



Facultad de Veterinaria  
Universidad Zaragoza



# Trabajo Fin de Grado en Veterinaria

Puesta en marcha de una granja experimental  
para la cría de insectos destinados a  
alimentación

Setting up an experimental farm for breeding insects for feeding

Autor/es

Pau Roig Cléries

Director/es

Manuel Fondevila Camps

Javier Lucientes Curdi

Facultad de Veterinaria

2019

---

## Índice

1. Resumen .....	1
1.1 Abstract .....	1
2. Introducción .....	2
2.1. Características del <i>Tenebrio molitor</i> .....	3
2.1.1 Composición nutricional .....	6
3. Justificación y objetivos .....	10
4. Metodología .....	10
4.1 Adaptación de la colonia en el entorno de trabajo.....	10
4.2 Establecimiento de la colonia de <i>Tenebrio molitor</i> .....	15
4.3 Determinación de la composición nutritiva.....	16
4.4 Determinación del nivel de sustrato.....	17
5. Resultados y discusión .....	19
5.2 Crecimiento y consumo del <i>Tenebrio molitor</i> .....	23
6. Conclusiones.....	25
6.1 Conclusions.....	26
7. Valoración personal .....	26
8. Bibliografía .....	27

## 1. Resumen

Los insectos son una alternativa a las vías clásicas de alimentación, sin embargo, aún hay muchas dudas al respecto para que sea una fuente de elección en el ámbito alimentario. Este trabajo tiene como objetivo la puesta en marcha de una granja experimental de insectos, con la finalidad de destinarlos a alimentación. En un principio se quería trabajar con dos especies, *Tenebrio molitor* y *Locusta migratoria*, pero como veremos más adelante sólo hemos podido trabajar con *Tenebrio molitor*, debido a problemas reproductivos con *L. migratoria*. Se repasa el material, instrumental y ambiente usado para su cría, así como la composición química del *Tenebrio molitor* para verificar si nuestros resultados coinciden con otros estudios y si son realmente una fuente de alimentación a tener en cuenta. Más allá, también hemos recreado una situación con diferentes tratamientos alimentarios para ver que variables realmente influyen en el desarrollo del *Tenebrio molitor*, para ello hemos ido recopilando datos semanales, a los que posteriormente se les ha aplicado un análisis estadístico mediante el programa Statistix, el cual nos ha permitido determinar cuáles son los factores a tener en cuenta durante la cría de los insectos.

Palabras clave: “*Tenebrio molitor*”, “Cría” y “Composición”

### 1.1 Abstract

Insects are an alternative to the classic feeding pathways, nevertheless there are still so many doubts about being a source of choice in the food sector. The aim of this work is to set up an experimental insect farm in order to use them for food and feed. Initially we were supposed to work with two species, *Tenebrio molitor* and *Locusta migratoria* but as we will see later, we were only able to work with *Tenebrio molitor*, due to reproductive problems with *L. migratoria*. We will show the equipment and environment that we have used for breeding as well as the chemical composition of *Tenebrio molitor* to see if our results match with other studies and if they are actually a good feeding supply to consider. Moreover, we have also recreated a situation with different feeding treatments to see which variables influence the development of *Tenebrio molitor*. For this commitment we have been collecting weekly data, which have subsequently been subjected to statistical analysis through Statistix program, which has allowed us to determine what the factors are to consider for breeding.

Keywords: “*Tenebrio molitor*”, “Breeding” and “Composition”

## 2. Introducción

En los últimos años, la utilización de insectos como fuente de proteína y otros nutrientes para la alimentación animal y humana se ha planteado como una alternativa de futuro rentable, sostenible y de calidad que sustituya a otras fuentes convencionales. No obstante, existen todavía muchas dudas sobre las condiciones óptimas de cría y los factores que pueden influir en el aprovechamiento de este recurso. El planteamiento de este trabajo final de grado es la puesta en marcha de una granja experimental de insectos, como paso previo al desarrollo de estudios de rendimientos productivos y calidad nutritiva y sanitaria. Inicialmente se trabaja con el gusano de la harina (*Tenebrio molitor*) y con la langosta africana (*Locusta migratoria*) observando su capacidad de adaptación a las condiciones ambientales de las instalaciones del Servicio de Experimentación Animal de la Universidad de Zaragoza y su desarrollo consecuente. Se pretende crear y mantener una colonia estable de cada una de las especies y experimentar con las poblaciones en cuanto al efecto de factores ambientales y condiciones de alimentación sobre los parámetros de cría y alimentación, con la finalidad de obtener insectos en calidad y cantidad suficientes para la producción de pienso para animales de producción.

Durante el desarrollo de la experiencia con ambas especies tuvimos problemas reproductivos con la langosta africana (*Locusta migratoria*) ya que, aunque llegaron a adultos con sus respectivas mudas, copulaban pero no ponían huevos en el arenero, por lo que centraremos todo el trabajo en torno al *Tenebrio molitor*.

En la actualidad los insectos destinados a alimentación están siendo una realidad y una vía muy económica y eficaz de obtener alimento para animales de producción. Además, se está empezando a implementar también en alimentación humana. A nivel de alimentación animal se usan mucho en peces y gallinas, así como en animales exóticos como lagartos. En alimentación humana el *Tenebrio molitor* es uno de los más consumidos a día de hoy en casi todo el mundo, y próximamente en España.



Figura 1: Uso de *Tenebrio molitor* en alimentación de animales

Los insectos generalmente son utilizados en producción y alimentación animal debido a su alto contenido en proteínas y energía, así como al bajo coste económico que resulta su crianza y al poco espacio que requieren.

### 2.1. Características del *Tenebrio molitor*

El *Tenebrio molitor* o gusano de la harina es un coleóptero de la clase *Insecta* con un ciclo holometábolo que presenta 3 fases (larva, pupa/crisálida, adulto). Una vez eclosionan los huevos y salen las primeras larvas, pasan entre 8 y 12 mudas antes de volverse crisálidas (Arellano & Velásquez, 2007).



Figura 2: Fases de la metamorfosis del *Tenebrio molitor*: larva, pupa y adulto

Las condiciones de cría óptimas para estos insectos son una temperatura ( $T^a$ ) de 25-32 °C (Cría del gusano de la harina, 2019) y una humedad relativa de 40-80 % (Terrartropoda, <https://terrartropoda.wordpress.com/2013/08/11/ficha-gusano-de-la-harina-tenebrio-molitor/>, 11 agosto, 2013). La temperatura es considerada como factor limitante para el crecimiento, ya que por encima de 40 °C mueren y por debajo de los 17 °C los *Tenebrio molitor* dejan de tener actividad. Al ser un animal ectotérmico sus necesidades básicas están totalmente ligadas al ambiente y esto hace que su ciclo vital pueda variar entre unos 97 días a más de 630 (Moreno, 2018). En este aspecto, también influye la dieta empleada para su cría. Si la humedad es muy baja puede originar la muerte de los animales en los todos los estadios, así como el exceso de la misma que podría ocasionar problemas de hongos con lo que se produciría un descenso muy marcado en la producción (Terrartropoda, <https://terrartropoda.wordpress.com/2013/08/11/ficha-gusano-de-la-harina-tenebrio-molitor/>, 11 agosto, 2013). La humedad relativa también está vinculada de manera positiva con la fertilidad y la actividad de los adultos, ya que como hemos visto anteriormente favorece su crecimiento y bienestar general. Consecuentemente, se debe hacer un seguimiento de los

factores ambientales, en particular, de la humedad relativa y de la temperatura.

Como alimentación base para la cría de estos insectos se suelen utilizar cereales (trigo, avena, maíz) y derivados ricos en carbohidratos, como salvado de cereales, harina o una combinación de ambos. Además, pueden ir suplementados con fuentes de proteína como la harina de soja, leche desnatada en polvo o levadura. Los adultos, a diferencia de las larvas, necesitan agua que se aporta mediante fruta y verdura fresca, aunque también se les puede administrar ofreciéndoles un papel de filtro húmedo, ya este aporte extra de humedad favorece el índice de conversión (Oonicx et al 2015). La cantidad de alimento consumido es aproximadamente de 1 g de alimento por larva, basándonos en el estudio Oonicx et al (2015).

