cantidad de nutrientes.

Tabla 9: Diferentes dietas del experimento (Castro León et al.,2017)

Dieta 1	Salvado de trigo y restos de patata
Dieta 2	Salvado de trigo ,patata ,zanahoria y manzana
Dieta 3	Salvado de trigo, Bolitas de masa cruda(5 cm de diámetro) (300 g de harina de maíz, 40 g de levadura de cerveza, 50 g de leche en polvo y 80 g de miel de abeja).
Dieta 4	Mezcla de bolillo(Pan) duro molido (de 70 a 80 %) con tortilla de maíz triturada (de 20 a 30 %), Trozos de manzana, papa y zanahoria
Dieta 5	Sustrato comercial y trozos de zanahoria

El experimento de la tabla anterior distingue entre sustrato y alimento complementario húmedo. Además, contiene una dieta cuya fuente de agua no son verduras sino un conjunto de ingredientes mezclados y humedecidos en una única masa. El origen de la proteína en la dieta también condiciona los resultados finales, ya no solo en el índice de conversión sino en la composición nutricional y bromatológica de las larvas, como demuestra que la dieta de salvado y patata aportó mayor porcentaje de proteína bruta (53%) que la de sustrato comercial y trozos de zanahoria (52%). Como se ha comentado anteriormente, el salvado es suficiente para alcanzar una adecuada retención de proteína y grasa, y resultó más eficiente que el sustrato comercial. Por el contrario, las dietas a base de maíz y subproductos de panadería indujeron la mayor retención grasa.

Otro experimento (Mendaza, 2017) comparaba distintos tipos de verduras para alimentar a las larvas y analizó la grasa y la vitamina A, así como el crecimiento y el índice de conversión. Las verduras seleccionadas para estas pruebas fueron la patata, la zanahoria y el brócoli. La dieta que incluyó brócoli fue la que registró mayor consumo, mayor incremento de peso en las larvas y un menor índice de conversión. Aun así, no hubo diferencias significativas en las tasas de conversión entre las dietas con diferentes desechos vegetales.

4.5.3. COMPOSICIÓN DE LOS PRODUCTOS RESPECTO AL TIPO DE CRÍA

En el primer experimento expuesto (Ramos Elorduy, 2002), el perfil aminoacídico mostró una gran variabilidad a nivel total de aminoácidos y también de aminoácidos esenciales, siendo los aminoácidos más variables la leucina, la metionina y el triptófano. La dieta B dio como resultado un perfil aminoacídico total más alto (78 gramos de aminoácidos por 100 gramos de proteína) que la dieta control (77%) respecto a las necesidades de pollos en crecimiento, sobre todo en relación a la metionina (1,68 de esta y en total 51% de aminoácidos esenciales), ya que los aminoácidos azufrados son limitantes en broilers.

En cuanto a la posterior nutrición de los broilers, se usaron las larvas sometidas a una de las dietas anteriores cuyo perfil aminoacídico era el más óptimo para el crecimiento de los pollos, seleccionadas en función de la cantidad de metionina (1,80). Se sustituyó la dieta convencional de las aves en un 5 y un 10% con la harina hecha a partir de las larvas y el alimento aportado demostró ser palatable y con digestibilidad aceptable para los broilers.

Las ganancias de peso, la ingestión y el índice de conversión no mostraron gran variabilidad en comparación con la dieta convencional. El experimento demostró que no hubo efectos adversos en sustituir las dietas convencionales para aves por harinas de insectos y que los insectos alimentados con diferentes dietas dan diferentes composiciones nutricionales.

