

UNIVERSIDAD DE ALMERIA

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA

“Análisis composicional de los insectos, y sus fracciones, destinados a la alimentación en acuicultura”

Curso 2021/2022

Modalidad:

“Trabajo de investigación”

Alumno/a:

María Reyes Ruiz

Director/es:

Fernando Rogelio García Barroso
Dmitri Fabrikov



RESÚMEN

En los últimos años se ha generado un aumento en la población mundial, lo que ha provocado una mayor demanda de fuentes de proteína de origen animal para poder asegurar la alimentación. Los altos costos para la obtención y extracción de las principales materias primas necesarias para la industria de elaboración de alimentos para animales, además del impacto ambiental que esto genera, ha provocado un creciente interés en investigar nuevas alternativas que permitan el reemplazo de las fuentes de proteína convencionales, por otras que sean similares y compatibles con las dietas animales.

En este sentido, los insectos aparecen como una alternativa nutricional interesante y aceptable para la alimentación debido a su alto porcentaje de proteína de excelente valor biológico y compuestos fundamentales como vitaminas, minerales y ácidos grasos poliinsaturados. Otras de las ventajas que presenta este tipo de producción y que posibilita su uso en la alimentación humana y animal, es la resistencia y capacidad de adaptarse a cambios climáticos adversos, el poco espacio que requieren para su producción, a la vez de un coste competente de cría y bajo impacto ambiental.

Con respecto a los insectos que recientemente se han aprobado para su consumo se encuentran especies como *Hermetia illucens* (mosca soldado-negra), *Musca domestica* (mosca común), *Tenebrio molitor* (gusano de la harina), *Alphitobius diaperinus* (escarabajo de la cama), *Acheta domesticus* (grillo doméstico), *Gryllobates sigillatus* (grillo rayado) y *Gryllus assimilis* (grillo bicolor). Desde hace una década aproximadamente se han publicado numerosos trabajos sustituyendo la harina de pescado por harina de insectos en los sistemas de producción, y en las especies mediterráneas no supera el 30%, que, aunque es un porcentaje elevado, está lejos del 100% de sustitución. Según parece, la quitina del exoesqueleto limita su digestibilidad y aprovechamiento proteico, y el alto contenido en grasa puede complicar el diseño de piensos equilibrados. Por ello, el fraccionamiento mecánico (separando el exoesqueleto de la pulpa) podría permitir conocer los componentes (fibra, grasa y proteína) de cada fracción de los insectos. La eliminación parcial de la quitina y de las grasas de las harinas de insectos podría ser una solución para proporcionar harinas con alto contenido de proteínas de insectos para la nutrición animal. No obstante, el fraccionamiento presenta como limitante que, en algunas especies (como ortópteros, por ejemplo), se obtienen cantidades limitadas de algunas fracciones, que podrían desaconsejar el uso de este procesado.

Por todo ello, este trabajo de investigación tiene como objeto estudiar el valor nutricional de las fracciones (pulpa y exoesqueleto) y del insecto completo de las siete especies mencionadas anteriormente.

ABSTRACT

In recent years, there has been an increase in the world population, which has caused a greater demand for protein sources of animal origin to ensure food. The high costs for obtaining and extracting the main raw materials necessary for the animal feed manufacturing industry, in addition to the environmental impact that this generates, has provoked an interest that is increasing every day, in investigating new alternatives to replace the change from conventional protein sources such as soy flour and fish meal, for others that are similar and compatible with animal diets.

In this way, insects appear as an interesting and acceptable nutritional alternative for feeding due to their high percentage of protein of excellent biological value and fundamental compounds such as vitamins, minerals and polyunsaturated fatty acids. Other advantages of this type of production presents and that enables its use in human and animal nutrition, is the resistance and ability to adapt to adverse climatic changes, the little space they require for their production, as well as a competent manufacturing cost and low environmental impact.

In relation to the insects that have recently been approved for consumption, there are species like *Hermetia illucens* (black soldier fly), *Musca domestica* (housefly), *Tenebrio molitor* (mealworm), *Alphitobius diaperinus* (lesser mealworm beetle), *Acheta domesticus* (house cricket), *Grylodes sigillatus* (banded cricket) and *Gryllus assimilis* (Jamaican field cricket). However, the information in this regard is still scarce, and in aquaculture the percentage of inclusion in the diet cannot be very high.

The exoskeleton's chitin limits its digestibility and protein utilization, and the high fat content can complicate the design of balanced feeds. For this reason, mechanical fractionation (separating the exoskeleton from the "pulpa" (all the part interior of the insect) would allow to separate the components of insects (chitin, fat and protein). Partial elimination of chitin and fats from insect flours could be a solution to provide flours with a high content of insect proteins for animal nutrition. However, the limitation of fractionation is that it's a tedious process and, in some species (such as Orthoptera, for example), limited quantities of some fractions are obtained, which could talk out of the use of this processing.

Therefore, this research work aims to study the nutritional value of the fractions (pulpa and exoskeleton) and of the complete insect of the seven species mentioned above.

Índice

1. INTERÉS, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	4
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1 La acuicultura.....	7
2.3 Harina de pescado.....	10
2.3.1 Fuentes alternativas a la harina de pescado.....	11
2.4 Características principales de las especies de insectos aprobados como alimento por la UE (Reglamento (UE) 2017/893).....	16
2.4.1 Escarabajo del estiércol o de la cama (<i>Alphitobius diaperinus</i> ; Panzer, 1797)	16
2.4.2 Gusano de la harina (<i>Tenebrio molitor</i> ; Linnaeus, 1758).....	17
2.4.3 Mosca soldado negra (<i>Hermetia illucens</i> ; Linnaeus, 1758)	18
2.4.4 Mosca común (<i>Musca domestica</i> ; Linnaeus, 1758)	18
2.4.5 Grillo común (<i>Acheta domestica</i> ; Linnaeus 1758)	19
2.4.6 Grillo rayado (<i>Gryllodes sigillatus</i> ; Walker, 1869)	19
2.4.7 Grillo bicolor (<i>Gryllus Assimilis</i> ; Fabricius, 1775).....	20
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	21
3.1 Tratamiento estadístico de los datos	22
4. RESULTADOS.....	23
4.1. Valor nutritivo de la harina de los insectos enteros.....	23
4.1.1. Proteína bruta	23
4.1.2. Grasa Bruta	23
4.1.3. Fibra neutra detergente (FND) y fibra ácida detergente (FAD).....	24
4.1.4. Cenizas	25
4.2. Valor nutritivo de las fracciones (exoesqueleto y pulpa) de los insectos.....	27
4.2.1. Rendimientos en el fraccionamiento de los insectos	27
4.2.2. Comparación del valor nutritivo de los insectos enteros con sus fracciones,	28
4.2.3. Comparación del valor nutritivo del exoesqueleto entre los diferentes insectos	35
4.2.4. Comparación del valor nutritivo de la pulpa entre los diferentes insectos.....	38
5. DISCUSIÓN	42
6. CONCLUSIONES.....	49
7. BIBLIOGRAFÍA	50
8. FASES DE LA REALIZACIÓN DEL TFM Y SU CRONOGRAMA ASOCIADO	63

1. INTERÉS, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Actualmente existe una gran necesidad de encontrar fuentes proteicas alternativas a las actualmente utilizadas, harinas de pescado y de soja, las cuales generan una presión ambiental claramente negativa. Así, el cultivo masivo de la soja implica una deforestación de zonas de alto valor ecológico (Carvalho, 1999; Osava, 1999), un elevado consumo de recursos hídricos (Steinfeld et al., 2006), utilización de fitosanitarios (Carvalho, 1999) y variedades transgénicas (García y Altieri, 2005). En el caso del empleo de materia proteica procedente de pescado, además de las desventajas que muestra asociadas al volumen de capturas, se ha visto afectado de forma significativa por prácticas de sobrepesca que causan un fuerte impacto en el medio marino y acaban propiciando un aumento de precios que determinan la sostenibilidad del sector.

Una de las alternativas se asocia con la utilización de harinas elaboradas con biomasa procedente de insectos. Desde una perspectiva ambiental, esta estrategia, la micro- ganadería de insectos presenta diversas ventajas en comparación con otras producciones animales, entre las que destacan una menor demanda de espacios para su implementación, así como de recursos básicos, tales como el agua o el alimento, o su capacidad para alimentarse con subproductos de agricultura, pesca, etc... (Sánchez-Muros et al., 2014). Como consecuencia, su huella de carbono es considerablemente inferior (Blonk et al., 2008) y le permite integrarse plenamente en el ámbito de la economía circular, objetivo prioritario dentro de las directrices marcadas por la Unión Europea, con las que se pretende fomentar un modelo de desarrollo inteligente, sostenible e integrador. A su vez se han estado sustituyendo ingredientes, mejorando sus porcentajes y modernizando las técnicas de alimentación para abaratar el producto e intentar minimizar la pérdida de calidad sin olvidar la sostenibilidad en la producción (Benito, 2016).

En la última década los insectos han sido ampliamente estudiados como fuente de proteína de alto valor biológico (Agbidye et al., 2009) para la producción de piensos en acuicultura, ganadería y alimentación humana (Avendaño et al., 2020; Barroso et al., 2014; Sarica et al., 2020). La harina de insecto puede ser una fuente alternativa para obtener un suplemento de proteínas y también de ácidos grasos (Ramos-Elorduy et al., 1998) y, desde la aprobación del Reglamento (UE) 2017/893, de 24 de mayo de 2017, se establece que es factible el empleo de los insectos como fuente de proteína para la alimentación animal y consumo humano. Las especies de insectos que recoge el reglamento son las siguientes: *Hermetia illucens* (mosca soldado-negra), *Musca domestica* (mosca común), *Tenebrio molitor* (gusano de la harina), *Alphitobius diaperinus* (escarabajo de la cama), *Acheta domesticus* (grillo doméstico), *Grylloides sigillatus* (grillo rayado) y *Gryllus assimilis* (grillo bicolor).

A lo largo de los siglos, los humanos han consumido insectos. Se ha comprobado que sus características nutricionales tanto en calidad como en nutrientes puede ser igual o incluso mayor que la de los productos cárnicos y mucho mayor a la de los cereales. (Argentina, 2020) Según diversos estudios paleontológicos, la entomofagia se ha practica desde el año 7500 a.C. (Van Huis et al, 2013) En países como México aún sigue siendo una actividad normal e incluso se está expandiendo a diversos países más (Argentina, 2020).

En numerosos países de Suramérica, África y Asia desde hace miles de años existe la costumbre de incluir insectos en su dieta habitual, y son más de 300 especies las consumidas, como por ejemplo langostas, larvas de gusano mopane, pupas del gusano de seda y las larvas de abeja (Álvarez, 2019). No obstante, no cabe olvidar que la repulsión hacia los insectos y

productos de insectos persiste. Es por ello por lo que, la empresa BugMo (con base en Kioto) emprendió la comercialización de insectos en polvo para disminuir esta repulsión, actualmente se centra en el comercio de barritas para deportistas a base de harina de grillos, que proporcionan además de proteína, ácidos grasos omega 3 y los aminoácidos esenciales para la construcción muscular (Álvarez, 2019).

En Europa, Bélgica, a finales del año 2013, autorizó el consumo de diez especies de insectos, siendo así el primer país europeo en el comercio de insectos, cabe destacar que por aquel entonces su comercialización no estaba autorizada oficialmente por la UE. (Acosta, 2014)

La harina de insectos se puede utilizar para sustituir otras fuentes de proteínas como las que provee la ganadería, debido al alto valor nutricional (alto contenido en proteína) que poseen los insectos en comparación con los vegetales y el pescado, y similar al de los cárnicos, lo que puede provocar que estos sean incluidos de manera convencional en la dieta humana (Argentina, 2020)

Se han llevado a cabo varios proyectos y estudios que han mostrado que la harina de insecto es una alternativa muy interesante como agente sustituto de la harina de pescado en la acuicultura (Yfaro et al., 2019; Lock et al., 2014; Piccolo et al., 2017; Sealey et al., 2011; Reyes et al., 2020). Pero estos trabajos también ponen de relieve que con las harinas generadas a partir de los insectos se pueden replicar los rendimientos obtenidos con dietas tradicionales, si el grado de sustitución es moderado (hasta el 25%).

Niveles de sustitución superiores a estos empeoran los índices de crecimiento y aprovechamiento nutritivo de la dieta. Se considera que la quitina, componente del exoesqueleto de los insectos, puede ser uno de los responsables de esta limitación. La quitina, es un polisacárido de glucosamina y N-acetilglucosamina que contiene N en sus moléculas (Jonas-Levi & Martinez, 2017), y que está incrustado en una matriz de escleroproteína (Andersen et al., 1995), y que no se degrada ni se absorbe en el intestino delgado (Vidanarachchi et al., 2010).

Otro factor limitante para emplear los insectos como alimento alternativo en acuicultura es su alto contenido en grasa. Los insectos que realizan una metamorfosis compleja (holometábolos) como, por ejemplo, escarabajos (O. Coleóptera) o moscas (O. Díptera), deben acumular una gran cantidad de grasa para soportar este complejo proceso. Además, en su perfil de ácidos grasos destaca la abundancia de saturados y monoinsaturados, y la ausencia de insaturados de cadena larga (EPA y DHA).