Es importante que se mantenga una densidad poblacional adecuada, por lo que se recomienda que esté por debajo de 250 escarabajos por caja de 50 x 40 x 20 cm. Con esta densidad se puede cosechar alrededor de 800 gr de larvas semanalmente (Arellano & Velásquez, 2007). Si se aumenta la densidad decrece la productividad de las hembras probablemente debido al canibalismo de los huevos por parte de los adultos. Para que la cría se lleve a cabo de la manera más efectiva se recomienda reponer a los reproductores cada 60-75 días, que es más o menos cuando han alcanzado el 80-90% de su potencial reproductor. Cada semana se deben limpiar los contenedores, así como retirar a los muertos y las mudas para poder evitar o reducir al mínimo la contaminación. 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). La vida media de los adultos varía según la fuente consultada, pero abarcamos un periodo de tiempo de entre 16 a 210 días, y la mayoría de 3 a 4 meses (84 a 112 días) (Arellano & Velásquez, 2007). Las hembras ponen unos 500-1000 huevos a lo largo de su vida y su máxima productividad se alcanza cuando los adultos tienen entre 2 y 3 semanas de vida (Johanna Moreno, <https://invertebrados.paradais-sphynx.com/artropodos/gusano-de-la-harina-tenebrio-molitor.htm>, 2018). A partir de las 24 semanas la producción de huevos en las hembras desciende de manera muy acentuada, por lo que no merece la pena mantenerlas más de este tiempo.

Según un trabajo experimental (Damborsky et al., 2000), el tiempo de vida media según la fase es la siguiente (Tabla 1):

	ESTADOS DE DESARROLLO							
	Huevo		Larva		Pupa		Adulto	
	Cohorte							
	A	B	A	B	A	B	A	B
Media	10,0	8,4	202,9	203,8	6,9	8,3	74,7	49,4
S	1,1	2,2	16,7	44,2	1,1	2,9	47,8	28,5
(n)	56	49	15	11	15	11	15	10

Tabla 1: Duración media de los estados de desarrollo de *Tenebrio molitor* en condiciones experimentales

En la siguiente Figura 3, vemos el tiempo entre las diferentes etapas del ciclo ( SAMSAs, [https://www.alimentovivosamsa.com/blog/102\\_metamorfosis-y-ciclo-vital-del-gusano-de-la-h.html](https://www.alimentovivosamsa.com/blog/102_metamorfosis-y-ciclo-vital-del-gusano-de-la-h.html)):

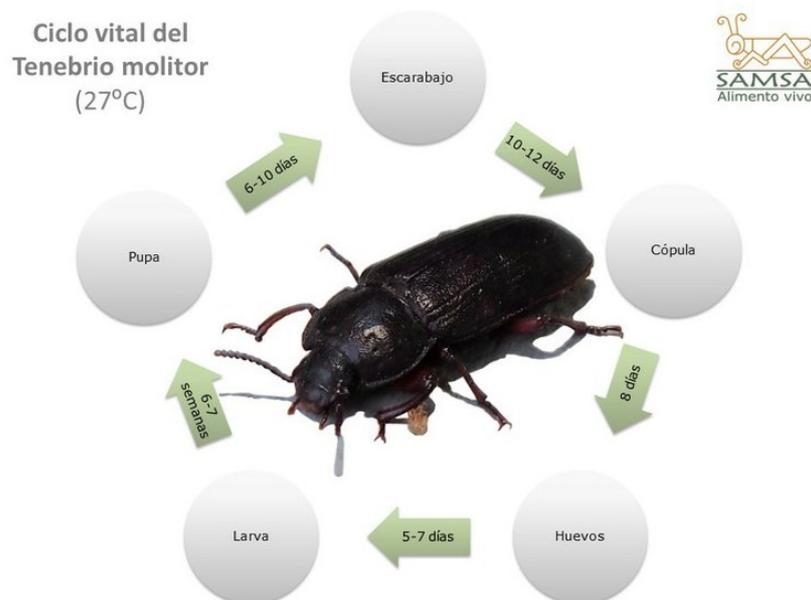


Figura 3: Ciclo vital del *Tenebrio molitor*

Los adultos tienen actividad nocturna, por lo que se desarrollan y crían bien a oscuras. Son

insectos que no vuelan y no escalan superficies lisas de plástico, por lo que podemos mantener todo el ciclo en cajas de este material. No se requiere tapar las cajas, a lo sumo poner una malla para evitar que ciertas plagas puedan acceder al interior los contenedores. No conviene cerrarlas herméticamente ya que así se propiciaría el crecimiento de hongos.

Para tener una producción más homogénea se aconseja cribar el sustrato de cría cada semana separando a los adultos que se colocan en otro contenedor con sustrato de cría de nuevo. De esta forma se consiguen poblaciones más homogéneas. Según algunos autores se recomienda separar las pupas para evitar el canibalismo de éstas (Berlanga et al., 2016).

### 2.1.1 Composición nutricional

El *Tenebrio molitor* destaca a nivel nutricional en los porcentajes de extracto etéreo y proteína. A continuación, se presenta la Tabla 2 de composición que posteriormente compararemos con nuestros propios resultados.

Tabla 2: Composición porcentual del *Tenebrio molitor* comparada con la de fuentes proteicas habituales en alimentación animal (Makkar et al., , 2014; FEDNA, 2010).

	Cenizas	Extracto etéreo	Fibra	Proteína bruta	lisina total	metionina total
<i>Tenebrio molitor</i> (larva)	3,1±0,9	36,1±4,1	6,5*	52,8±4,2	2,86	0,79
Harina de soja (47% PB)	7,0	2,2	5,4	53,4	3,27	0,76
Harina de pescado (67% PB)	16,3	10,1	1,1	71,8	5,31	1,94

\*Fibra ácido detergente.

La composición de la Tabla 2 muestra datos revisados por Makkar et al. (2014) a partir de resultados de diversos autores (Rumpold y Schlüter, 2013; Makkar et al., 2014; FEDNA, 2010; Zielinska et al, 2015; Payne et al., 2016; Sun-Waterhouse et al., 2016; Williams et al., 2016; Khan, 2018), en comparación con ingredientes proteicos muy utilizados en alimentación animal. Se observa que a nivel de extracto etéreo posee una cantidad significativamente mayor en

comparación a la harina de soja y de pescado. A nivel de proteína se asemeja más la harina de soja y en fibra es mayor, aunque hay que tener en cuenta que es fibra ácido detergente, que es equiparable al contenido en quitina de la harina de insecto.

La composición en humedad que contiene el insecto suele ser bastante constante y según muchos estudios se sitúa alrededor del 30 y 40% aproximadamente (Fondevila & Mussons, 2018). Por este motivo se recomienda el secado, la retirada de la quitina y la posterior molienda, para poder conseguir un 90% de materia seca, con lo que se haría más fácil el manejo del producto, así como también se aumentaría el tiempo de almacenaje, la disponibilidad de nutrientes y la palatabilidad.

En términos de composición aminoacídica (Tabla 3), puede observarse el elevado contenido en aminoácidos esenciales, especialmente de treonina, cubriendo las necesidades de proteína ideal en la mayor parte de los aminoácidos esenciales limitantes.

Tabla 3: Composición aminoacídica (% sobre materia seca) de *Tenebrio molitor* en relación a la proteína ideal (respecto a la lisina) en ganado porcino (Makkar et al., 2014; FEDNA, 2010).

	Lys	Met	Met + Cys	Thr	Trp	Arg	Val	Ile
% sobre PB: <i>T. molitor</i> (larva)	5,4	1,5	2,3	4,0	0,6	4,8	6,0	4,6
% Lys: <i>T. molitor</i> (larva)		28	43	74	11	89	111	85
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 la proteína bruta podríamos considerar que se sobreestima en cierta manera, ya que tenemos una elevada cantidad de nitrógeno no proteico (del 11 al 26%) que en parte se encuentra como constituyente de la quitina. Se supone una sobreestimación del 10% aunque según cálculos posteriores se ha demostrado que la proteína oscila entre 5,4-5,6 (Mariotti et al., 2008). La proteína de los insectos tiene una gran solubilidad en un amplio rango de pH, una alta capacidad de retención de agua y aceite que favorece la formación de emulsiones y espumas estables, lo que facilita su uso en la industria como materia prima para elaborar alimentos (Bußler et al., 2016; Zielińska et al., 2018a).