En las larvas alimentadas con las respectivas dietas, el ácido linoleico se muestra constante con respecto a la variabilidad del contenido graso en las dietas (Oonnincx et al., 2015). Así, el ácido graso principal y más abundante en las larvas fue el oleico, aunque en la composición grasa de las dietas los más abundantes fueron el ácido linoleico y mirístico en las dietas bajas y altas en grasa, respectivamente. En el mismo experimento, el índice n6/n3 resultó menor en las larvas alimentadas con las dietas que contenían zanahoria y el menor de todos fue el índice de las larvas alimentadas con la dieta más altas en proteína y grasa (HPHF), tal vez debido a que el índice de esa dieta fue uno de los más altos y por tanto tenga más ácidos grasos n6 que n3. La dieta con el índice n6/n3 más bajo era la más proteica y la menos grasa, por lo que contenía una cantidad de n3 mayor en proporción que las otras dietas, pero las larvas alimentadas con esta dieta al final mostraron mayor cantidad de n6 que de n3, por lo que se evidencia cierto sinergismo entre las cantidad de proteínas y grasa aportadas para mejorar este índice y hacerlo más bajo (HPHF o LPLF), ya que al ser mayor la cantidad de uno de los dos nutrientes respecto al otro (HPLF o LPHF) el índice era mayor. El nivel de proteína puede influir porque con más proteína disponible destinarán la grasa a energía para el crecimiento, mientras que si no hay suficiente proteína, un exceso de energía se retendrá como grasa en la larva, como se observa en el caso de la dieta LPHF. Estas variaciones se muestran en la siguiente Tabla.

Tabla 10: Ratios n6/n3 de las diferentes dietas y de las larvas criadas con las diferentes dietas (Oonnincx et al., 2015)

	n6/n3 de las dietas	n6/n3 de larvas alimentadas con esa dieta sin zanahoria	n6/n3 de larvas alimentadas con esa dieta y con zanahoria
Dieta HPHF	10,7	32	23,7
Dieta HPLF	4,9	102	66
Dieta LPHF	13,5	79	57,7
Dieta LPLF	6,2	40,6	35,4

Tabla 11: Porcentaje de ácidos grasos de las diferentes dietas y porcentaje de ácidos graso en las larvas alimentadas con diferentes dietas (Van Broekhoven, et al., 2015)

Ácido Graso	Dieta control	Dieta HPHS	Dieta HPLS	Dieta LPHS	Larvas (Dieta control)	Larvas (Dieta HPHS)	Larvas (Dieta HPLS)	Larvas (Dieta LPHS)
A.Laurico(12:0)		0,09		0,41		0,38		
A.Mirístico(14:0)		0,41	0,28	1,21	2,32	3,19	2,20	2,79
A.Pentadecanoico(15:0)		0,16				0,19		
A.Palmitico(16:0)	17,04	13,16	14,90	14,04	16,19	16,96	16,13	16,67
A.Margarico(17:0)		0,32	0,20	1,33		0,34	0,49	
A.Esteárico(18:0)	0,76	2,350	2,09	2,90	2,97	2,72	2,64	
A.Araquidónico(20:0)		0,27	0,33	0,57		0,16		
A.Palmitoleico(16:1)	0,17	3,28	1,79	3,31	1,56	2,88	2,67	1,56
A.Oleico(18:1)	12,58	26,20	24,48	22,88	46,41	48,68	39,78	57,63
A.Linoleico(18:2)	60,66	47,28	51,03	32,02	27,83	20,99	31,25	15,45
A.alfalinoleico(18:3)	5,90	2,67	2,86	4,32	1,48	0,67	1,29	
A.Eicosadienoico(20:2)		0,08		0,68		0,10	0,34	
N6/N3 Ratio	10:1	16:1	18:1	5:1	19:1	32:1	21:1	

En cuanto a los perfiles de grasa del trabajo de Van Broekhoven et al. (2015) (Tabla 11), en la dieta LPHS, debido a la inferior calidad nutricional en comparación con las demás, el contenido final de las larvas en su composición era menor y menos diversa, ya que hicieron uso de sus propias reservas grasas para tener el aporte calórico apropiado. Al contener patata, esta dieta incluye factores como los glicoalcaloides que intervienen en la biosíntesis de lípidos independientemente del metabolismo de los carbohidratos. Los ácidos grasos predominantes en la composición de todas las larvas eran el ácido linoleico, el palmítico y el oleico. En este aspecto, los ácidos predominantes no han cambiado comparando estos resultados con los datos de la composición grasa de las larvas de la dieta control. La composición de la grasa final, aparte de la alimentación, está condicionada por la regulación fisiológica de las larvas. El ácido oleico en la composición final de las larvas alimentadas con la dieta LPHS era mayor que en la dieta control, que era la que tenía menor contenido de este ácido graso. Todo este fenómeno se debe a la síntesis de novo, ya que al tener menor aporte el organismo se dedica a sintetizar sus propios ácidos grasos endógenos, entre ellos oleico y esteárico.