Para solventar estos limitantes, una opción factible sería el fraccionamiento de los insectos que permitiría la separación de los componentes de los insectos (exoesqueleto, grasa y proteína). La eliminación parcial de la quitina y de las grasas de las harinas de insectos podría ser una solución para proporcionar harinas de insectos con alto contenido de proteínas y más digestibles para la nutrición animal.

De forma concreta, durante el desarrollo de este trabajo de investigación se buscará el conocimiento y el desarrollo de planteamientos novedosos, con el propósito de acelerar la aplicación de los resultados obtenidos y aportar soluciones a los problemas y retos de un sector económico importante en España que implica a la acuicultura.

Para evaluar la harina obtenida a partir de los diferentes insectos estudiados, primero se debe hacer una preselección de los insectos que vamos a usar para llevar a cabo la investigación.

- Los insectos deben tener una comercialización fácil: éstos se comercializan en tiendas de animales como alimento para otros animales, tales como, aves o reptiles.

- Son de producción sencilla: se les proporciona poco alimento para su crecimiento.

- Posibilidad para abrir nuevas puertas a la acuicultura, además de ser una vía de salida para la sobreexplotación pesquera.

- Uso de insectos que se encuentran permitidos por el Reglamento (UE) 2017/893, de 24 de mayo de 2017, donde se establece que es factible el empleo de los insectos como fuente de proteína para la alimentación animal y determina las especies que están aceptadas.

Como objetivo principal se pretende determinar la composición nutricional de las diferentes fracciones (pulpa y exoesqueleto), así como los insectos completos aprobados por la UE como “nuevo alimento”: *Hermetia illuscens* (mosca soldado negra), *Tenebrio Molitor* (gusano de la harina), *Gryllus assimilis* (grillo bicolor), *Musca domestica* (mosca común), *Alphitobius diaperinus* (escarabajo de la cama), *Acheta domesticus* (grillo doméstico) y *Grylloides sigillatus* (grillo rayado).

Además de esto, se pretende conseguir una serie de subobjetivos u objetivos secundarios tales como:

- Fraccionamiento mecánico de los insectos: separando el exoesqueleto y la pulpa, que se compararán con el insecto entero.
- Evaluación de la composición bromatológica de las fracciones de los insectos:
 - Proteína bruta
 - Extracto etéreo
 - Humedad
 - Cenizas
 - Fibra: FND y FAD (fibra neutra y ácida)

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Como se ha comentado anteriormente, actualmente existe una gran demanda de harina de pescado y soja como principales fuentes proteicas de los piensos destinados al consumo animal y especialmente a acuicultura, sin embargo, estas fuentes hoy por hoy no resulta ni económicamente rentables ni ambientalmente sostenibles por lo que es imperativo buscar nuevas fuentes que cumplan estos requisitos. Desde la última década los insectos han tomado un papel relevante como alternativa a la harina de pescado y numerosos trabajos publicados en este sentido indican que es un buen sustituto de la harina de pescado, pero con un límite de 25.35 % de sustitución. Este límite en la sustitución, se achaca en parte al exoesqueleto, formado escleroproteína y por quitina, cuya digestibilidad se cuestiona.

2.1 La acuicultura

La acuicultura, según aparece definida en la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), es el cultivo de organismos acuáticos (comprendidos peces, moluscos, crustáceos y plantas) llevado a cabo en zonas costeras y en zonas de interior que implica un aumento de la producción con intervenciones en el proceso de cría.

Desde 1980 la pesca de captura ha dejado de crecer, sin embargo, en la acuicultura se observa un continuo crecimiento (figura 1). La producción pesquera mundial alcanzó unos valores máximos en 2016, obteniendo aproximadamente 171 millones de toneladas, representando la acuicultura un 47% del total y un 53% si se incluyen los usos no alimentarios, es decir, incluida la reducción para la producción de aceite y harina de pescado). Para el año 2016, se estimó que el valor global de la primera producción pesquera y acuícola fue de aproximadamente 362 millones de dólares, de los que la acuicultura produjo un total de 232 millones de dólares. Desde finales de los 80, la acuicultura ha sido la que ha desencadenado el crecimiento continuo del suministro de pescado destinado al consumo humano.

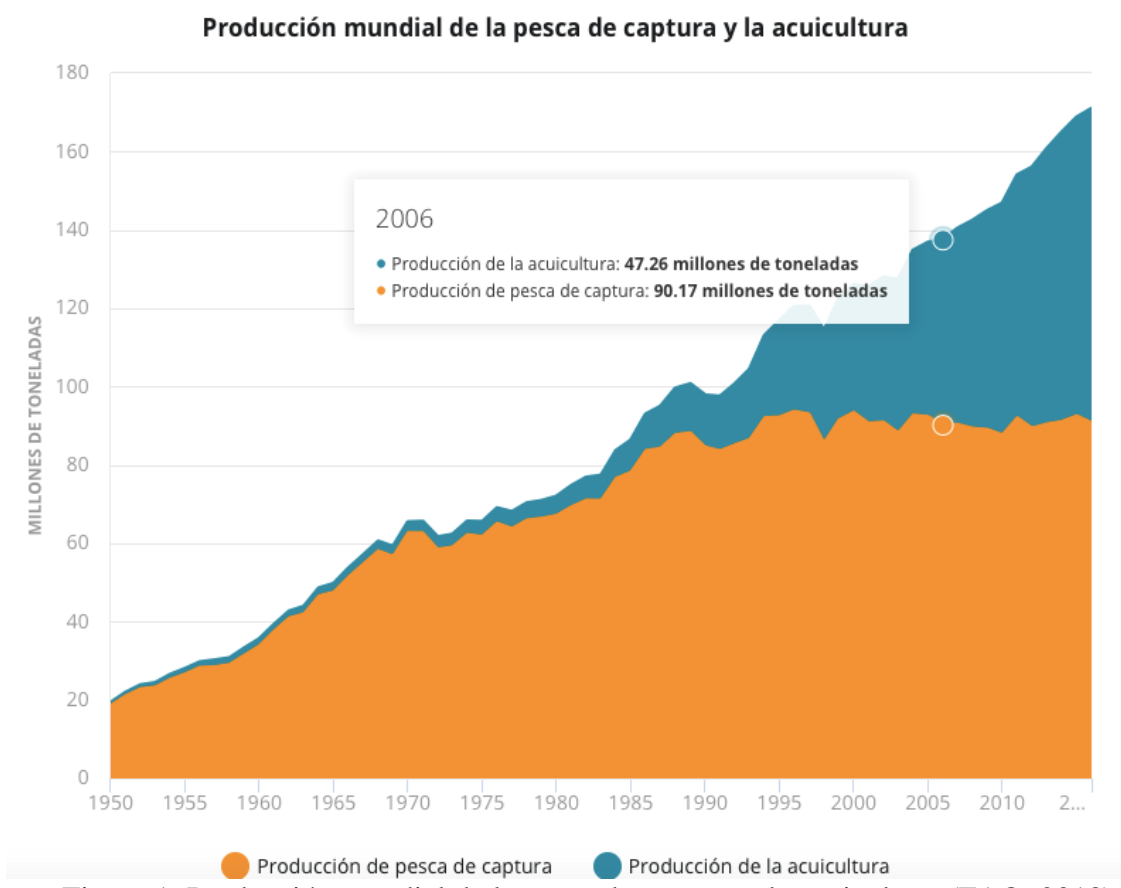


Figura 1: Producción mundial de la pesca de captura y la acuicultura (FAO, 2018)

Se prevé que la producción pesquera total (donde se deben de excluir las plantas acuáticas) va a pasar de 180 millones de toneladas aproximadamente en 2018 a 205 millones de toneladas en 2030. El aumento mundial hasta 2030 es estimado a un 15% que son 26 millones de toneladas con respecto a 2018. Esto hace ver, una desaceleración con respecto al periodo 2007-2018 en el que se produjo un crecimiento del 27%. El crecimiento de la producción pesquera mundial seguirá basándose en el incremento de la acuicultura, como puede observarse en la figura 2. Está previsto que en 2030 la producción acuícola alcance los 110 millones de toneladas, suponiendo esto un aumento del 32% respecto a 2018.

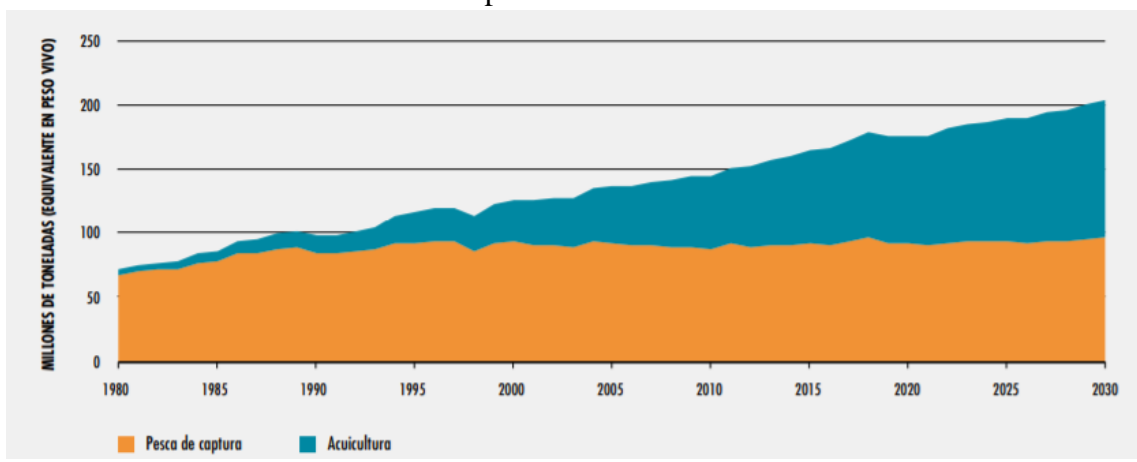


Figura 2: Producción mundial de la pesca de captura y la acuicultura, periodo 1980-2030 (FAO, 2020)

Como puede observarse en la figura 3, uno de los sectores de la producción de alimentos que más rápido crezca en los próximos años es la acuicultura. Ya en el 2020 las toneladas producidas en acuicultura superaban por primera vez a las capturas de especies salvajes. Y para 2030 se prevé que la proporción de especies acuicultivadas aumenten hasta 53%.

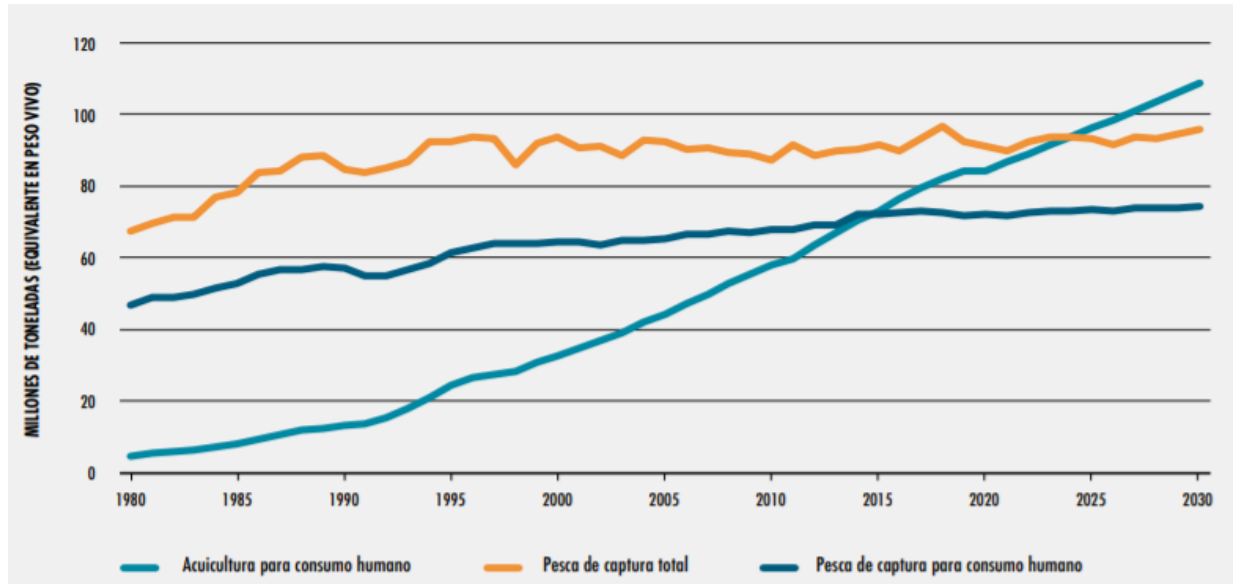


Figura 3: Producción mundial de la pesca de captura y la acuicultura, periodo 1980-2032 con consumo humano (FAO, 2020).

Desde el pico de producción máxima en 1994, la producción de harina de pescado ha sufrido fluctuaciones, pero en general muestra una tendencia descendente (FAO, 2020). Otro hecho reseñable es que cada vez más proporción de esta harina procede de los subproductos del pescado, que antes solían eliminarse (Figura 4).

Además, aunque la producción de aceite y harina de pescado debería disminuir en los próximos años, se prevé que en 2030 la cantidad de aceite y harina de pescado sea superior hasta en un 7% que la de 2018, debido a los desechos y subproductos del pescado de la industria mencionados anteriormente. Para el periodo 2018 – 2030 se prevé que la proporción de aceite de pescado de los desechos propio del pescado aumente hasta un 45%, mientras que en el caso de la harina aumentará hasta un 28%.