A continuación, en la Tabla 4 se muestra el perfil lipídico de *Tenebrio molitor*:

Tabla 4: Contenido de los principales ácidos grasos del *Tenebrio molitor* (% sobre materia seca) (Makkar et al. (2014), Zielinska et al. (2015))

	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3
<i>T. molitor</i>	4,0	21,1	4,0	2,7	37,7	27,4	1,3
<i>T. molitor</i>	2,6	18,0	2,1	3,8	40,9	29,7	1,6

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

En cuanto a contenido de lípidos se refiere, los insectos oscilan entre el 10 y 26% de extracto etéreo, algunas especies en concreto pueden llegar hasta el 36% como es el caso del *Tenebrio molitor* (Fondevila & Mussons, 2018) . Esta grasa, puede ser aislada para poder ser utilizada en otro ámbito que no sea el alimentario, como por ejemplo en cosmética, donde se aprecia mucho su composición en ácidos grasos. En cuanto a la relación entre ácidos grasos saturados e insaturados, está entre 0,40 y 0,65. Como se observa en la Tabla 4, en el caso de *Tenebrio molitor* abundan los ácidos grasos mono- y poliinsaturados (Makkar et al., 2014; Zielinska et al., 2015). Según estudios realizados, se evidencia que la composición lipídica se puede variar con la alimentación a la que se hayan sometido los insectos (St-Hilaire et al., 2007).

Por otro lado, en la Tabla 5 adjuntamos los datos de composición mineral:

Tabla 5: Contenido de los principales minerales (g/kg de materia seca) (Makkar et al., 2014).

	Ca	P	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
<i>T. molitor</i>	2,7	7,8	2,3	0,009	0,057	0,016	0,116

En el caso del *Tenebrio molitor* la relación Ca:P es especialmente baja (Tabla 5; Makkar et al., 2014), ya que tiene muy poca cantidad de Ca y muy elevada de fósforo, lo que haría necesaria una suplementación de Ca (Makkar et al., 2014). Además, según Anderson (2000) se ha demostrado que se puede variar esta relación simplemente suplementando la alimentación del *T. molitor* con Ca.

A diferencia de los vegetales, el fósforo de los insectos es altamente biodisponible (Finke y Oninckx, 2017). En comparación, las harinas de insectos contienen más hierro y zinc que las carnes de pollo, vacuno o cerdo (Zielinska et al., 2015; Payne et al., 2016), lo que hace que el interés por estos productos aumente considerablemente, siendo muy buenas herramientas

para combatir potenciales deficiencias de éstos.

En general, los insectos son ricos en riboflavina, ácido pantoténico y biotina, aunque no en niacina, tiamina y vitaminas A y C. Concretamente en el caso de las larvas del *Tenebrio molitor* las vitaminas B1 y la B12 no se encuentran en gran cantidad (Finke et al., 2015). Por otra parte, los insectos en general han sido utilizados en la medicina tradicional como, por ejemplo, la quitina que se usa como probiótico e inmunológico (Lee et al., 2008; Khempaka et al., 2011; Stull et al., 2018).

A día de hoy se están llevando a cabo investigaciones orientadas a plantear los insectos como una fuente alternativa de proteína, aunque el principal problema que aún está por resolver es la producción masiva de insectos. Según muchos estudios, se observan ventajas de usar insectos como aporte proteico en alimentación de cerdos y de aves de corral, así como para producción de peces. Por otro lado, existen estudios que demuestran las ventajas que tendría consumir insectos a nivel de alimentación humana; en particular, la entomofagia se ha señalado como una buena opción para prevenir enfermedades asociadas con el estrés oxidativo.

Se considera que la digestibilidad de los aminoácidos del *Tenebrio molitor* tanto para aves como para peces es similar o superior a la de las fuentes convencionales de proteína, como serían la harina de soja o la de pescado. De esta manera, si se añade a una dieta baja en minerales, se puede mejorar la digestibilidad de esta proteína para aves y peces. Dicho esto, se ha evidenciado mediante ensayos in vivo en pollos, que la sustitución de la harina de soja por harina de *Tenebrio molitor* no afectaba de manera significativa al rendimiento ni a la producción. Esta aseveración se basa en varios ensayos, como el de Ramos-Elorduy et al. (2002), en el cual se incluía un 10% de harina de *Tenebrio molitor* en sustitución de un 35% de harina de soja sin observar diferencias, aunque sí que se sugirió que el nivel de metionina podía ser limitante. Otros autores como Schiavone et al., (2014) y Bovera et al. (2015), no observaron diferencias reseñables incluyendo un 25 y 100% de harina de *Tenebrio molitor* respectivamente. Con la información disponible hasta ahora, se sugiere que las harinas de insectos podrían llegar a sustituir a las harinas de soja y otras fuentes de proteína en alimentación animal manteniendo los rendimientos a nivel productivo.

En el ámbito de la alimentación es un insecto muy agradecido que además puede ayudar a reducir los restos orgánicos e incluso los inorgánicos, de hecho, existen estudios que recalcan el beneficio del uso de *Tenebrio molitor* como protagonista del reciclaje de desechos orgánicos, que posteriormente serán usados como alimentación para animales de producción, como por ejemplo un estudio en el que se destinaban para la alimentación de broilers (Ramos-Elorduy et al. 2009). Hay otros autores que afirman y demuestran que el *Tenebrio molitor* es capaz de

alimentarse a partir de poliestireno, cosa que sería muy interesante a nivel de reciclaje de plásticos para poder disminuir la contaminación debido al uso extremo en la sociedad actual (Yang et al., 2018). El planteamiento para aprovechar los restos de producción podría ser muy interesante en el ámbito de empresas alimentarias, para el aprovechamiento de los subproductos de producción aumentando así su valor económico. Por otro lado, sólo necesitan un sustrato a base que en nuestro caso ha sido harina y salvado, junto con un aporte extra de humedad en forma de alimento, destacando los tubérculos y vegetales.

### **3. Justificación y objetivos de este TFG**

Este trabajo de final de grado (TFG) se ha llevado a cabo debido a la oportunidad que ha brindado el Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Zaragoza, que ha puesto a disposición un espacio dedicado a la experimentación con insectos. Más concretamente, este trabajo final de grado se centrará en el ámbito de la cría de insectos, así como del valor nutricional de los mismos, para estudiar las ventajas o desventajas que supondría el uso de los insectos como materia prima para la alimentación principalmente orientada al ámbito de producción animal y secundariamente a la alimentación humana.

Para ello se ha planteado la consecución de los siguientes objetivos:

1. Conseguir una población estable de insectos, especificando la duración de sus fases y desarrollo.
2. Regular y establecer las condiciones ambientales y de alimentación que garantizan el *crecimiento* de los insectos.
3. Relacionar el ritmo de crecimiento con la composición de los insectos obtenidos.

## **4. Metodología**

### **4.1 Adaptación de la colonia en el entorno de trabajo**

Para poder conseguir una población estable de *Tenebrio molitor* lo primero es conseguir un entorno adecuado para ello. Con este fin conseguimos el espacio suficiente en la nave 007 (Figura 4) del Servicio de Experimentación Animal de la Universidad de Zaragoza, en el campus de la Facultad de Veterinaria, para llevar a cabo nuestro experimento.



Figura 4: Nave 007

Allí se dispone de unas estanterías en las cuales se colocaron inicialmente 4 cajas de plástico (51 x 40 x 25 cm) (Figura 5) para producir y criar las larvas de la población inicial con el alimento adecuado (Figura 6), así como con las condiciones ambientales correctas que se especificarán más adelante.