En el caso de linoleico, por ser esencial debe ser ingerido con la dieta, de modo que en las larvas alimentadas con la dieta LPHS (con menos contenido en linoleico) mostraron menor linoleico en su composición final que en larvas alimentadas con otras dietas.

La inclusión de ciertos ingredientes que cuentan con un perfil graso equilibrado como es el pescado azul son una opción para alimentar a las larvas, tanto si son de origen vegetal o animal, y así poder mejorar el perfil graso de la larva. La alimentación de larvas con harinas de pescado (38% proteína) durante 24 horas no promovió un incremento de la grasa en comparación con el resto de dietas sin pescado (33% proteína), siendo mejorado con la inclusión de zanahoria en la dieta (Mendaza, 2017).

5.Conclusiones

Salvando el hecho de que su cría aún no resulte rentable y deba ser optimizada, la producción de *Tenebrio molitor* es sencilla de poner en práctica. Se reproduce con facilidad y contiene altos niveles de proteína y grasa de calidad, por lo que se plantea como una opción para la industria alimentaria en cuanto a la alimentación de los animales de abasto. Se espera que su producción aumente en los años venideros, y que surjan alternativas para que su producción sea más rentable.

Al no existir apenas referencias de su producción industrial debido a lo reciente de su implantación, surge la necesidad de realizar ensayos y estudiar las condiciones de producción y alimentación de este insecto para optimizar sus condiciones de utilización al nivel de otras especies de la ganadería convencional. Algunos estudios se han enfocado en la posible incorporación de subproductos agroindustriales y residuos alimentarios para la cría de larvas y adultos de *T. molitor*, consiguiendo abaratar costes de producción.

La naturaleza y proporción de proteína en la dieta para la alimentación de las larvas juega un papel fundamental en el desarrollo y en el peso final. El perfil aminoacídico de la dieta larval debe ser una referencia para diseñar cada dieta a base de harina de Tenebrio. Los aminoácidos limitantes y su digestibilidad determinan el sustrato más indicado para la cría.

Los nutrientes más energéticos como los carbohidratos y la grasa condicionan al metabolismo de todos los nutrientes. Algunos ácidos grasos monoinsaturados influyen directamente en el metabolismo y la conversión larval. Las larvas de tenebrio son capaces de producir del novo el ácido oleico, pero el ácido linoleico es esencial y no puede ser sintetizado. Los subproductos de panadería aportan mucha grasa a las larvas, pero no necesariamente el mejor índice n6/n3.

Otros nutrientes como la fibra deben ser analizados en profundidad pues la quitina tiene ciertas características de interés, y no hay que descuidar los minerales y las vitaminas pues también se pueden modificar con la dieta al igual que grasa y aminoácidos.

Se ha demostrado que el aporte de agua o humedad en forma de alimentos frescos como la zanahoria no resulta prescindible, pero mejora el desarrollo de las larvas y no muestra inconvenientes graves más allá del manejo en su sustitución semanal o periódica.

5.1. Conclusions

Apart from the fact that the *Tenebrio molitor* breeding still lacks profitability and should be optimised, its production is simple to apply. It reproduces easily and it contains high protein levels and quality fats, so it is consequently considered as an option for the feed industry, more specifically for the feeding of production animals. The production of this insect is expected to grow in the future years, and other alternatives for a more profitable production are hoped to emerge.