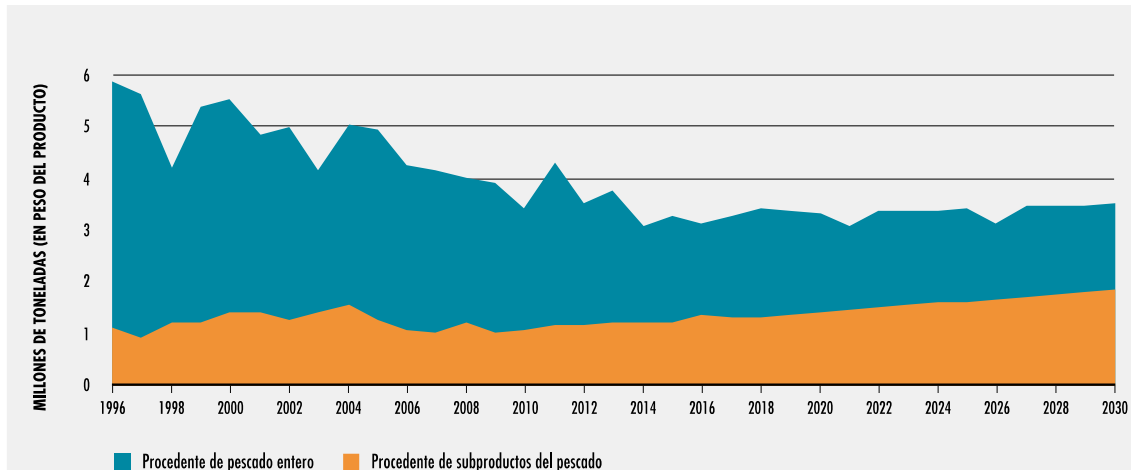


Figura 4: Producción mundial de harina de pescado 1996-2030 (FAO, 2020)

En relación a los últimos años, los precios de la harina de soja siguieron una tendencia a la baja, mientras que los precios de la harina y del aceite de pescado han ido aumentando desde mediados de 2018 (figura 5), y se prevé que a largo plazo seguirán aumentando, debido a una demanda creciente y continuada.

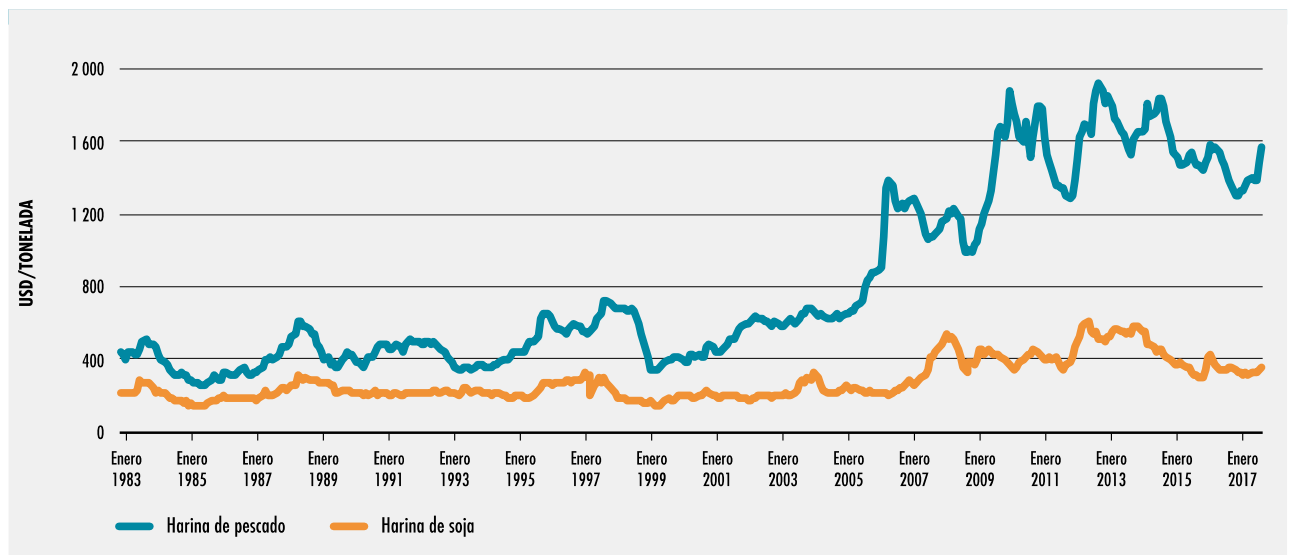


Figura 5: Precios de las harinas de pescado y soja en Alemania y los países bajos (los datos vienen expresados en dólares por tonelada de harina) (FAO, 2020).

En siguientes epígrafes se hace referencia a la situación actual de la acuicultura a nivel mundial y en los territorios de mayor interés.

2.3 Harina de pescado

La harina de pescado es un producto obtenido del procesamiento de pescados, siendo la forma de aprovechamiento más utilizada para eliminar su contenido de agua y aceite, con un posterior molido y tratado (COVENIN, 1978; Pocoví, 1995). Además, se utiliza para transformar más del 60% de las capturas mundiales de pequeños pelágicos y desperdicios procedentes de las conservadoras de pescado en un producto potencialmente utilizable, donde

en gran proporción, estas harinas son usadas para elaborar dietas de engorde de animales como cerdos, aves y peces entre otros (Windsor y Barlow, 1984; Cabello et al., 2013).

Esta harina de pescado, proporciona una fuente concentrada de proteína de alta calidad, y una grasa rica en ácidos grasos omega-3, DHA y EPA, promoviendo el crecimiento de los animales alimentados con esta, su mejor nutrición, la mejora de la fertilidad y la notoria disminución de la posibilidad de sufrir enfermedades. Otra característica a destacar, es la buena palatabilidad para los peces, lo que asegura que la ingesta sea adecuada y a su vez, aporta gran cantidad de minerales (como fósforo asimilable) (Castelló, 1993)

Como se ha comentado, la harina de pescado se produce de la captura de peces para los que existe poca demanda para el consumo humano y también de desechos de pescado, como pueden ser la anchoveta o el jurel. Además, las partes más grasas se usan para producir aceites, como el hígado del bacalao. El aspecto de dichas harinas es normalmente un polvo marrón compuesto normalmente por entre 60% y 72% de proteína, entre 5% y 12% de grasa y entre 10% y 20% de ceniza (Mariño et al., 2012)

Sin embargo, actualmente la harina de pescado presenta una serie de problemas que la hacen una fuente económicamente y medioambientalmente insostenible. Principalmente, el problema más grave es que la industria acuícola está agotando las especies clave y está causando problemas ambientales al pescar en los niveles inferiores de la cadena alimentaria, lo que puede provocar un desabastecimiento en los niveles superiores. A pesar de los compromisos para reducir la dependencia de la proteína del pescado y aumentar la sostenibilidad y la transparencia, los productores de harina de pescado y las principales compañías de alimentos acuícolas divulgan poca información sobre el origen, la cantidad o la sostenibilidad del pescado capturado en la naturaleza (Cao et al., 2015).

2.3.1 Fuentes alternativas a la harina de pescado

Según Cardenete (1999) la excelente calidad nutritiva de la harina de pescado se manifiesta al considerar algunas de las características más generalistas que se pueden aplicar a la gran mayoría de las harinas de pescado comerciales, como puede ser:

- Tener un contenido de proteína superior al 60% y que esta sea muy digerible.
- Aporte tanto de ácidos grasos esenciales como de vitamina B
- Tener una buena palatabilidad, para asegurar la ingesta adecuada

Por lo que, para poder conseguir la mayor semejanza posible con respecto a estas harinas, se debe tener en cuenta los siguientes criterios (Higuera y Cardenete, 1987):

- Para obtener un buen resultado de la sustitución de la harina de pescado se debe tener suficiente proteína, es decir, evitar desequilibrios para el resto de componentes de la dieta.
- Es necesario tener un equilibrio entre los aminoácidos esenciales y sus digestibilidades, para la especie en cuestión.
- Se llevará a cabo un control del alimento a medida que pasa por los procesos tecnológicos, así como se controlará el modo en que afecta a la disponibilidad de la proteína.
- A su vez, debe ser medioambientalmente sostenible y económica (Sánchez-Muros et al., 2014)
- Alto contenido en vitaminas del grupo B, así como ser una fuente importante de minerales (destacando el ácido fosfórico y fosfatos asimilables) (Cardenete, 1999).

- Es importante también que las harinas tengan una excelente palatabilidad para las especies (Barrows y Sealey, 2014)

2.3.1.1 Harinas de origen vegetal

Las harinas vegetales han sido la alternativa inmediata a las harinas de pescado, ya que son más baratas y abundantes. No obstante, estas tienen inconvenientes, por una parte, poseen un porcentaje demasiado bajo de proteína y un desequilibrio entre aminoácidos esenciales y no esenciales, además de un contenido de fibra alto. Esto conlleva a un menor crecimiento y un mayor uso de la proteína disponible con fines energéticos (Sanz et al., 1994; Morales et al., 1994). Sin embargo, parte de estos inconvenientes se han subsanado gracias al desarrollo de técnicas y procesos específicos que pueden disminuir los efectos antinutricionales (Sanz y Cardenete, 2001).

Las plantas que mayor repercusión han tenido para la producción de piensos, son los granos de cereales como el maíz y el trigo; y las legumbres como la soja. Este último caso, el de la soja, es la proteína vegetal más usada en alimentación acuícola (Barrows y Sealey, 2014) y además es la materia prima más demandada en la fabricación de piensos para el ganado en general (FAO, 2014). No obstante, es limitante del contenido de proteína en aminoácidos azufrados y contiene también compuestos antinutritivos (Tacon, 1993), lo que provoca que no se pueda aumentar el porcentaje de sustitución actual, que se encuentra en un 40% (Lim y Dominy, 1990)

Los piensos de proteínas vegetales, se han probado en varios animales acuáticos como la lubina europea (Días et al., 1997), la dorada (Gómez-Requeni et al., 2004), la trucha arcoíris (Gomes et al., 2005; Adelizi et al., 1998; De Francesco et al., 2004; Snyder et al., 2012), entre otras.

2.3.1.2 Harinas de origen unicelular

Otra de las alternativas son las proteínas unicelulares, en su gran mayoría levaduras, bacterias y microalgas. Estas presentan un gran potencial para la acuicultura. Actualmente, las células de levaduras mezcladas con granos secos son las que más se usan para piensos de animales terrestres, pero el factor limitante es su alto contenido en fibra.

Hoy por hoy, se ha empezado a usar *Methylobacterium extorquens* (una bacteria), en una nueva plataforma de biocatálisis de alta producción, como una posible fuente de proteína para acuicultura (Tlusty et al., 2017)

Concluyendo, se puede añadir que la producción de proteínas unicelulares es una alternativa de alta calidad a la harina de pescado, ya que tiene el potencial de estabilizar el aumento de los costos de los piensos acuícolas y puede resolver el problema de sobrepesca en los medios marinos (Tlusty et al. 2017). Pero, por otro lado, se ha observado que el aporte de nitrógeno procedente de ácidos nucleicos produce alteraciones a nivel hepático y acumulaciones anormales de ácido úrico, además, de que muchas bacterias son carentes en aminoácidos azufrados y la mayor parte de ellas requieren de un tratamiento especial para romper su pared celular y mejorar su digestibilidad (Murray y Marchant, 1986).

2.3.1.3 Harinas de origen animal

La alternativa de las harinas de origen animal es considerada una buena sustituta de la harina de pescado, ya que tiene un elevado contenido proteico, un buen equilibrio aminoacídico, y una elevada digestibilidad de la materia seca y energía (similar al de la harina de pescado) (Bureau et al., 1999, 2000). La calidad de la harina de origen animal depende tanto de la especie usada como del procesado final de la harina (Bureau et al., 1999), pero de manera generalista los resultados experimentales en acuicultura son mejores con especies herbívoras e incluso omnívoras que en carnívoras (Sanz y Cardenete, 2001).

Normalmente son subproductos de industrias inutilizables para el ser humano, sobre todo de mataderos. Se usan como fuente de proteína secundaria, lo que conlleva una menor digestibilidad, a la vez que una menor concentración de aminoácidos esenciales (Mohsen y Lovell, 1990; Fowler, 1991).

También cabe destacar otra forma de proteína animal en forma de harina de invertebrados que, aunque son menos convencionales, se ha llegado a considerar su uso para crustáceos, con unos resultados aceptables, como por ejemplo el Krill (Akiyama et al, 1984; Shimizu et al., 1990), pero el inconveniente es que depende de la productividad del medio rural y de la pesca. Otro ejemplo de harina de invertebrados que se ha investigado, han sido las lombrices (*Eisenia fétida*), sin embargo, se ha concluido que en cantidades grandes no son bien toleradas, mientras que en niveles menores si se obtiene un mayor crecimiento de los peces (Akiyama et al., 1984; Stafford y Tacon, 1990; Velasquez et al., 1991). Actualmente, otra de las harinas que despierta interés es la obtenida como subproducto de aves, que ha comenzado a comercializarse en dos presentaciones, una para consumo animal y otra especial para el alimento de mascotas (de calidad Premium) (Dozier y Dale, 2005; Dozier et al., 2003).