Figura 5: Cajas de plástico iniciales



Figura 6: Sustrato con *T. molitor*

Se adquirió aproximadamente un kilo de larvas de los *Tenebrio molitor*, que llegó a nuestras instalaciones el 06/03/19. A partir del peso medio de las larvas (0.107 g, n=30) se estimó un total de 9340 larvas. Las larvas fueron separadas uniformemente en 4 cajas (unos 250 g por caja, 2335 larvas). En cuanto a su alimentación, se decidió iniciar el experimento con una mezcla a base de 2/3 de harina de trigo y 1/3 de salvado de trigo, sumando todo un total de 300 g por caja (Tabla 6). En las cajas de adultos también se incluyeron hueveras de cartón y unas telas (Figura 7) ya que los adultos ponen los huevos de manera más eficaz en superficies rugosas o con cavidades (Arellano & Velásquez, 2007).



Figura 7: Hueveras y telas para la puesta de huevos

Según se ha comentado, el *Tenebrio molitor* es un insecto que se desarrolla de manera más eficaz cuando se le proporciona un aporte extra de humedad en forma de alimento. En nuestro caso empezamos aportando patata cruda (Tabla 6), y más adelante zanahoria.

Tabla 6: Contenido en cada una de las cajas.

Caja	1	2	3	4
Peso caja (g)	850,3	849,3	850,1	851,3
Larvas (g)	250	223	250	250
Alimento (g)	300	300	300	300
Patata (g)	41	39	39	26

En cuanto a las condiciones ambientales, por lo que a la cría de insectos respecta se tienen que controlar 3 variables muy importantes, como son la temperatura (Figura 8), la humedad (Figura 9) y la luz.



Figura 8: Calefactor



Figura 9: Termómetro-higrómetro

Inicialmente, las instalaciones se acondicionaron con aporte térmico por medio de un sistema de conducción de aire caliente conectados a una un calefactor central. Una vez instalado el circuito pudimos mantener una temperatura bastante estable dentro de cada sala. Además, se dispuso de un calefactor portátil para asegurar la temperatura óptima. El seguimiento y control de temperaturas se llevó a cabo mediante un termómetro-higrómetro electrónico, el cual, aparte de registrar las temperaturas y humedad in situ, mantenía un registro de las temperaturas máximas y mínimas a lo largo del día. Se mantuvo la temperatura entre 25 y 32°C que es óptima para el crecimiento del *Tenebrio molitor*. Como se observa en la Tabla 7 y la Figura 10. La discontinuidad de la gráfica corresponde a los días en los que no se registró la temperatura.

Tabla 7: Temperaturas del entorno ambiental.

Media Tª puntual	Media Tª mínima	Media Tª máxima
27,2064815°C	25,502439°C	29,7585366°C

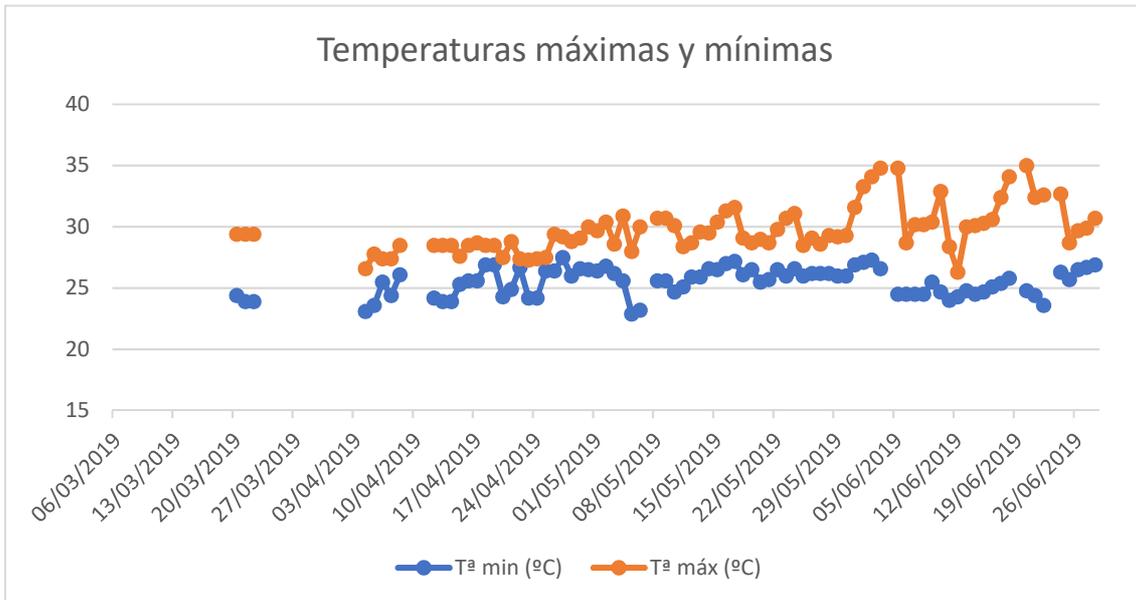


Figura 10: Gráfico de temperaturas máximas y mínimas

La humedad óptima para la cría del *Tenebrio molitor* está alrededor del 50% y ha sido el factor más difícil de controlar ya que el sistema de calefacción disminuía significativamente la humedad del ambiente. Para intentar compensar esta reducción de humedad en el ambiente instalamos un humidificador (ver Figura 11) en la sala, el cual permitió elevar ligeramente, pero sin llegar a los valores recomendados.



Figura 11: Humidificador

Para controlar este parámetro se utilizó un termómetro-higrómetro. Según los datos recogidos, se observó un rango de humedad relativa en el ambiente entre 26 y 44%, como se observa en la Tabla 8 y en la Figura 12. Como se ha comentado, la humedad es un factor limitante en cuanto al desarrollo y crecimiento del *T. molitor* se refiere, por lo que se asoció el valor de mortalidad obtenido (un poco más elevado de lo normal) con las bajas humedades.

Tabla 8: Humedad relativa del entorno ambiental.

Media Humedad puntual	Media Humedad mínima	Media Humedad máxima
32,714486	26,3341463	44,3341463

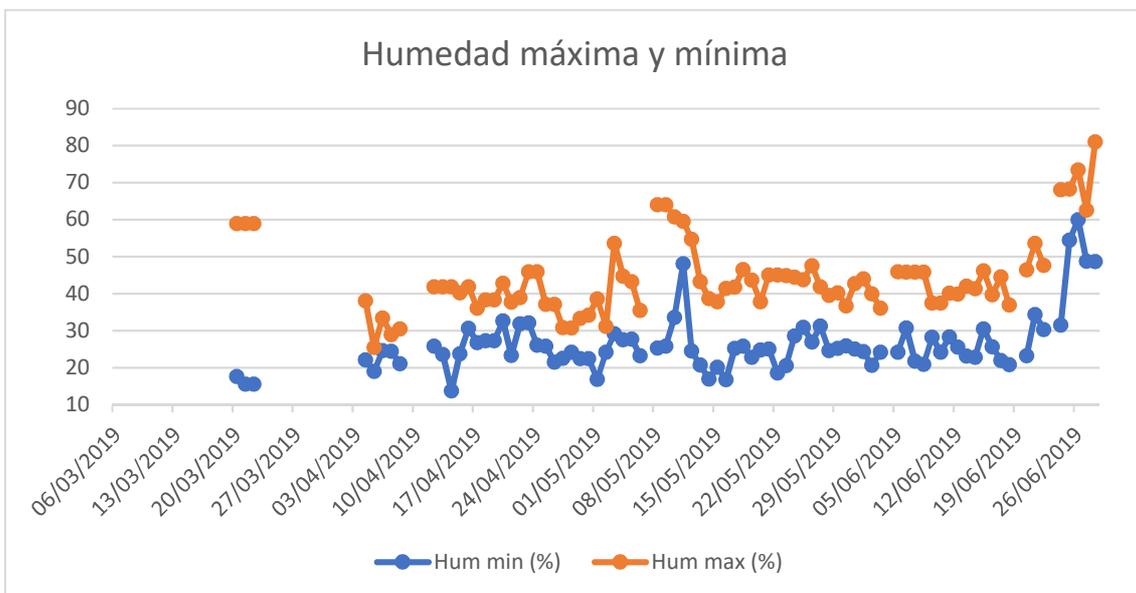


Figura 12: Gráfico de humedad máxima y mínima

La luz fue el factor más fácil de manejar ya que estos insectos no precisan de luz alguna para su cría. Por tanto, en nuestro caso, estaba siempre apagada a excepción de los momentos en los que se accedía a ellos. Su presencia o ausencia no marca ningún cambio significativo a nivel de producción, como se indica en las características del *Tenebrio molitor*.