As there are seldom references of its industrial production due to its recent implementation, a need arises to conduct tests and to study the production and feeding conditions of this insect to improve its using conditions to the level of other conventional animal species. Some studies have focused on the possible incorporation of agroindustrial byproducts and food waste for *T. molitor* larvae and adults breeding, managing to reduce the production costs.

The nature and the proportion of the protein in the feeding diet of larvae play a fundamental role in their development and in their final weight. The amino acid profile of the larva's breeding should be a reference to design every diet made of *Tenebrio* flour. The limiting amino acids and their digestibility determine the most appropriate substratum for the breeding.

The most energetic nutrients such as carbohydrates and fats modulate all the nutrient metabolism. Some monounsaturated fatty acids have a direct influence on the metabolism and on the larvae transformation. The *Tenebrio* larvae are able to produce the oleic acid *de novo*, but the linoleic acid is essential and it cannot be simplified. The bakery by-products provide a lot of fat to the larvae, but not necessarily the best n6/n3 rate.

Other nutrients such as fibre should be deeply analysed, since the chitin owns certain interesting properties. Moreover, minerals and vitamins should not be neglected, as they can also be modified with the diet as well as fats and amino acids are.

It has been proven that the water or humidity contribution in the form of fresh food like carrots is not compulsory, but it improves the larvae development and it does not show major disadvantages beyond the use of its weekly or regular substitution.

6.BIBLIOGRAFÍA

Arellano, D., y amp; Velásquez, S. (2007). Cría de Invertebrados para alimentación complementaria. 1–7.

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>

Bruinsma J. (2009). The resource outlook to 2050: by how much do land, water and crop yields need to increase by 2050? FAO Expert meeting on how to feed the world in 2050, Rome, Italy. <http://www.fao.org/3/a-ak971e.pdf>.

Castro León, C. A., Cervantes Mayagoitia, J. F., Schettino Bermúdez, B. S., y Noguera Hernández, N. (2017). COMPARACIÓN DE CINCO DIETAS ALIMENTICIAS EN LA CRÍA DE *Tenebrio molitor* L. (COLEOPTERA: TENEBRIONIDAE). Entomología Mexicana, 4, 616–620. http://www.entomologia.socmexent.org/revista/2017/EV/EM0772017_616-620.pdf

Chen, X., Feng, Y., & Chen, Z. (2009). Common edible insects and their utilization in China. Entomological Research, 39, 299–303.

Čičová H, Pastor B, Kozánek M, Martínez-Sánchez A, Rojo S (2012). Biodegradation of pig manure by the housefly, *Musca domestica*: a viable ecological strategy for pig manure management. PLoS ONE 7 (3), e32798.

Damborsky, M., Sandrigo, T. y E. Oscherov. 1999. Ciclo de vida de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) en condiciones experimentales. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura. UNNE. Argentina.

Davis, G.R.F., Sosulski, F.W., 1974. Nutritional quality of oilseed protein isolates as determined with larvae of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor* L. J. Nutr. 104, 1172–1177.

DÍAZ, Graciela. USO DE LA LARVA DE TENEBRIO (*Tenebrio molitor*) COMO ADITIVO PROTEICO, EN LA ALIMENTACIÓN DE CODORNICES (*Coturnix coturnix japonica*). Tesis (Para el grado de Zootecnista): Guatemala. Universidad San Carlos de Guatemala, 2014. 36pp

DOSSEY, Aaron y MORALES, Juan y GUADALUPE, M. *Insects as Sustainable Food Ingredients: Production, Processing and Food Applications*. Minnesota, USA, 2016. ISBN 978-0-12-802856-8

FEDNA-Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos (3ª edición). 2010. C. de Blas, G.G. Mateos y P. García-Rebollar. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid. 502 pp.

Finke M.D. (2007). Estimate of chitin in raw whole insects. *Zoo Biol.* 26, 105-115.