2.3.1.4 Harina de insectos como alternativa

A medida que han pasado los años, la entomofagia practicada por las diferentes culturas del mundo, ha llevado a los nutricionistas a evaluar sus aportes como nutrientes, llegando a la conclusión que la gran mayoría de los insectos poseen valores similares a los de la carne (Ramos-Elorduy, J. et al, 1998). La práctica de las harinas de insectos va a estar condicionada por su adecuación para cubrir las necesidades específicas de los animales a las que vayan destinadas. Su uso como materia prima para el mundo acuícola y la alimentación de animales domésticos y humana será más frecuente en los próximos años (Van Huis, 2013). Como reflejo del interés que se está generando, hemos realizado las siguientes figuras que muestran el creciente número de artículos científicos que abordan el estudio de los insectos como alimento en general (figura 6), y como sustituto de la harina de pescado en concreto (figura 7).

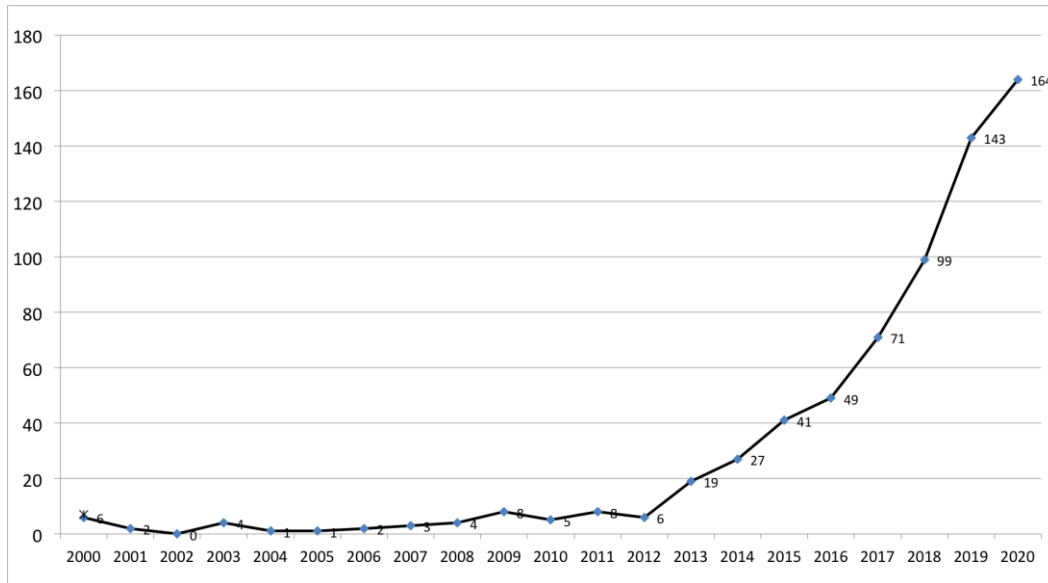


Figura 6: Artículos científicos (nº de artículos /año) que estudian a la harina de insectos como alimento para el ser humano (entomofagia) (fuente SCOPUS, palabras clave “insect-meal” and “entomophagy”)

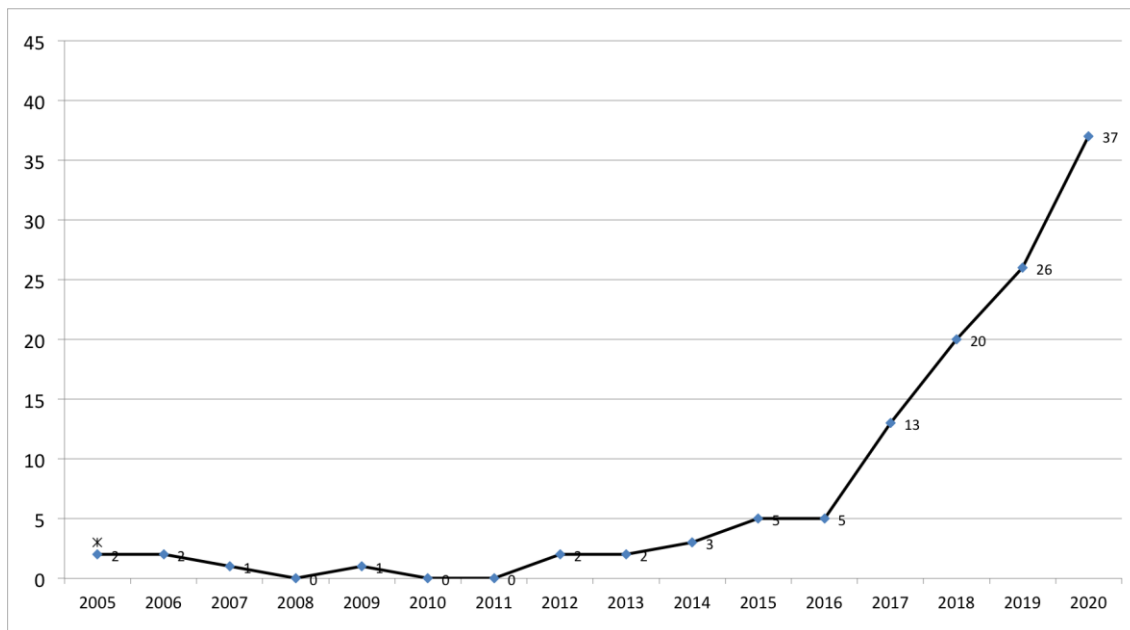


Figura 7: Artículos científicos (nº de artículos /año) que estudian a la harina de insectos como sustituta de la harina de pescado (fuente SCOPUS, palabras clave “insect-meal” and “fishmeal”)

Los insectos tienen una serie de ventajas, como la de no competir con fuentes de recursos humanos y que pueden ser criados en espacios relativamente pequeños, comparados con las hectáreas de terrenos necesarias para otras alternativas como las vegetales, otra de las ventajas es que pueden alimentarse de manera sencilla y con diversos flujos de residuos, convirtiendo materia orgánica de bajo coste en biomasa animal rica en proteína de alta calidad, vitaminas y aminoácidos eficientes para su uso en alimentación animal (Ramos-Elorduy, 1999, 2005). Así mismo, según el informe desarrollado por Van Huis (2013), los insectos que poseen el máximo potencial para la producción de piensos en una cantidad razonable, son las larvas de la mosca

soldado negra (*Hermetia illucens*), de la mosca doméstica (*Musca domestica*) y del gusano de la harina (*Tenebrio molitor*), pero se están investigando otras especies de insectos con este fin. Además, desde la aprobación del Reglamento (UE) 2017/893, de 24 de mayo de 2017, se establece que es factible el empleo de los insectos como fuente de proteína para la alimentación animal. Las especies de insectos que recoge el reglamento son las tres especies ya mencionadas, además del escarabajo de la cama (*Alphitobius diaperinus*), el grillo doméstico (*Acheta domesticus*), el grillo rayado (*Grylloides sigillatus*) y el grillo bicolor (*Gryllus assimilis*).

Hasta la fecha, se han publicado diversos análisis donde se incluyen ensayos de alimentación con varias especies animales (ratas, aves y peces), utilizando larvas de mosca doméstica (*Musca domestica*), pupas de gusanos de seda (*Bombyx mori*) y grillos mormones (*Anabrus simplex*). Estos estudios trataban de evaluar el potencial nutricional que poseían las harinas de estos insectos, actuando como fuente primaria de la dieta. Los datos recogidos son muy importantes ya que representan evaluaciones de la calidad de la proteína del insecto. La mayoría de estos, se han publicado en diferentes revistas de ciencia y nutrición animal (Barker et al., 1998). Los resultados arrojan que el nutriente de mayor concentración es la proteína, debido al exoesqueleto rico en proteínas de los propios insectos (Bukkens, 1997).

Otros autores como Wang et al., (2007) han estudiado el valor nutritivo del saltamontes chino (*Acrida cinerea*), observando que este insecto tiene el contenido de aminoácidos más similar al de la harina de pescado, DeFoliart et al. (1982) han estudiado el grillo mormón (*Anabrus simplex*) y Nakagaki y DeFoliart, (1987), el grillo doméstico (*Acheta domesticus*). Por otra parte, Ramos-Elorduy et al. (1998), han analizado más de 100 especies diferentes de insectos, pertenecientes a diez órdenes diferentes. El perfil aminoacídico de las harinas de insectos muestra una gran variabilidad según la especie y el orden al que pertenecen, Barroso et al. (2014) obtuvieron que el orden díptero era el más similar a la harina de pescado, y contenían altos niveles de fenilalanina, tirosina y valina, histidina, lisina, treonina y metionina, pero presentaban déficit de leucina. En cambio, ortópteros y coleópteros no presentaban ese déficit de leucina, pero su perfil era más diferente al de la harina de pescado, teniendo niveles inferiores de histidina, lisina y treonina. En un estudio realizado por Estibaliz (2017) de moscas domésticas utilizadas para la alimentación de aves de corral, concluyó que se presentaban aminoácidos como la lisina, metionina, cisteína y treonina, un alto contenido proteico y aminoácidos esenciales. En relación al orden ortóptero, Nogonierma et al. (2017) indican que las proteínas de insectos ortópteros tienen en general perfiles aminoacídicos adecuados, para el consumo humano. Más particularmente, hacen referencia al contenido de aminoácidos de la proteína de grillo común (*Acheta domesticus*), el cual también ha sido estudiado por Yi et al. (2015) y Makkar et al. (2013), quienes coinciden en que cubre los requerimientos establecidos por FAO para adultos. Para edades de etapas escolares, según las determinaciones de Yi et al. (2015) sí los llega a cubrir; pero, por otra parte, según lo investigado por Makkar et al. (2013) la proteína de *Acheta domesticus* tendría un leve déficit en triptófano para este grupo. Por otro lado, las proteínas del género de los grillos, son muy digeribles con porcentajes que varían entre el 77,9 y el 98,9% (Arévalo et al., 2015)

Son numerosos los trabajos que han mostrado que con la harina de puede llegar a reemplazar la harina de pescado hasta un 25% sin efecto negativo sobre el crecimiento de los peces (Lock et al., 2014; Reyes et al, 2020; St-Hilaire et al., 2007; Sealey et al., 2011, entre

otros). Sin embargo, niveles de sustitución superiores a estos empeoran los índices de crecimiento y aprovechamiento nutritivo de la dieta. Se considera que la quitina, componente del exoesqueleto de los insectos, es responsable de esta limitación ya que, debido a su estructura química, se duda de su digestibilidad y en general se considera indigestible para peces (Rust *et al.*, 2002). Por ello, según el destino que tenga la harina de insecto, una opción válida podría ser fraccionar mecánicamente los insectos para separar su exoesqueleto indigestible, constituido por la quitina entrelazada a la escleroproteína, de los órganos internos blandos (pulpa). No obstante, es necesario valorar si este proceso es factible/óptimo para todas las especies, ya que no será igual el resultado de larvas poco esclerotizadas (por ejemplo, coleópteros u dípteros) que en ninfas más esclerotizadas (p.e. ortópteros).

- Exoesqueleto.

Se puede nombrar como tegumento o exoesqueleto. Se trata de la cubierta externa de los insectos y otros artrópodos, (es un símil al endoesqueleto del ser humano y otros vertebrados).

Las principales funciones del exoesqueleto son proteger a los órganos internos contra posibles daños y actuar como una barrera osmótica para retrasar el paso del agua hacia el interior y exterior del cuerpo del insecto, a su vez, también sirve como una estructura de sostén para la inserción de los músculos.

A medida que el insecto crece debe hacer una muda para permitir el crecimiento, por lo que, en este periodo, el insecto es muy vulnerable, por eso existen una serie de capas que ayudan a proteger el insecto en el periodo de muda: la primera capa, llamada cutícula, formada a su vez por endocutícula, exocutícula y epicutícula. Otra de las capas es la epidermis, que simplemente es una capa de células epidermales que secretan la cutícula y el líquido de muda, es decir, la membrana basal, y como última capa se encuentra, la membrana basal que son las células de la epidermis y se encarga de separar al exoesqueleto del resto del cuerpo del insecto (Hermógenes, 2019)

- Pulpa (parte interna del insecto)

En esta parte se encuentra la mayor parte del insecto (salvo el exoesqueleto) y engloba las partes blandas de secciones como la cabeza, con todas sus partes, el tórax (inclusive protórax, mesotórax y metatórax), el abdomen con todos sus segmentos (Hermógenes, 2019).

2.4 Características principales de las especies de insectos aprobados como alimento por la UE (Reglamento (UE) 2017/893).

2.4.1 Escarabajo del estiércol o de la cama (*Alphitobius diaperinus*; Panzer, 1797)

Reino: Animalia

Filo: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Coleóptera

Familia: Tenebrionidae

Género: *Alphitobius*

Especie: *A.diaperinus*

Macho adulto de *Alphitobius diaperinus*



Alphitobius diaperinus es una especie del orden coleóptero. Los adultos son alargados y ovalados de un color marrón oscuro a negro, a veces también se pueden llamar escarabajos oscuros (Townsend, 1998). La longitud es aproximadamente 5,8 a 6,3 mm. Tienen un par de alas, llamadas élitros, además de unas antenas que tienden a estar recubiertas por unos pequeños pelos amarillos (Dunford y Kaufman, 2006). Haciendo referencia a los huevos, miden 1,5 mm y van de un color blanco a tostado, sus extremos son redondeados.