En la Tabla 9 se adjuntan las medias de los parámetros ambientales obtenidas en el entorno de trabajo.

Tabla 9: Valores de las medias ambientales del entorno del trabajo.

Tª punt. (°C)	Hum punt.(%)	Tª min (°C)	Tª máx (°C)	Hum min (%)	Hum max (%)
27,2	32,7	25,5	29,7	26,3	44,3

#### **4.2 Establecimiento de la colonia de *Tenebrio molitor***

A partir del 6/03/19, con la llegada de las larvas de *Tenebrio molitor*, la sala se acondicionó a una temperatura de 28.7°C y una humedad de 33.7%. A partir del día 08/03/2019, el aporte de patata cruda como fuente de humedad fue sustituida por zanahoria en cada una de las cajas.

El aporte de alimento en cada caja con *Tenebrio molitor* se mantuvo en 200 g de harina integral de trigo y 100 g de salvado. Se dejaron listas las primeras 4 cajas para que las larvas hicieran sus mudas y fueran creciendo, con idea de que cuando llegaran al estado de pupa separarlas de las larvas, para obtener cajas con los mismos estadios y obtener poblaciones homogéneas.

A la semana de empezar con la cría aparecieron las primeras pupas, que se separaron de las cajas originales. A los 10 días aparecieron los primeros adultos, debido al avanzado estado de desarrollo de las larvas compradas inicialmente consiguiendo una población muy considerable de escarabajos a los 25 días. A medida que se obtenían más adultos se separaban en cajas sólo de adultos, con cartones y telas para favorecer la puesta de huevos y la supervivencia de las larvas en sus primeros estados, y así poder obtener una nueva remesa de larvas.

En cuanto a la limpieza de las cajas, aproximadamente se realizaba 1 vez al mes, en la que se cribaba todo el contenido de las cajas para eliminar las mudas e insectos muertos, evitando problemas de contaminación.

Se empezaron a observar huevos a los 40 días del inicio. Una vez se observaron, se decidió

separar en cajas diferentes los huevos y las nuevas larvas de los adultos, para evitar problemas de canibalismo por parte de los adultos, ya que pueden recurrir a ello en situaciones de alta densidad poblacional, escasez de alimento y/o disminución la humedad relativa. A los 47 días empezaron a eclosionar los huevos, observándose larvas de 2-3 mm. A partir de aquí el proceso es el mismo, alimentando, separando y limpiando las cajas de *Tenebrio molitor* en sus distintos estados.

Cuando se alcanzó una población de *Tenebrio molitor* estable, se empezó a recoger larvas para distintos estudios, tanto de análisis como de crecimiento relacionado con la alimentación.

#### 4.3 Determinación de la composición nutritiva

Para determinar la composición de las larvas de *Tenebrio molitor*, se cosecharon larvas en avanzado estado de desarrollo, que se distribuyeron en 2 muestras con 70 larvas por bote (Figura 11). Además, se obtuvo otra muestra con 62 g de larvas para el análisis de su composición aminoacídica. Para el sacrificio de las larvas, las muestras se congelaron a  $-80^{\circ}\text{C}$  y se almacenaron esa temperatura.



Figura 11: Muestras para la determinación de su composición química

Para el análisis químico de los sustratos experimentales se siguió el protocolo recomendado por la AOAC (2005). Para la determinación de materia seca (MS), se empleó una estufa de aire a  $105^{\circ}\text{C}$  durante 24 h (ref. 934.01). La materia orgánica (MO) se analizó mediante incineración en una mufla a  $550^{\circ}\text{C}$  por 8 h (ref. 942.05). La proteína bruta (PB) se analizó por el método de nitrógeno total de Kjeldahl (ref. 976.05), usando el aparato Kjeltex (Foss Tecator, 2300 Kjeltex Analyzer unit). El extracto etéreo (EE) fue determinado mediante el método de análisis Soxhlet (ref. 2003.05) en el dispositivo de extracción ANKOM XT15. La fibra ácido detergente (FADmo) fue determinada en el analizador de fibra ANKOM220 (ANKOM; New York) de acuerdo con el método propuesto por Mertenes (2002), agregando  $\alpha$ -amilasa y sulfito sódico, y el resultado se

expresó descontando el residuo de cenizas. Los análisis de aminoácidos y de ácidos grasos se realizaron por HPLC y por cromatografía de gases, y se externalizaron en la empresa EVONIK Nutrition & Care (Alemania) y el CSIC León (España).

#### 4.4 Determinación del nivel de sustrato

Además, durante 21 días, se llevó a cabo un experimento de crecimiento y alimentación (Figura 12), para determinar el nivel mínimo de aporte de sustrato que permita mantener un desarrollo óptimo de las larvas, así como la necesidad de un aporte de zanahoria como fuente de humedad. Para ello, se empleó de un bastidor con disponibilidad para 15 bandejas, en la misma sala donde estábamos criando al *Tenebrio molitor*. Se dispuso de 6 bandejas con 3 cajas de plástico transparente de 17,5 x 10,5 x 5,5 cm en cada una. Como sustrato, se empleó una mezcla de harina de trigo y salvado de trigo, en proporciones de 67 y 33% respectivamente.

Se estudiaron tres niveles de sustrato (0,6, 0,7 y 0,8 g por larva) (Tabla 10), establecidos en base a la literatura (Oonincx et al., 2010), suplementados o no con zanahoria (Tabla 11), resultando un diseño factorial 3 x 2, con bandejas triplicadas por tratamiento. Al inicio del experimento en cada caja se dispensó la cantidad correspondiente de alimento, y se depositaron 30 larvas, las cuales fueron pesadas previamente. Llevamos a cabo un control activo, en el cual pesamos las larvas y contabilizamos la mortalidad semanalmente. Al final del experimento, pesamos el sustrato residual y determinamos el crecimiento y la ingestión por larva.



Figura 12: Experimento de crecimiento

Tabla 10: Cantidades de alimento utilizadas.

Proporción de alimento por larva (g/larva)	número de larvas	Cantidad de mezcla (g)
0,8	30	24
0,7	30	21
0,6	30	18

Tabla 11: Peso de la zanahoria añadida semanalmente.

Bandeja	Zanahoria (g)	Zanahoria (g)	Zanahoria (g)
4	2,37	2,3	2,32
5	2,19	2,52	2,46
6	2,53	2,23	2,63
10	2,47	2,32	2,41
11	2,39	2,2	2,45
12	2,29	2,41	2,3
16	2,18	2,33	2,6
17	2,35	2,38	2,58
18	2,5	2,43	2,26
Fecha	d0 (15/05/19)	d7 (22/05/19)	d14 (29/05/19)

En el experimento de crecimiento del *Tenebrio molitor*, se recogieron datos para estimar la mortalidad, el crecimiento (mg/día) (el crecimiento se determinó por regresión entre los valores semanales), ingestión (mg/día) e índice de conversión (mg alimento/mg aumento de peso). Posteriormente a la recolección y cálculo de estos datos, se realizó un análisis estadístico de varianza, considerando el nivel de alimentación, la disponibilidad de zanahoria como factores, y estos y su interacción se contrastaron con el error para determinar su efecto sobre los parámetros a estudio. El p-valor puede considerarse como el valor límite para que un contraste sea significativo, es decir, elegido en nuestro caso un nivel de significación de 0,05, se rechazará la hipótesis nula si el p-valor es menor o igual a 0,05. Cuando las diferencias resultaron significativas se compararon mediante el test de comparaciones múltiples de Tukey HSD (honestly significant difference), para una P=0,05.

## 5. Resultados y discusión

### 5.1. Composición química de *Tenebrio molitor*

El análisis químico de las larvas de *Tenebrio molitor* muestra los resultados presentados en la Tabla 12, contrastados con otros ya publicados.