Finke M.D., Oonincx D.G.A.B. (2017). Nutrient content of insects. En: *Insects as Food and Feed, from Production to Consumption*, van Huis A., Tomberlin J.K. (eds.), Wageningen Academic Publishers, Wageningen, NL, pp. 290-316,

Fondevila, Manuel. Latorre, M. de los ángeles. (2017). Insectos como materia prima alternativa en la alimentación de porcino - Artículos - 3tres3, la página del Cerdo: https://www.3tres3.com/articulos/insectos-como-materia-prima-alternativa-en-la-alimentacion-de-porcino_38324/

Garrucho, N. T. (2017). *Tenebrio molitor* for food or feed: Rearing conditions and the effect of pesticides on its performance., Politécnico de Coimbra, Portugal.

George, D.R., Sparagano, O.A.E., Port, G., Okello, E., Shiel, R.S., Guy, J.H., 2010. Toxicity of plant essential oils to different life stages of the poultry red mite, *Dermanyssus gallinae*, and non-target invertebrates. *Med. Vet. Entomol.* 24, 9– 15.

Huis, V. A. (2010). Opinion: Bugs can solve food crisis. *The Scientist - Magazine of the Life Sciences* (Vol.).

Hwangbo, J., Hong, E. C., Jang, A., Kang, H. K., Oh, J. S., Kim, B. W., et al. (2009). Utilization of house fly-maggots, a feed supplement in the production of broiler chickens. *Journal of Environmental Biology*, 30, 609–614..

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.

IPPIFF Questionnaire octubre (2018) The European insect sector today: challenges, opportunities and regulatory landscape: IPIFF vision paper on the future of the insect sector towards 2030. www.ippiff.org

Isbikber, A.A., Özder, N., Sağlam, Ö., 2009. Susceptibility of eggs of *Tribolium confusum*, *Ephestia kuehniella* and *Plodia interpunctella* to four essential oil vapors. *Phytoparasitica* 37, 231–239

Janssen R.H., Vincken J.P., van den Broeck L.A.M., Fogliano V., Lakemond C.M.M. (2017). Nitrogen-to-protein conversion factors for three edible insects: *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, and *Hermetia illucens*. *J. Agric. Food Chem.* 65, 2275-2278.

Kim, S. *et al.* (2019) “Growth performance of the edible mealworm species, *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of brewer’s yeast,” *International Journal of Industrial Entomology*. 한국잡사학회, 39(2), pp. 54–59. doi: 10.7852/IJIE.2019.39.2.54.

Klasing, K.C., Thacker, P., Lopez, M.A., Calvert, C.C., 2000. Increasing the calcium content of mealworms (*Tenebrio molitor*) to improve their nutritional value for bone mineralization of growing chicks. *J. Zoo Wildlife Med.* 31, 512–517

Kouba M, Mourot J. A review of nutritional effects on fat composition of animal products with special emphasis on n-3 polyunsaturated fatty acids. *Biochimie*. 2011; 93(1):13–7. doi: [10.1016/j.biochi.2010.02.027](https://doi.org/10.1016/j.biochi.2010.02.027) PMID: [20188790](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20188790/)

Lee, K.P., Simpson, S.J., Wilson, K., 2008. Dietary protein-quality influences melanization and immune function in an insect. *Funct. Ecol.* 22, 1052–1061

Makkar H. P. S., Tran G., Heuzé V., Ankers P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Anim. Feed Sci. Technol.* 197, 1-33.

Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2010). The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. Value of Water Research Report Series No. 48, Vol. 48, Delft, The Netherlands: UNESCO-IHE.

Mendaza E. (2017). Influencia de diferentes dietas en la composición nutricional del insecto comestible *Tenebrio molitor* y estudio de su pardeamiento. Tesis Doctoral, Universidad Pública de Navarra.

Meuwissen, P. 2011. Insecten als nieuwe eiwitbron. Een scenarioverkenning van de marktkansen. ZLTO-projecten. 's Hertogenbosch, The Netherlands.