Las larvas presentan un cuerpo segmentado con 3 pares de patas y miden entre 7 y 11 mm de longitud en su último estadio. Presentan una coloración marrón cremosa. Respecto a las pupas, miden entre 6-8 mm y son de un color blanco cremoso.

Se trata de una especie que tiene aproximadamente entre seis y once estadios larvarios, viviendo los adultos varios meses (Townsend, 1998; Dunford y Kaufman, 2006)

Como descomponedores se encuentran en las harinas y otros productos de granos, especialmente en procesadoras de granos mal mantenidas (Spilman, 1991). *A. diaperinus* se ha asociado con alimentos como el trigo, cebada, arroz, avena, soja, caupí y maní (Hosen et al. 2004). Debido a su origen tropical, el gusano de la cama se adapta bien a condiciones cálidas y húmedas. Suele ser una plaga importante de gallineros o criaderos donde vive en los excrementos y la basura de las aves de corral (Francisco y Prado 2001).

2.4.2 Gusano de la harina (*Tenebrio molitor*; Linnaeus, 1758)

Reino: Animalia

Filo: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Coleóptera

Familia: Tenebrionidae

Género: *Tenebrio*

Especie: *T. molitor*

Larva de *T. molitor*



En su estado adulto posee una largura de 18 mm y 4mm de ancho. Tiene un par de alas (élitros) pero no suelen usarlas, ya que son insectos poco voladores, aunque muy resistentes (Mongragón et al., 2015). El huevo ovopositado por la hembra es de color blanquecino y de forma ovalada. En total la hembra puede hacer una puesta de entre 250 a 1000 huevos (Aguilar-Miranda, 2002). La larva de esta especie va desde un color amarillo a un marrón claro y mide aproximadamente entre 20 y 32 mm de largo (Finke, 2002).

Los estadios por los que pasa el gusano de la harina son: huevo, larva, pupa y adulto, es decir, presentan un desarrollo tipo holometábolo. En *T. molitor*, la duración de las fases desde huevo hasta adulto, puede estar entre 6 y 12 meses si se mantienen en su ambiente natural (Athié y De Paula, 2002).

Esta especie fue descubierta en Europa, aunque actualmente se encuentra distribuida por todo el mundo. *T. molitor* es considerada una plaga, pero no tiene mucha importancia ya que sus poblaciones son pequeñas (Ramos-Elorduy et al., 2002).

Los gusanos de la harina son fáciles de criar y alimentar y tienen un valioso perfil de proteínas. Por estas razones, se producen industrialmente como alimento para mascotas, incluidos pájaros o reptiles. Por lo general, se alimentan en vivo, pero también en seco o en polvo (Aguilar-Miranda et al., 2002; Hardouin y Mahoux, 2003; Veldkamp et al., 2012).

2.4.3 Mosca soldado negra (*Hermetia illucens*; Linnaeus, 1758)

Reino: Animalia

Filo: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Diptera

Familia: Stratiomyidae

 Género: *Hermetia*

 Especie: *G. illucens*

 Larvas de *H. illucens*


Se trata de una mosca de la familia Stratiomyidae. Es nativa de zonas tropicales y subtropicales de América.

La mosca soldado negra adulta es de color negro con forma de avispa y de un tamaño aproximado a 20 mm de largo (Hardouin y Mahoux, 2003). Una de las características que presenta esta especie es que en estado adulto no se alimenta, por lo que es una especie ideal para su crianza y alimento de otros animales.

Haciendo referencia a las larvas, alcanzan los 27 mm de longitud y 6 mm de grosor, presentando una coloración opaca y blanquecina (Diclaro y Kaufman, 2009). Las larvas se alimentan de una gran variedad de materiales orgánicos, despojos de pescado e incluso de estiércol animal (Hardouin y Mahoux, 2003; Diener et al., 2011; van Huis et al., 2013).

La *Hermetia* es muy resistente, siendo una especie capaz de lidiar con condiciones ambientales exigentes, como sequía, escasez de alimentos o deficiencia de oxígeno (Diener et al., 2011).

 2.4.4 Mosca común (*Musca domestica*; Linnaeus, 1758)

Reino: Animalia

Filo: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Diptera

Familia: Muscidae

 Género: *Musca*

 Especie: *M. domestica*

 Adulto de *M. domestica*


Los adultos de *M. doméstica*, pueden llegar a medir de 4 a 7,5 mm de longitud. Como la mayoría de los insectos poseen un cuerpo dividido en tres fragmentos: cabeza, tórax y abdomen. Su aparato bucal es succionador, por lo que no pueden morder animales, ni seres humanos (Hewitt, 2011). También poseen dos antenas con funcionamiento sensorial y olfativo y un par de élitros que les permiten volar (Hewitt, 2011; Gullan et al. 2010).

El ciclo biológico por el que pasan las moscas consta de varios estadios: huevo, larva (2 fases larvianas, es decir, muda dos veces), pupa y adulto (Novartis, 2006).

El huevo es de color blanco de aproximadamente de 1 mm de longitud, mientras que las larvas tienen un color cremoso, presentando 13 segmentos. La pupa se oscurece hasta que adquiere un color marrón oscuro (Novartis, 2006; Faz, 2007).

La mosca se encuentra en cualquier sistema de producción agropecuario, generando problemas graves de contaminación de los productos, a la vez, de ser vectores de transmisión de patógenos a los animales (Capinera, 2008).

2.4.5 Grillo común (*Acheta domesticus*; Linnaeus 1758)

Reino: Animalia

Filo: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Orthoptera

Familia: Gryllidae

Género: *Acheta*

Especie: *A. domesticus*

Adulto de *Acheta domesticus*



Los adultos de grillo común se dividen en 3 segmentos: cabeza, tórax y abdomen. (Portillo, 2017).

Tienen un tórax de forma cilíndrica con dos grandes élitros en sus laterales. Presentan una coloración con tendencia al marrón oscuro, pero también los hay con tonalidad amarillenta. Su tamaño oscila entre los 16 y 21 mm (Walker, 2007). Su característica principal es que tienen seis patas, de las cuales cuatro son caminadoras y las otras dos son saltadoras. (Portillo, 2017).

Las ninfas recién nacidas son extremadamente blandas y de una coloración blanquecina, pero en poco tiempo adquieren el color propio de su especie, debido al endurecimiento de la quitina de su exoesqueleto. Durante este estadio van cambiando de exoesqueleto según van creciendo los individuos (Cedeño, 2020)

Su ciclo de vida dura aproximadamente tres meses en condiciones óptimas y no presentan hibernación por lo que sobreviven en invierno cerca de zonas con un excedente de calor (Walker, 2007). Presentan metamorfosis incompleta (hemimetábolos), ya que pasa por 3 estadios (huevo, ninfa y adulto) (Gaua, 2012)

Esta especie procede del suroeste de Asia, aunque actualmente se encuentra muy extendida por diferentes países y continentes, como Europa, África (norte) o Australia (Walker, 2007). Se reproducen normalmente para ser usados como alimentos para mascotas, sobre todo de reptiles (Portillo, 2017).

En la composición de *A. domesticus* destaca su cantidad de proteínas, que ronda el 67%, seguido de la grasa con aproximadamente 20% (Rumpold y Schlüter, 2013).

2.4.6 Grillo rayado (*Grylloides sigillatus*; Walker, 1869)

Reino: Animalia

Filo: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Ortópteros

Familia: Gryllidae

Género: *Grylloides*

Especie: *G. sigillatus*

Adulto de *G. sigillatus*



G. sigillatus es su estado adulto tiene un tamaño entre 13 a 18 mm de largo y presenta una coloración marrón-amarillenta clara. El dimorfismo entre machos y hembras es claro, ya que las hembras no presentan alas, mientras que los machos tienen un par de élitros que le

cubren la mitad del abdomen. La diferencia con el grillo común es la presencia de una banda transversal entre los ojos de color oscuro, de ahí su nombre “rayado” (Rauf, 1983)

Al igual que el grillo común, no presentan etapa de hibernación, por lo que las generaciones son continuas. Dependiendo de la temperatura, el desarrollo de huevo a adulto va desde dos a tres meses (Rauf, 1983; Wlaker, 2014).

Se trata de una especie que se considera originaria del suroeste de Asia, pero que se ha extendido a las regiones tropicales de todo el mundo. Se cría fácilmente, pero no es usada comúnmente como alimento para mascotas o como cebo para peces. No se considera una especie dañina (Walker, 2014)

2.4.7 Grillo bicolor (*Gryllus Assimilis*; Fabricius, 1775)

Reino: Animalia

Filo: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Ortópteros

Familia: Gryllidae

Género: *Gryllus*

Especie: *G. assimilis*

Macho adulto de *G. assimilis*



Gryllus Assimilis es una especie del orden coleóptero que crece hasta 32 mm, por lo que se clasifica como especie grande. Posee una coloración marrón-rojiza y es de rápido crecimiento. La diferencia entre la hembra y el macho es que las hembras no emiten sonidos, mientras que los machos sí, ayudados de sus patas traseras (Cedeño, 2020)

El ciclo de vida del grillo común está dado por tres estadios: huevo, ninfa y adulto. Pasa de un estadio a otro por la alimentación y la temperatura, entre más favorables son estas más rápido es su crecimiento. Por lo general a una temperatura entre 26 a 32 °C y una dieta adecuada, el grillo llegara a la adultez en tres meses (Apolo-Arévalo y Iannacone, 1993)

Esta especie se distribuye por el Caribe, el sur de Estados Unidos y México (Alexander y Walker, 1962). Se trata de una especie que se puede criar en colonias con un ambiente controlado, de igual manera que el grillo europeo (*Acheta domesticus*) (Clifford, 1990).

Actualmente es el insecto estándar disponible para la alimentación de mascotas (Szelei et al., 2011). En la actualidad se cultiva comercialmente para la alimentación del ser humano, para alimentos de animales de granja y como cebo para la pesca deportiva (Apolo-Arévalo y Iannacone, 1993).

Como conclusión de todo lo expuesto anteriormente, en este proyecto, se pretende en primer lugar valorar la posibilidad de separar mecánicamente, mediante prensado, las fracciones de los insectos, como son el exoesqueleto y pulpa. Y, en segundo lugar, valorar nutritivamente estas fracciones y compararlas con el individuo entero (insecto sin fraccionar).

3. MATERIAL Y MÉTODOS

Los insectos, con los que se ha realizado este proyecto, fueron sacrificados por las empresas distribuidoras por el método de congelación. El transporte de las especies fue desarrollado en congeladores específicos, manteniendo siempre una temperatura inferior a cero grados para su perfecto mantenimiento. Una vez recibidos se mantuvieron en un congelador a -20°C hasta su análisis. Los proveedores han sido los siguientes:

- *Hermetia illucens* (mosca soldado-negra) → Entomotech S.L. (Andalucía, Almería)
- *Musca domestica* (mosca común) → Bioflytech S.L. (Murcia, Fuente Álamo)
- *Tenebrio molitor* (gusano de la harina); *Alphitobius diaperinus* (escarabajo de la cama); *Acheta domesticus* (grillo doméstico); *Grylloides sigillatus* (grillo rayado); *Gryllus assimilis* (grillo bicolor); *Alphitobius diaperinus* (escarabajo de la cama); *Acheta domesticus* (grillo doméstico); *Grylloides sigillatus* (grillo rayado); *Gryllus assimilis* (grillo bicolor) → La Grillería (Grupo Insectem, S.L. (Valencia, La Poblá de Vallbona)

- Preparación de la muestra

Los insectos una vez descongelados a temperatura ambiente cada especie de insecto se separaron en dos lotes, una sin procesar destinada a estudiar los insectos enteros, y el otro se sometió a un prensado mecánico (Prensa de Aceite Electrónica CGOLDENWAL), que permitió separar el exoesqueleto (principalmente quitina y escleroproteína) de la pulpa. Todos los insectos salvo la *Musca domestica* se prensaron en caliente.

Tanto los insectos enteros, como sus fracciones (exoesqueleto y pulpa) se desecaron en una estufa a 50°C . Transcurridas 24 h se comprobó que mantenían un peso constante. Se prosiguió con la molienda de los insectos en un molino de malla de 1 mm para la obtención de la harina, posteriormente, esta harina es envasada en bolsas herméticas transparentes y debidamente etiquetadas y pesadas, las cuales se conservaron a una temperatura de 4 grados.

Las pesadas se llevaron a cabo en una balanza monoplato con una precisión de 0.01 g.

Para la obtención de los componentes de muestras, se ha tomado como referencia el método WENDEE, que se caracteriza según los procedimientos estándar de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC, 2005).

- Análisis:

A continuación, se redactan los diferentes métodos empleados para la medición de los diferentes macronutrientes de las muestras:

- Humedad: Se obtuvo mediante desecación de las muestras en una estufa a $105^{\circ} \pm 0, 5^{\circ}$ durante 24 horas. Además, se ha realizado un proceso de liofilización (es decir, congelar las muestras y posteriormente extraer el agua en una cámara de vacío) (AOAC, 2005). El análisis se hizo por triplicado, con un total de 3 muestras.

- Cenizas: Se han obtenido mediante la calcinación en un horno mufla a 500°C durante 12 horas programadas (AOAC, 2005) de medio gramo de muestra. El análisis se hizo por triplicado, con un total de 3 muestras.