Tabla 12: Comparativa de composición (%) de *Tenebrio molitor*.

	Analizado	Makkar	Oonicx	Fao
MS	40,26	42,3 ± 6,3	35,5 ± 1,13	38,1
MO	97,005			
Cen.	2,995003	3,1 ± 0,9		
PB	45,05264	52,8 ± 4,2	49,1 ± 0,97	49,1
EE	39,48152	36,1 ± 4,1		35,2
FAD	10,50341	6,5		
FND		12,0 ± 3,5		

\*MS: Materia seca, MO: Materia orgánica, Cen.: Cenizas, PB: Proteína bruta, EE: Extracto etéreo, FAD: Fibra ácido detergente, FND: Fibra neutro detergente.

La composición del *Tenebrio molitor* varía ligeramente entre nuestros datos y los obtenidos por diferentes autores, pero según el estudio de Castro León et al. (2017), la composición de *Tenebrio molitor* puede variar según la alimentación a la que se haya sometido el insecto, acercándose nuestros resultados a la composición publicada por Makkar et al. (2014). Destaca por su contenido proteico y lipídico, con lo cual si se destina a alimentación estamos hablando de un alimento muy energético e interesante a nivel de producción animal (en forma de harina de insecto o como insecto íntegro).

En cuanto a la comparación de composición vemos que el *Tenebrio molitor* se asemeja en cierta manera a la carne de vacuno; según Van Huis et al. (2013), esta carne presenta un 55% de proteína (*T. molitor*: 45%) y un 41% de grasa (*T. molitor*: 39.5%), siendo la energía metabolizable de la carne de vacuno de 2820 kcal/kg y 2056 kcal/kg la del *T. molitor*.

Composición aminoacídica de la proteína:

De las muestras que enviamos al laboratorio EVONIK para el estudio de aminoácidos obtuvimos los siguientes resultados (Tabla 13):

Tabla 13: Composición aminoacídica.

Parameter	Content (%)*	Content (% in CP)
Dry matter		
CP	53.32	
Methionine	0.766	1.436
Cystine	0.493	0.925
Methionine + Cystine	1.259	2.362
Lysine	2.877	5.395
Threonine	2.167	4.064
Tryptophan	0.81	1.52
Arginine	2.762	5.18
Isoleucine	2.451	4.597
Leucine	4.33	8.121
Valine	3.553	6.663
Histidine	1.707	3.202
Phenylalanine	2.213	4.15
Glycine	2.953	5.538
Serine	2.567	4.814
Proline	3.572	6.698
Alanine	3.947	7.401
Aspartic acid	4.411	8.273
Glutamic acid	7.116	13.346
NH3	1.335	2.504
Total including NH3	50.146	94.046
Total without NH3	48.811	91.542

\* DMS: Figures standardized to a dry matter content of 91%, CP = Crude protein, based on Dumas combustion method (CP factor 6.25)

Estos resultados se asemejan mucho a los publicados por Makkar et al. (2014), recogidos en la Tabla 14:

Tabla 14: Composición aminoacídica de Makkar:

Amino acid composition of mealworm.

Amino acids	g/16 g nitrogen
Alanine ( <i>n</i> = 3)	7.3 ± 1.0 (6.2, 8.2)
Arginine ( <i>n</i> = 3)	4.8 ± 1.0 (3.8, 5.6)
Aspartic acid ( <i>n</i> = 3)	7.5 ± 1.7 (5.6, 8.8)
Cystine ( <i>n</i> = 3)	0.8 ± 0.0 (0.8, 0.9)
Methionine ( <i>n</i> = 3)	1.5 ± 0.4 (1.3, 2.0)
Lysine ( <i>n</i> = 3)	5.4 ± 0.8 (4.6, 6.1)
Isoleucine ( <i>n</i> = 3)	4.6 ± 0.5 (4.1, 5.0)
Leucine ( <i>n</i> = 3)	8.6 ± 1.8 (7.4, 10.6)
Phenylalanine ( <i>n</i> = 3)	4.0 ± 0.4 (3.5, 4.3)
Threonine ( <i>n</i> = 3)	4.0 ± 0.5 (3.5, 4.4)
Tryptophan ( <i>n</i> = 3)	0.6 ± 0.5 (0.0, 0.9)
Glutamic acid ( <i>n</i> = 3)	11.3 ± 1.1 (10.2, 12.4)
Histidine ( <i>n</i> = 3)	3.4 ± 0.2 (3.2, 3.6)
Proline ( <i>n</i> = 3)	6.8 ± 0.2 (6.6, 7.0)
Serine ( <i>n</i> = 3)	7.0 ± 3.5 (4.9, 11.1)
Glycine ( <i>n</i> = 3)	4.9 ± 0.9 (3.9, 5.6)
Tyrosine ( <i>n</i> = 3)	7.4 ± 0.3 (7.1, 7.8)
Valine ( <i>n</i> = 3)	6.0 ± 0.6 (5.5, 6.6)

Sources: [Finke \(2002\)](#) and [Jones et al. \(1972\)](#).

Values are mean ± standard deviation; values in parentheses are minimum and maximum values.

Como puede verse en los resultados obtenidos, los aminoácidos que más destacan en cuanto a composición aminoacídica (% sobre proteína) se refiere son: ácido glutámico (13.34), ácido aspártico (8.27), alanina (7.40) y leucina (8.12). En cuanto a los aminoácidos esenciales más importantes, destaca su alto contenido en lisina, treonina y triptófano, similar al observado en comparación con fuentes convencionales de proteína como la harina de soja, aunque como en ese caso la proporción de metionina es algo baja (valores de la harina de soja 47, en % sobre proteína: 6.13 lisina, 3.94 treonina, 1.33 triptófano y 1.43 metionina; FEDNA 2010).

Estudio de lípidos:

Los resultados del perfil lipídico del *Tenebrio molitor* se presentan en la Tabla 15:

Tabla 15: perfil de ácidos grasos *Tenebrio molitor*.

Ácido graso	% ácidos grasos totales
10:00	0,04
12:00	0,351
14:00	4,473
15:00	0,085
16:00	17,676
cis-9 16:1	2,127
17:00	0,088
18:00	3,486
cis-9 18:1	46,141
cis-11 18:1	0,327
cis-9 cis-12 18:2	20,299
cis-9 cis-12 cis-15 18:3	0,436
19:00	0,06
20:00	0,204
cis-11 20:1	0,057
20:2n-6	0,068
22:00	0,038
24:00:00	0,024
no id. #11	0,491
no id. # 22	0,756
no id. (16:2?)	0,132
suma otros no id.	2,641
Total	100

Comparando los resultados con los publicados por Makkar et al. (2014), puede verse que el perfil graso se asemeja bastante, aunque en nuestro caso el ácido oleico es más elevado y el ácido linolénico por el contrario es más bajo, lo que puede achacarse a la variabilidad existente debido al uso de una alimentación diferente (Tabla 16).

Tabla 16: Composición de ácidos grasos según Makkar.

Fatty acid composition of mealworm.

Fatty acids	% Fatty acid
Lauric acid C12:0	0.5 ± 0.5 (0.0, 1.0)
Myristic acid C14:0	4.0 ± 2.1 (2.3, 6.4)
Palmitic acid C16:0	21.1 ± 6.7 (16.1, 28.7)
Palmitoleic acid C16:1	4.0 ± 1.8 (2.8, 6.1)
Stearic acid C18:0	2.7 ± 0.4 (2.3, 3.1)
Oleic acid C18:1	37.7 ± 8.7 (27.7, 43.3)
Linoleic acid C18:2	27.4 ± 4.0 (23.1, 31.0)
Linolenic acid C18:3	1.3 (1.1, 1.4)

Sources: Finke (2002) and Jones et al. (1972).

$n=3$  for all the above values except for linolenic acid C18:3 ( $n=2$ ); values in parentheses are minimum and maximum values.