Morales-Ramos, J.A., Rojas, M.G., Kay, S., Shapiro-Ilan, D.I., Tedders, W.L., 2012. Impact of Adult Weight, Density, and Age on Reproduction of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). J. Entomol. Sci. 47, 208–220. doi:10.18474/0749-8004-47.3.208

Moreno, J. (2018, 19 noviembre). Gusano de la harina - *Tenebrio molitor*. Recuperado 15 septiembre, 2019, de <https://invertebrados.paradise-sphinx.com/artropodos/gusano-de-la-harina-tenebrio-molitor.htm>

Miryam, D., Bar, P.S.T., Oscherov, M.E., 2000. Ciclo de Vida de *Tenebrio molitor* (Coleoptera , Tenebrionidae) en Condiciones Experimentales. Methods.

Nenaah, G., 2011. Individual and synergistic toxicity of solanaceous glycoalkaloids against two coleopteran stored-product insects. J. Pest. Sci. 84, 77–86

Nguyen, T.L.T., Hermansen, J.E., Mogensen, L., 2012. Environmental costs of meat production: the case of typical EU pork production. J. Clean. Prod. 28, 168–176. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.08.018>.

Oonincx, D. G. A. B., van Isterbeeck, J., Heetkamp, M. J.W., van den Brand, H., van Loon, J.J. A., & van Huis, A. (2010). An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. PloS One, 5.

Oonincx, D. G. A. B., Van Broekhoven, S., Van Huis, A., y Van Loon, J. J. A. (2015). Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. 10(12). doi:10.1371/journal.pone.0144601

Pleissner D. & Rumpold B.A.(2018)Utilization of organic residues using heterotrophic microalgae and insects.Elsevier Ltd

Punzo, F., 1975. Effects of temperature , moisture and thermal acclimation on the biology of *Tenebrio molitor* (Coleoptera : Tenebrionidae). Iowa State University.

Ramos-Elorduy J., Avila González 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, 214-220

Rumbos, C.I., Karapanagiotidis, I.T., Mente, E. *et al.* Evaluation of various commodities for the development of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor*. *Sci Rep* 10, 11224 (2020).
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-67363-1>

Terrartropoda:Ficha Gusano de la harina – *Tenebrio molitor*. (2013, 11 agosto).Recuperado 12 septiembre,2019, de
<https://terrartropoda.wordpress.com/2013/08/11/ficha-gusano-de-la-harina-tenebrio-molitor/>

Van Broekhoven, S., Oonincx, D. G. A. B., van Huis, A., y 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:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jinsphys.2014.12.005>

Van Broekhoven S., Bastiaan-Net S., De Jong N.W., Wichers H.J. (2016). Influence of processing and in vitro digestion on the allergic cross-reactivity of three mealworm species. *Food Chem.* 196, 1075-1083.

Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., Vantomme, P., 2013. *Edible Insects: Future Prospects for Food and Feed Security*.

VENIK (2011)-Veldkamp, T., Van Duinkerken, G., Van Huis, A., Lakemond, C. M. M., Ottevanger, E., Bosch, G. & van Boekel, T. (2012). Insects as a Sustainable Feed Ingredient in Pig and Poultry Diets: a Feasibility Study= Insecten als duurzame diervoedergrondstof in varkens-en pluimveevoeders: een haalbaarheidsstudie: Wageningen UR Livestock Research.

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.

Von Lintig J. (2012). Metabolism of carotenoids and retinoids related to vision. *J. Biol. Chem.* 287, 1627-1634),

Xue, L., Liu, G., Parfitt, J., Liu, X., Van Herpen, E., Stenmarck, Å., O'Connor, C., Östergren, K., Cheng, S., 2017. Missing food, missing data? A critical review of global food losses and food waste data. *Environ. Sci. Technol.* 51, 6618–6633. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.7b00401>.

Yen, A. L. (2010). Edible insects and other invertebrates in Australia: Future prospects. In P. B. Durst, D. V. Johnson, R. N. Leslie, & K. Shono (Eds.), *Forest insects as food: humans bite back* (pp. 65–84). Bangkok, Thailand: FAO.

Zielińska E., Baraniak B., Karaś M., Rybczyńska K., Jakubczyk A. (2015). Selected species of edible insects as a source of nutrient composition. *Food Res. Int.* 77, 460-466.