- Proteínas: Se determinaron siguiendo el procedimiento Kjeldahl (AOAC, 2005), donde las muestras se mineralizaron con ácido sulfúrico usando un digestor Bûchi, formando sulfato

de amonio que en exceso de hidróxido de sodio libera amoníaco, por eso siempre se trabaja en la campana extractora. Como proceso final, este compuesto se valora con ácido clorhídrico para la determinación total del nitrógeno recogido. Siguiendo el criterio expuesto por Janssen et al. (2017), a la cantidad obtenida se le aplica un factor de 5,6 (*G. assimilis*, *M. doméstica*, *A. diaperinus* y *G. sigillatus*), 4,76 (*H. illucens*) y 6,25 (*A. domesticus* y *T. molitor*) en el caso del exoesqueleto e insecto entero, mientras que para el hemocele se utiliza un factor de 6,25 para todos los insectos, para calcular la proteína bruta de la muestra. El análisis se hizo por triplicado, con un total de 3 muestras.

- Grasa bruta: Se utiliza un extractor Soxhlet para su determinación mediante la extracción de éter etílico en el DET-GRAS N (AOAC, 2005). Se debe programar con 3 etapas: "Boling", "Rising" y "Recuperation". Son necesarios unos cartuchos blancos y unos vasos de aluminio donde se recogen las muestras. El análisis se hizo por triplicado, con un total de 3 muestras.

- Fibra: Se desarrolla mediante el método de Van Soest (AOAC, 2005). Se realizarán dos determinaciones una neutra (FND) y otra ácida (FAD).

3.1 Tratamiento estadístico de los datos

Los resultados obtenidos se expresarán como la media con el error estándar correspondiente a su estimación. Para comparar las diferencias estadísticas se usará el análisis no paramétrico Kruskal-Wallis, al no presentar los datos una distribución normal, seguido por una comparación de medias (test de Tukey Kramer HSD), empleando el software JMP 9.0.0.

4. RESULTADOS

En este proyecto, para todos los insectos listados en el Reglamento (UE) 2017/893, que pueden ser incluidos en los piensos en acuicultura, se ha estudiado en primer lugar su valor nutritivo, y en segundo lugar valorar si, desde un punto de vista nutricional, sería conveniente la separación mecánica del exoesqueleto del resto del insecto (pulpa) de los insectos.

4.1. Valor nutritivo de la harina de los insectos enteros

4.1.1. Proteína bruta

En general, se puede afirmar que los insectos contienen una alta proporción de proteína bruta (figura 15). No obstante, existen diferencias significativas ($p=0,0039$), entre las especies estudiadas. Siendo *Alphitobius diaperinus* la especie con los mayores valores (62,87%), y *Tenebrio molitor* y *Hermetia illucens*, los que menos (33,81% y 34,16%, respectivamente). Estando el resto de los insectos entre el 45 y el 50%.

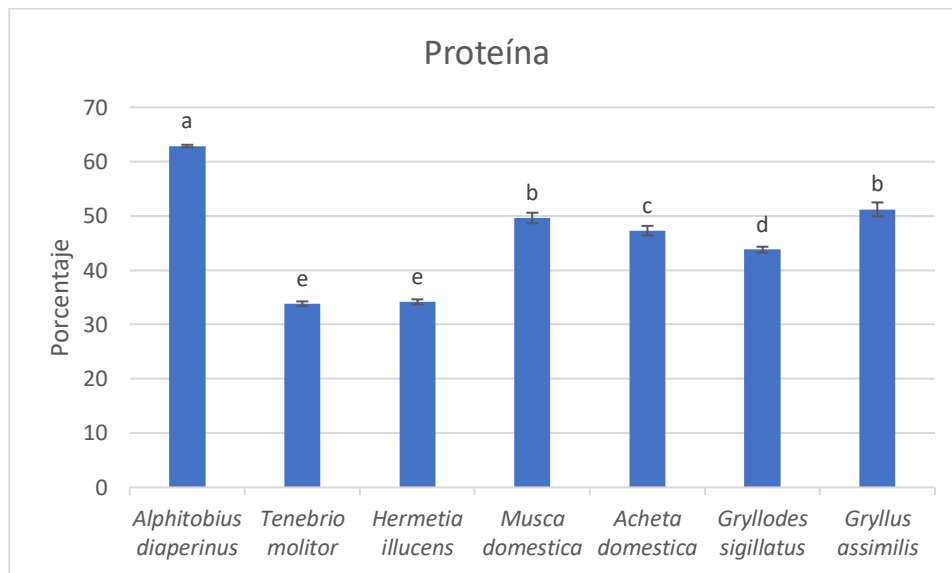


Figura 15: Contenido en proteína bruta de los diferentes insectos analizados. (Diferentes letras indican diferencias significativas) (siendo $n= 3$ para cada uno de los insectos; $p=0,0039$)

4.1.2. Grasa Bruta

Los valores obtenidos de lípidos del insecto completo varían entre el 15 y 34 por ciento (figura 16). El mayor valor lo recoge la H.I. (*Hermetia illucens*), mientras que el valor más bajo es el de *Acheta doméstica*. Se presentan diferencias significativas ($p=0,0053$) entre los insectos mientras que, por ejemplo, entre la *Hermetia*, la mosca y el grillo rayado no se presentan diferencias. De igual manera, entre los insectos *Alphitobius*, *tenebrio* y el grillo bicolor no se presentan diferencias, pero si con el resto de insectos.

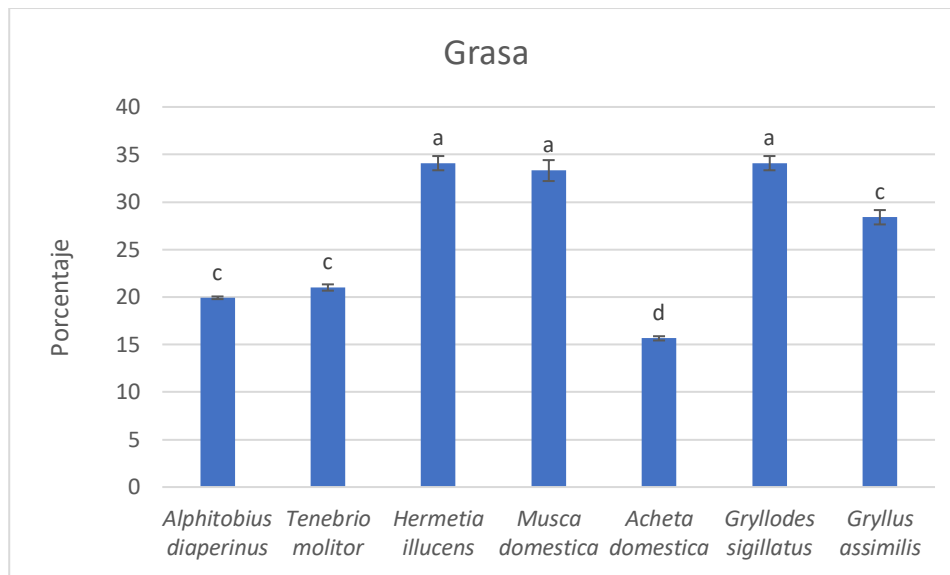


Figura 16: Contenido en grasa bruta de los diferentes insectos analizados. (Diferentes letras indican diferencias significativas) (siendo $n= 3$ para cada uno de los insectos; $p=0,0053$)

4.1.3. Fibra neutra detergente (FND) y fibra ácida detergente (FAD)

Con el método van Soest, se permite fraccionar secuencialmente las fracciones de fibra en FND, FAD y, en consecuencia, es un método para estimar, la digestibilidad de un alimento vegetal en función del tipo fibra que contienen. Ya que con la FND se engloba la hemicelulosa, la celulosa, la lignina, mientras que la FAD incluye la celulosa y la lignina. El método Van Soet no es un método diseñado para estimar la digestibilidad de la materia animal, pues carece de fibra, sin embargo, en insectos, dada la similitud entre la molécula de celulosa y de quitina, se emplea como indicativo de las partes no digeribles del insecto.

En la figura 17 se observa las diferencias entre el contenido de FND, el insecto con mayor porcentaje es la mosca común seguida de *Gryllus assimilis*, el de menor porcentaje es el grillo doméstico (*A. domestica*). Mientras que, en la FAD (figura 18), los valores ser encuentran representados, siendo el insecto de menor proporción *Hermetia illucens* y el de mayor *Grylloides sigillatus*, que ronda el doce por ciento. Se presentan diferencias significativas tanto en la FND como en la FAD, ($p=0,0042$).

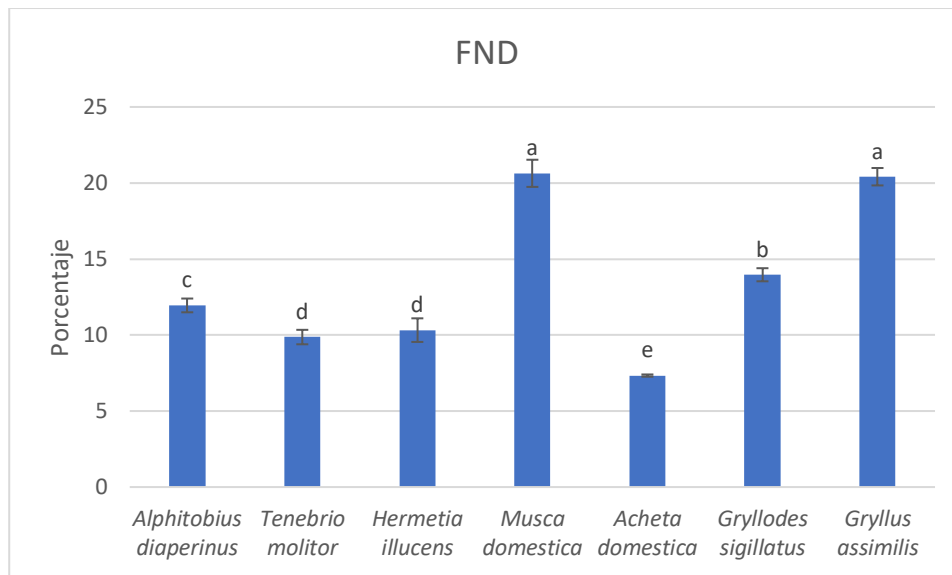


Figura 17: Contenido en FND (fibra neutro detergente) de los diferentes insectos analizados. (Diferentes letras indican diferencias significativas) (siendo $n=3$ para cada uno de los insectos; $p=0,0042$)

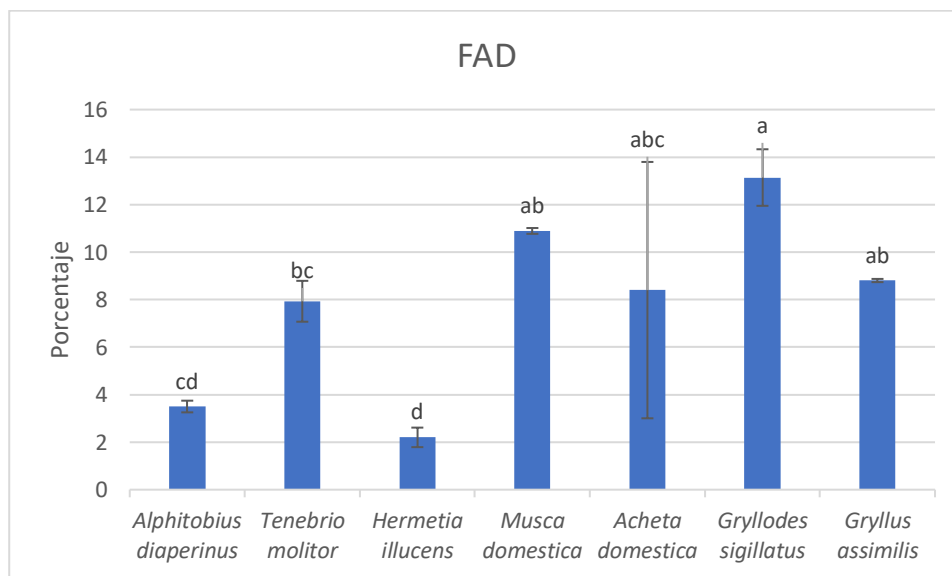


Figura 18: Contenido en FAD (fibra ácida detergente) de los diferentes insectos analizados. (Diferentes letras indican diferencias significativas) (siendo $n=3$ para cada uno de los insectos; $p=0,0042$)

4.1.4. Cenizas

Haciendo referencia a los datos obtenidos de los análisis de las cenizas, en la figura 19, se observan que todos los valores son relativamente similares en el insecto entero menos los obtenidos con *Hermetia illucens* que fue uno de los insectos ligeramente más elevado, que además presentaba diferencias significativas con el resto de insectos. Los insectos presentan diferencias significativas ($p=0,0034$)

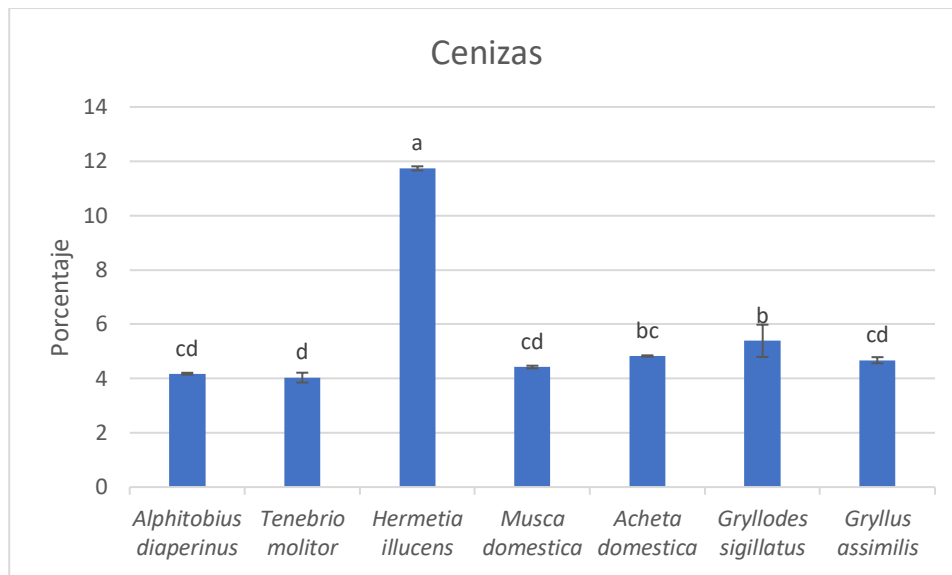


Figura 19: Contenido de ceniza de los diferentes insectos analizados. (Diferentes letras indican diferencias significativas) (siendo $n= 3$ para cada uno de los insectos; $p=0,0034$)

Con objeto de obtener una visión global de todos los parámetros analizados anteriormente, hemos considerado interesante reunir todos los resultados en la tabla 4.