Como ácidos grasos mayoritarios en la grasa del *Tenebrio molitor* destacamos los siguientes:

- Ácido oleico (cis-9 18:1): con 46.14 % de los ácidos grasos totales.
- Ácido linolénico (cis-9 cis-12 18:2): con un 20.30 % de los ácidos grasos totales.
- Ácido palmítico (16:0): con un 17.68 % de los ácidos grasos totales.

## 5.2. Crecimiento y consumo del *Tenebrio molitor*

Los resultados experimentales se recogen en la Tabla 17:

Tabla 17: Crecimiento (mg/d), ingestión (mg/d) y mortalidad (%) de larvas de *Tenebrio molitor* durante 21 días, en función de la disponibilidad de sustrato y el aporte de zanahoria (S, N) como fuente de humedad (e.e.m.: error estándar de la media)

Sustrato	Zanahoria	Crecimiento	Ingestión	Mortalidad
0,6	S	1,965	0,409	20,0
	N	0,758	0,379	24,4
0,7	S	1,733	0,390	16,7
	N	1,048	0,436	18,9
0,8	S	2,212	0,413	16,7
	N	0,924	0,425	20,0
e.e.m.		0,3429	0,0213	4,42
P- sustrato		0,81	0,50	0,56
P- zanahoria		0,003	0,60	0,37
P- interacción		0,64	0,26	0,97

En la Tabla 17, en donde los datos están organizados por tipo de tratamiento y según se les ha administrado zanahoria o no, se puede observar lo siguiente.

- **Mortalidad (%):**

En cuanto a la mortalidad, vemos que los valores son bastante elevados y muy variables, obteniendo una media total de 19.44%, siendo el rango de 10 a 30%. En el análisis estadístico de varianza vemos que realmente no existe diferencia entre los tratamientos experimentales, por lo que no podemos decir que el tipo de tratamiento o el aporte de zanahoria influyeran directamente en la mortalidad de los insectos.

Según otros estudios publicados, vemos que la humedad ideal que plantean es mayor que la que se observó en nuestras instalaciones, por lo que puede ser una de las causas de que el valor de la mortalidad sea tan elevado.

- **Crecimiento calculado por regresión de datos semanales:**

El crecimiento calculado por regresión de datos semanales tiene una media total de 1.440 mg, con valores que varían desde 0,5 mg a 2,7 mg/d. El aporte de zanahoria fue estadísticamente significativo ( $P=0,003$ ), mostrando un efecto positivo del aporte de humedad alimentaria sobre el crecimiento de las larvas. Por el contrario, no existieron diferencias significativas en lo relativo a las variables de nivel de alimentación o de la interacción entre variable zanahoria y nivel de alimentación.

- **Ingestión ponderada:**

La ingestión registrada presentó valores que oscilaron entre 0,35 y 0,48 mg/d, siendo la media total de 0.409 mg. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos, ni en cuanto al nivel de sustrato ni por el aporte de zanahoria.

Teniendo en cuenta que trabajos de otros autores (Oonincx et al., 2015) establecían un nivel de sustrato aportado de 1,0 g/larva para todo el desarrollo, inicialmente se planteó la posibilidad de reducir esta cantidad sin afectar el crecimiento de las larvas, para poder determinar la cantidad suficiente de sustrato a aportar en condiciones de crecimiento. La ausencia de diferencias observada en el rango estudiado indica que reduciendo el aporte hasta 0,6 g por larva no se observa ningún tipo de diferencia en el crecimiento, con lo que podemos economizar la producción reduciendo la cantidad de sustrato alimenticio.

Por el contrario, el aporte semanal de una fuente de humedad garantiza un mayor crecimiento de las larvas. Hay que tener en cuenta que la zanahoria es un alimento con un 89% de humedad

(Feedipedia, 2019), por lo que puede considerarse un aporte exclusivo de agua para las larvas, a las que no se les puede proporcionar directamente.

## 6. Conclusiones

*Tenebrio molitor* es un insecto muy fácil de criar y que no requiere de unas condiciones ambientales muy exclusivas, con lo que se puede criar casi en cualquier sitio con un mínimo control ambiental, priorizando el control de la temperatura y de la humedad. En cuanto al espacio, vemos que es un insecto que no requiere de grandes superficies, que se puede criar en simples cajas de plástico destapadas, manteniendo una densidad de 0.163 cm<sup>2</sup> por larva según los resultados de nuestro experimento.

Según estudios consultados, se observó que otros autores aportaban 1 gramo de alimento por larva y según nuestra experiencia hemos visto que, reduciéndolo hasta el 0,6 g por larva, no se observa ningún tipo de diferencia, con lo que podemos economizar la producción reduciendo la cantidad de sustrato alimenticio.

Para tener una cría eficiente y poder acortar lo máximo el ciclo del *T. molitor*, debemos intentar mantener la temperatura alrededor de los 32°C y una humedad cerca del 50%. Además, según los resultados obtenidos en nuestros experimentos, se hace indispensable el aporte de alimento con alto contenido en agua (zanahoria en nuestro caso) para maximizar el índice de conversión, así como el crecimiento del *T. molitor*.

Según lo observado, *Tenebrio molitor* suele poner los huevos en zonas más escondidas, con lo que para que la reproducción sea exitosa, hay que proporcionarle zonas donde pueda esconderse, como cartones, pan, mallas o incluso algún tronco en el que puedan esconderse, de esta manera será muy difícil observar problemas reproductivos.

A nivel de composición vemos que es un insecto con altas cantidades de ácido oleico y ácido linolénico, ácidos grasos imprescindibles para el desarrollo de ciertas especies, con lo cual puede ser un aporte muy beneficioso para evitar aportes complementarios de dichos ácidos grasos. En cuanto a composición de minerales, vemos que el *Tenebrio molitor* como alimento tiene una muy mala relación de Ca:P con lo cual se debe tener en cuenta a la hora de usarse como harina destinada a producción, aunque como se ha comentado, según estudios se puede variar esta relación simplemente por medio de la alimentación recibida por el *Tenebrio molitor*.

### 6.1 Conclusions

*Tenebrio molitor* is an insect easy to breed and it does not require very exclusive environmental conditions, so it can be breed almost anywhere with minimal environmental control, taking

special care with temperature and humidity. It is an insect that does not require large areas, that can be bred in simple uncapped plastic boxes, maintaining a density of 0.163 cm<sup>2</sup> per larva according to the results of our experiment.

According to the consulted studies, 1 g of food per larva is enough and in accordance with our experience, we saw that reducing it to 0,6 g per larva makes no difference, so we can save production by reducing the amount of food substrate.

To have an efficient breeding and be able to shorten the *T. molitor* cycle as much as possible, we have to maintain temperature around 32°C and humidity close to 50%. Furthermore, based on the results of our experiments, it is required to provide food with high water content (carrot in our case) to maximize the conversion rate as well as the growth of *T. molitor*.

As noted, *Tenebrio molitor* usually lays eggs in hidden areas. In order to have a successful reproduction hidden places should be provided as cartons, bread, meshes or even some logs where they can hide.

At the composition level we see that it is an insect with high amounts of oleic acid and linoleic acid, fatty acids that are essential for the development of certain species, so it can be a very beneficial contribution to avoid supplemental inputs of such fatty acids. In terms of mineral composition, we appreciate that *Tenebrio molitor* has a bad Ca:P ratio, which should be considered when it comes to being used as flour intended for production, although as mentioned, according to studies you can vary this ratio simply through the food received by the *Tenebrio molitor*.

## **7.Valoración personal**

La realización de este Trabajo Final de Grado ha sido de gran interés a nivel personal, ya que los insectos dirigidos a alimentación siempre me habían suscitado una gran curiosidad. Además, me parece una herramienta muy viable y plausible para su uso en un futuro en la industria alimentaria, con el objetivo de economizar costes de producción obteniendo un producto muy sencillo de producir y con unas características organolépticas muy buenas y aprovechables.

Por otro lado, esta experiencia me ha hecho acercarme más al mundo de la producción y realmente me ha hecho darme cuenta de lo importante que es la supervisión y monitorización continua tanto de los factores ambientales como de los propios insectos, para obtener el mejor resultado posible en cuanto a producción se refiere.