El valor proteico mayor lo obtuvo *Alphitobius diaperinus* presentando diferencias estadísticas con el resto de los valores ($p=0,0039$), mientras que el menor valor lo obtuvo el *Tenebrio molitor*. En relación con el contenido lipídico, se volvieron a obtener diferencias significativas ($p=0,0053$), siendo lo insectos con mayor valor en igualdad: *Hermetia illucens* y *Grylloides sigillatus* y menor valor: *Acheta domestica*. Del mismo modo, también se presentan diferencias estadísticas ($p=0,0042$) en la FND, con representación de los insectos con mayor y menor valor: *Musca domestica* y *Acheta domestica*, respectivamente. Similarmente, con la FAD que también presenta diferencias entre los valores, *Grylloides sigillatus* presenta mayor valor en torno a 13% mientras que con un 2,2% se encuentra la *Hermetia illucens*. Para finalizar y volviendo a presentar diferencias significativas ($p=0,0034$), se encuentra el análisis de las cenizas, donde *Hermetia illucens* presentó el valor más alto, mientras que el menor lo presentó *Tenebrio molitor*.

Tabla 4 Valor de los parámetros nutricionales (media \pm desviación estándar) de las harinas de los insectos enteros estudiados

	Proteína	Grasa	FND	FAD	Cenizas`
A.D.	62,87 ^a \pm 0,23	19,92 ^c \pm 0,14	11,95 ^c \pm 0,45	3,50 ^{cd} \pm 0,25	4,17 ^{cd} \pm 0,04
T.M.	33,81 ^e \pm 0,44	21,00 ^c \pm 0,33	9,87 ^d \pm 0,48	7,93 ^{bc} \pm 0,86	4,03 ^d \pm 0,18
H.I.	34,16 ^e \pm 0,47	34,09 ^a \pm 0,75	10,32 ^d \pm 0,78	2,20 ^d \pm 0,41	11,74 ^a \pm 0,08
M.D.	49,62 ^b \pm 0,97	33,31 ^a \pm 1,10	20,64 ^a \pm 0,89	10,89 ^a \pm 0,12	4,42 ^{cd} \pm 0,05
Ach.D.	47,30 ^c \pm 0,87	15,65 ^d \pm 0,22	7,33 ^e \pm 0,07	8,40 ^{ab} \pm 5,40	4,83 ^{bc} \pm 0,03
G.S.	43,79 ^d \pm 0,54	34,09 ^a \pm 0,75	13,97 ^b \pm 0,43	13,14 ^a \pm 1,19	5,39 ^b \pm 0,59
G.A.	51,22 ^b \pm 1,27	28,39 ^c \pm 0,76	20,41 ^a \pm 0,57	8,80 ^{ab} \pm 0,07	4,67 ^{cd} \pm 0,11

A.D.: *Alphitobius diaperinus*; T.M.: *Tenebrio molitor*; H.I.: *Hermetia illucens*; M.D.: *Musca domestica*; Ach.D.: *Acheta domestica*; G.S.: *Gryllodes sigillatus*; G.A.: *Gryllus assimilis*.

4.2. Valor nutritivo de las fracciones (exoesqueleto y pulpa) de los insectos

4.2.1. Rendimientos en el fraccionamiento de los insectos

Como paso previo a su análisis nutritivo, se ha valorado el rendimiento con el prensado mecánico, respecto al peso inicial fresco del pulpa y exoesqueleto (tabla 5)

Tabla 5 Comparativa entre peso inicial fresco de los insectos con el peso tanto de la pulpa como del exoesqueleto

Insecto	Peso (g)	Peso pulpa (g)	pulpa (%)	Peso exoesqueleto (g)	Exoesqueleto (%)
A.D.	388	219	51,16	168	48,33
T.M.	308	188	61,26	120	38,73
H.I.	484	377	77,89	107	22,10
M.D.	399	343	82,85	53	17,14
Ach.D.	354	146	41,09	208	58,90
G.S.	342	158	46,22	184	53,77
G.A.	401	344	82,89	53	17,10

A.D.: *Alphitobius diaperinus*; T.M.: *Tenebrio molitor*; H.I.: *Hermetia illucens*; M.D.: *Musca domestica*; Ach.D.: *Acheta domestica*; G.S.: *Gryllodes sigillatus*; G.A.: *Gryllus assimilis*.

Como puede observarse, en la tabla 5, las especies con mayor separación son la *Musca domestica* y el *Gryllus assimilis* ya que los porcentajes de pulpa y exoesqueleto son muy desparejos. Sin embargo, otras especies, como, por ejemplo, *Alphitobius diaperinus* y *Acheta domestica* tienen un porcentaje de pulpa y de exoesqueleto muy parecido. Resumiendo, el insecto con mayor porcentaje de separación en la fracción de exoesqueleto ha sido *Acheta domestica*, mientras que en la fracción de pulpa fue G.A, seguido por M.D. Como es de esperar los insectos con mayor cantidad de pulpa presentaron menos exoesqueleto y viceversa.

Tabla 6 Estimación de la proteína de cada fracción de insecto (a partir de 100 g de insecto)

Insecto	Pulpa (gr)	Proteína de la pulpa (%)	Proteína de la pulpa (g)	Exoesqueleto (gr)	Proteína del exoesqueleto (%)	Proteína del exoesqueleto (gr)
A.D.	51,16	59,05	30,20	48,33	65,52	31,66
T.M.	61,26	13,64	8,35	38,73	63,02	24,40
H.I.	77,89	38,55	30,02	22,1	29,98	6,62
M.D.	82,85	48,05	39,80	17,14	61,41	10,52
Ach.D.	41,09	18,23	7,49	58,9	76,35	44,97
G.S.	46,22	14,28	6,60	53,77	58,55	31,48
G.A.	82,89	6,82	5,65	17,1	67,84	11,60

A.D.: *Alphitobius diaperinus*; T.M.: *Tenebrio molitor*; H.I.: *Hermetia illucens*; M.D.: *Musca domestica*; Ach.D.: *Acheta domestica*; G.S.: *Grylodes sigillatus*; G.A.: *Gryllus assimilis*.

Según la figura 6, en la que se relaciona el peso de la pulpa y del exoesqueleto con respecto a la proteína que se obtiene de cada fracción de cada uno de los insectos, se tiene que la mayoría de los insectos tienen un mayor peso de exoesqueleto y por consiguiente también tienen un mayor contenido proteico en el mismo con respecto a la pulpa, cabe destacar que no es el caso de los insectos H.I. y M.D.

4.2.2. Comparación del valor nutritivo de los insectos enteros con sus fracciones, exoesqueleto y pulpa

Al comparar el valor nutritivo de la larva entera del coleóptero *Alphitobius diaperinus* con sus fracciones (figura 20), se puede observar que existen diferencias significativas en todos los parámetros analizados. Conteniendo el exoesqueleto la mayor proporción de PB (Proteína Bruta), seguido del insecto entero, y por último la pulpa. Sorprendentemente, es también el exoesqueleto el que tiene mayor contenido en grasa, muy superior a la pulpa. Y como cabría esperar los mayores porcentajes en fibra (tanto FND como FAD) están en el exoesqueleto. Respecto a las cenizas llama la atención que la pulpa presente valores mayores que el exoesqueleto. Para terminar con la descripción de esta figura, podemos deducir que la mayor parte de la fracción de exoesqueleto está compuesta por PB, GB y FND, al igual que la fracción de insecto entero. Mientras que el hemocele su mayor parte es PB, GB y cenizas.

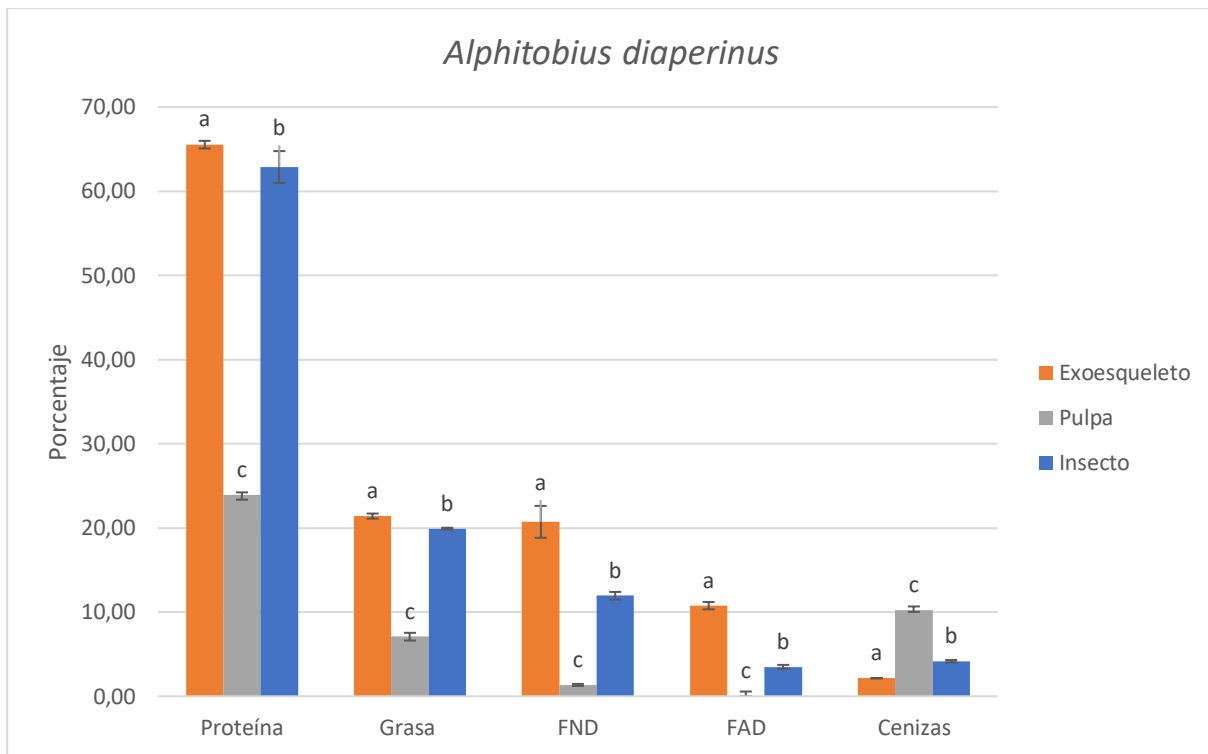


Figura 20: Comparación del valor nutritivo de la larva entera de *Alphitobius diaperinus*, con relación a sus fracciones (exoesqueleto y pulpa). (Diferentes letras indican diferencias significativas) (siendo $n=3$ para cada uno de los insectos)

En relación a la figura 21, de la comparación de *Tenebrio molitor*, el valor mayor para la PB se obtiene para el exoesqueleto seguido del insecto entero, presentando diferencias significativas, mientras la grasa no muestra diferencias significativas ni entre fracciones ni con el insecto entero. En la FND, el exoesqueleto presenta diferencias con el resto de fracciones. La FAD presenta diferencias significativas entre sus fracciones, siendo el valor de hemocele nulo. Con respecto a las cenizas se tienen diferencias entre el insecto y el exoesqueleto y hemocele, mientras que entre estos últimos no. En resumen, observamos que el exoesqueleto en su mayoría es PB y FND. El hemocele es PB, GB y cenizas y la fracción de insecto entero es PB, GB y FND.