También he tenido que tratar con programas estadísticos y de manejo de datos, como Statistix, el cual nos ha hecho poder obtener unos resultados mucho más cercanos a la realidad y que me

ha parecido de gran utilidad para poder sacar unas conclusiones claras sobre los resultados obtenidos en las pruebas analíticas.

Una vez tuvimos puesta en marcha la producción fue muy agradecido ver como el *Tenebrio molitor* iba pasando por sus distintas mudas hasta a poner huevos, llegando incluso a empezar un ciclo nuevo.

Finalmente agradecer a los directores de este trabajo, Manolo Fondevila Camps y Javier Lucientes Curdi, por haber aceptado tutorizarlo y por su amabilidad y disponibilidad para ayudarme y orientarme durante la elaboración de la memoria así como a los compañeros y familiares que han colaborado en la elaboración del mismo.

## 8. Bibliografía

Anderson, S.J., 2000. Increasing calcium levels in cultured insects. *Zoo Biol.* 19, 1–9.

AOAC (2005). *Official Methods of Analysis*, 18th eds. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg. MD. USA.

Arellano, D., & Velásquez, S. (2007). *Cría de Invertebrados para alimentación complementaria*. 1–7.

Bubler S., Rumpold B.A., Jander E., Rawel H.M., Schluter O.K. (2016). Recovery and technofunctionality of flours and proteins from two edible insect species: Mealworm (*Tenebrio molitor*) and black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Heliyon*, e00218. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2016.e00218>.

Bovera F., Loponte R., Marono S., Piccolo G., Parisi G., Iaconisi V., Gasco L., Nizza A. (2015). Use of *Tenebrio molitor* larvae meal as protein source in broiler diet: effect on growth performance, nutrient digestibility and carcass and meat traits. *J. Anim. Sci.* 94, 639-647.

Berlanga, A., Ayala, M., Montesinos, R., & Rodríguez, J. (2016). *Manual de exploración para la colecta de Hongos Entomopatógenos*. 45.

Castro León, C. A., Cervantes Mayagoitia, J. F., Schettino Bermúdez, B. S., & 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](http://www.entomologia.socmexent.org/revista/2017/EV/EM0772017_616-620.pdf)

Damborsky, M., Bar, P. S. T., & Oscherov, M. E. (2000). Ciclo de Vida de *Tenebrio molitor* (Coleoptera, Tenebrionidae) en Condiciones Experimentales. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. UNNE 6*, (UNNE 6), 35–38.

Feedipedia, INRA, CIRAD, AFZ, & FAO. (2016, 7 abril). Carrot (*Daucus carota*). Recuperado 10 septiembre, 2019, de <https://www.feedipedia.org/node/539>

FEDNA (2010). *Tablas de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos*, 3a ed. De Blas C., Mateos G.G., García-Rebollar P. (eds.), Fundación

Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, Madrid, España.

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/>

Finke M.D. (2015). Complete nutrient content of four species of commercially available feeder insects fed enhanced diets during growth. *Zoo Biol.* 34, 554-564.

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, M., & Mussons, M. L. (2018). Valor nutritivo de los insectos como ingrediente alimentario para animales y humanos. 2-15.

Khan S.H. (2018). Recent advances in the role of insects as alternative protein source in poultry nutrition. *J.Appl. Anim. Res.* 46, 1144-1157.

Khempaka S., Chitsatchapong C., Molee W. (2011). Effect of chitin and protein constituents in shrimp head meal on growth performance, nutrient digestibility, intestinal microbial populations, volatile fatty acids, and ammonia production in broilers. *J. Appl. Poult. Res.* 20,1-11.

Lee C.G., Da Silva C.A., Lee J.Y., Hartl D., Elias J.A. (2008). Chitin regulation of immune responses: an old molecule with new roles. *Curr. Opin. Immunol.* 20, 1-6.

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. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>

Mariotti F., Tome D., Mirand P.P. (2008). Converting nitrogen into protein - beyond 6.25 and Jones' factors. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 48, 177-184.

Mertens, D.R. (2002). Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. *J. of AOAC International* 85:1217–1240.

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

Oonincx D.G.A.B., van Broekhoven S., van Huis A., van Loon J.J.A., (2015). Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *PLoS ONE* 10 (12): e0144601.

Payne C.L.R., Scarborough P., Rayner M., Nonaka K. (2016). A systematic review of nutrient composition data available for twelve commercially available edible insects, and comparison with reference values. *Trends Food Sci. Technol.* 47, 69-77.

Permacultura. (2019b, 1 mayo). Gusanos de la harina – Permaculturamex. Recuperado 10 septiembre, 2019, de: <http://www.permaculturamex.com/2019/05/gusanos-de-la-harina-tenebrio-molitor/>

harina/?v=04c19fa1e772

Ramos-Elorduy J., Gonzalez E.A., Hernandez A.R., Pino J.M. (2002). Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera : Tenebrionidae) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens. *J.Econ. Entomol.* 95, 214-220.

Ramos-Elorduy, J., González, E. A., Hernández, A. R., & Pino, J. M. (2009). Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to Recycle Organic Wastes and as Feed for Broiler Chickens. *Journal of Economic Entomology*, 95(1), 214–220. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-95.1.214>

Rumpold B.A., Schluter O.K. (2013). Potential and challenges of insects as innovative source for food and feed production. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 17, 1-11.

SAMSA. (s.f.). Metamorfosis y ciclo vital del gusano de la harina. Recuperado 19 septiembre, 2019, de [https://www.alimentovivosamsa.com/blog/102\\_metamorfosis-y-ciclo-vital-del-gusano-de-la-h.html](https://www.alimentovivosamsa.com/blog/102_metamorfosis-y-ciclo-vital-del-gusano-de-la-h.html)

Schiavone A., De Marco M., Rotolo L., Belforti M., Martinez Miro S., Madrid Sanchez J., Hernandez Ruiperez F., Bianchi C., Sterpone L., Malfatto V., Katz H., Zoccarato I., Gai F., Gasco L. (2014). Nutrient digestibility of *Hermetia illucens* and *Tenebrio molitor* meal in broiler chickens. En: *Insects to Feed The World*, The Netherlands, 14–17 May, p. 84.

St-Hilaire S., Cranfill K., McGuire M.A., Mosley E.E., Tomberlin J.K., Newton L., Sealey W., Sheppard C., Irving S. (2007). Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids. *J. World Aquacult. Soc.* 38, 309-313.

Stull, V. J. Finer, E., Bergmans R.S., Febvre H.P., Longhurst C., Manter D.K., Patz J.A., Weir T.L. (2018). Impact of edible cricket consumption on gut microbiota in healthy adults, a doubleblind, randomized crossover trial. *Scientific Reports* 8, 10762.

Sun-Waterhouse D., Waterhouse G.I.N., You L., Zhang J., Liu Y., Ma L., Gao J., Dong Y. (2016). Transforming insect biomass into consumer wellness foods: A review. *Food Res. Int.* 89,129-151.

Van Huis A. (2013). Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Ann. Rev. Entomol.* 58, 563-583.

Van Huis, A., Itterbeeck, J. Van, Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., ... Vantomme, P. (2013). Edible insect food and agriculture organization of the United Nations. Future prospects for food and feed security. In *Food and Agriculture Organization of the United Nations and Wageningen University and Research* (Vol. 171).

Williams J.P., Williams J.R., Kirabo A., Chester D., Peterson M. (2016). Nutrient content and health benefits of insects. En: *Insects as Sustainable Food Ingredients*, Dossey A.T., Morales-Ramos J.A., Rojas M.G. (eds.), Academic Press, pp. 61-84.

Yang, S. S., Brandon, A. M., Andrew Flanagan, J. C., Yang, J., Ning, D., Cai, S. Y., ... Wu, W. M. (2018). Biodegradation of polystyrene wastes in yellow mealworms (larvae of *Tenebrio molitor* Linnaeus): Factors affecting biodegradation rates and the ability of polystyrene-fed larvae to complete their life cycle. *Chemosphere*, 191, 979–989. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.117>

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.

Zielińska E., Karaś M., Baraniak B. (2018a). Comparison of functional properties of edible insects and protein preparations thereof. *LWT-Food Science and Technology*, 91, 168-174.