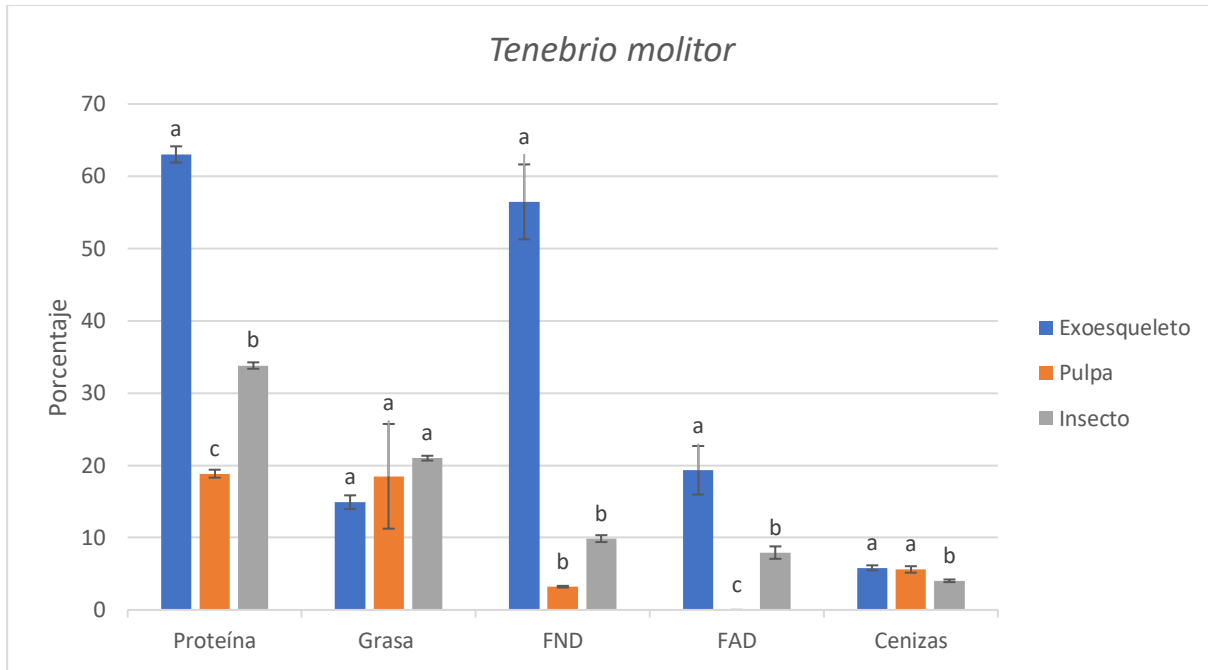


Figura 21: Comparación del valor nutritivo de la larva entera de *Tenebrio molitor*, con relación a sus fracciones (exoesqueleto y pulpa). (Diferentes letras indican diferencias significativas). (siendo $n= 3$ para cada uno de los insectos)

En la siguiente figura (figura 22), se representan los valores de composición proximal de la *Hermetia illucens*, y las diferentes fracciones. Para comenzar la proteína presenta diferencias estadísticas entre el exoesqueleto y el hemocele, pero no con el insecto. Las grasas también presentan diferencias, teniendo un valor superior el hemocele. Con respecto a la FND, el valor de hemocele es casi nulo y se presentan diferencias. FAD, el valor en este caso del hemocele es nulo ya que no se presenta fibra ácida detergente, entre sus tres fracciones se presentan diferencias estadísticas. Las cenizas vuelven a presentar estas diferencias siendo el exoesqueleto el que tiene un leve valor superior. Haciendo referencia a la composición de la fracción de exoesqueleto, se ve compuesta por FND, PB y GB. Con respecto al hemocele su mayoría es GB y PB, mientras que en el insecto es PB, GB y cenizas.

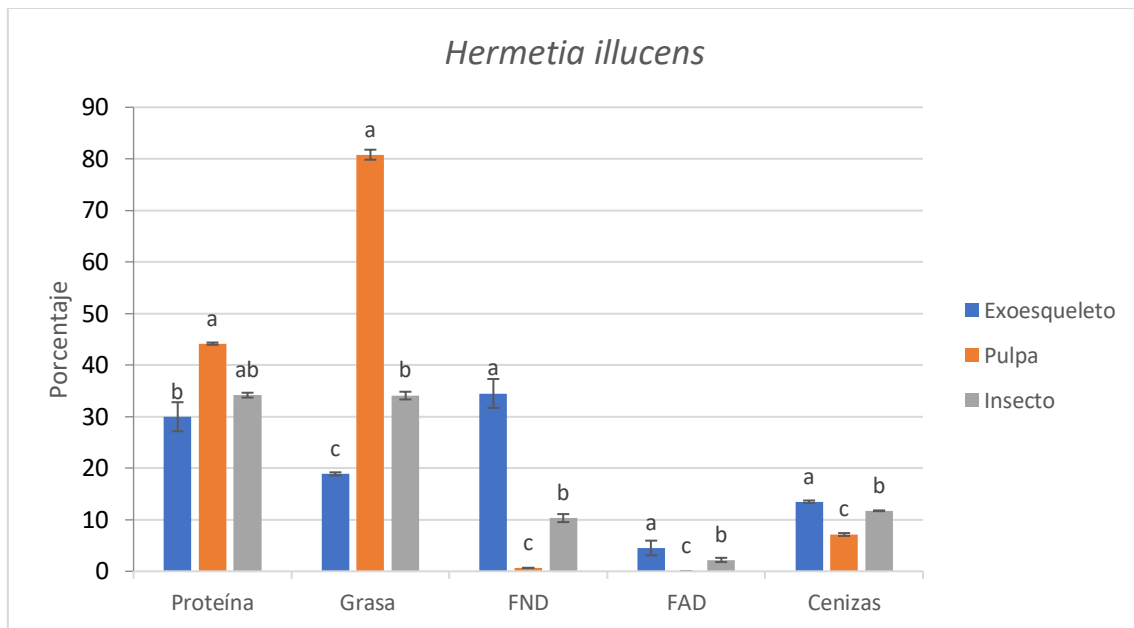


Figura 22: Comparación del valor nutritivo de la larva entera de *Hermetia illucens*, con relación a sus fracciones (exoesqueleto y pulpa). (Diferentes letras indican diferencias significativas). (siendo $n=3$ para cada uno de los insectos)

Al comparar el valor nutritivo de la larva entera del díptero, *Musca domestica*, (figura 23) se obtienen unos resultados tales como, con respecto a las proteínas no se presentan diferencias entre el hemocele y el insecto, mientras que estas fracciones con el exoesqueleto sí. El porcentaje en grasa presenta diferencias significativas entre sus tres fracciones, siendo el más graso el insecto entero, y ligeramente inferior el hemocele. La FND presenta diferencias significativas, teniendo el exoesqueleto un valor muy superior al resto de las fracciones, el hemocele presenta un valor bajo. Con relación a la FAD, como viene siendo observada en anteriores figuras, el hemocele no recoge valores para la fibra ácida detergente, mientras que para el exoesqueleto son elevadas, y presentan diferencias significativas entre las fracciones. Con respecto a las cenizas, el insecto y el hemocele no presentan diferencias entre sí, pero con el exoesqueleto sí las presentan.

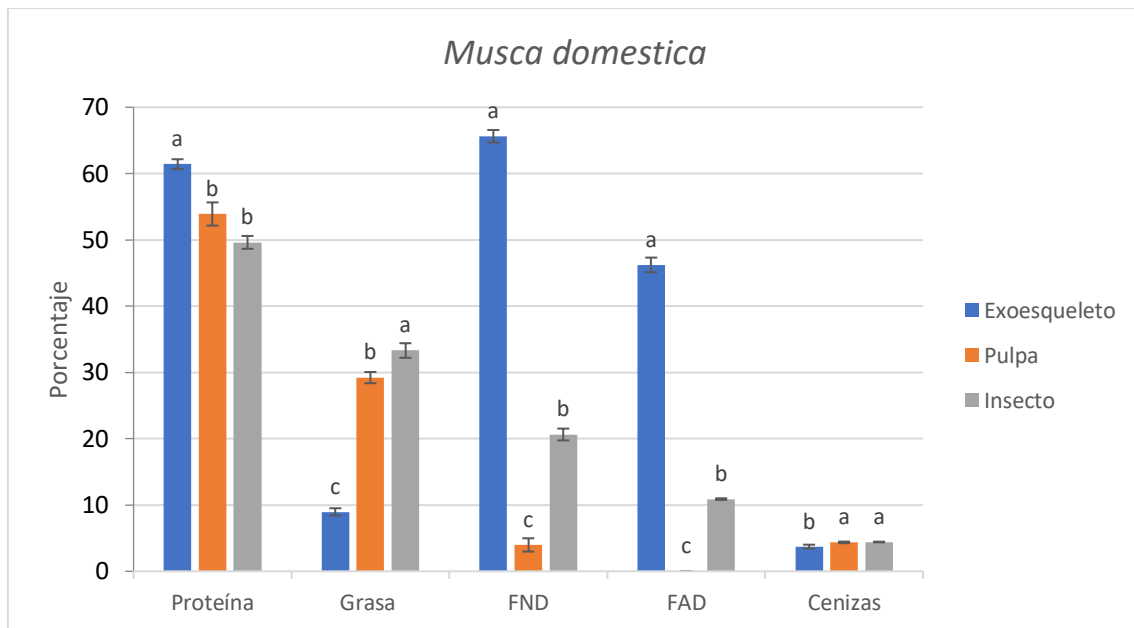


Figura 23: Comparación del valor nutritivo de la larva entera de *Musca domestica*, con relación a sus fracciones (exoesqueleto y pulpa). (Diferentes letras indican diferencias significativas). (siendo $n=3$ para cada uno de los insectos)

Como se puede observar en la figura 24, en *Acheta domestica* se presentan diferencias estadísticas entre el insecto entero y las fracciones realizadas. Se observa que el mayor valor recogido en PB es en el exoesqueleto, presentando diferencias significativas entre las fracciones. En las grasas se vuelven a presentar diferencias significativas, teniendo un mayor valor graso el hemocele. Con respecto a la FND, también se presentan diferencias significativas entre los tres fragmentos. La FAD vuelve a presentar un valor nulo para el hemocele, presentando diferencias entre las fracciones. Las cenizas también presentan diferencias estadísticas. La fracción de exoesqueleto está compuesto en su mayoría de PB, FND y como consecuencia FAD. El hemocele es PB, Gb y FND. La fracción de insecto está compuesto por PB, GB y FND.

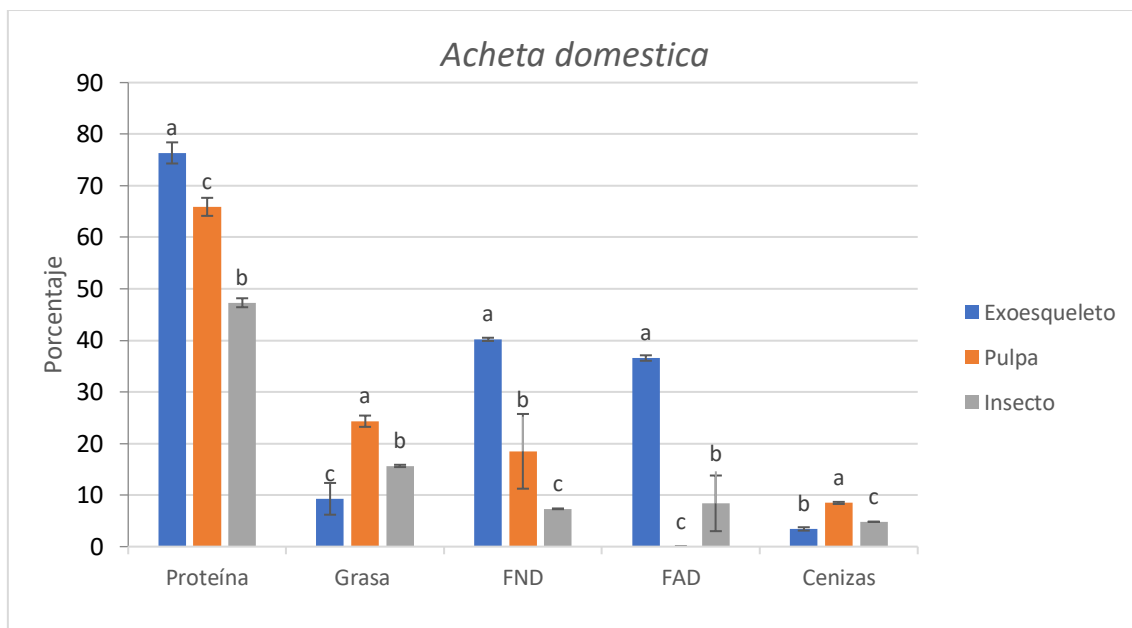


Figura 24: Comparación del valor nutritivo de la larva entera de *Acheta domestica*, con relación a sus fracciones (exoesqueleto y pulpa). (Diferentes letras indican diferencias significativas). (siendo n= 3 para cada uno de los insectos)

En la siguiente figura (figura 25) se presentan diferencias estadísticas entre las fracciones de *Grylloides sigillatus*. En el exoesqueleto el mayor valor se obtiene en PB, mientras que el menor valor al igual que en la figura anterior, se obtiene en cenizas, seguido de las grasas. En la pulpa se encuentra un gran contenido graso con respecto a los demás análisis realizados, mientras que como hemos comentado en todos los anteriores insectos el valor de FAD, vuelve a ser nulo. Con respecto al insecto entero, el mayor valor lo obtiene la PB, seguido por la grasa y como menor valor las cenizas, en valores medios se encuentran ambas fibras (FND y FAD). Con respecto a la composición de cada una de las fracciones, se tiene que el exoesqueleto tiene en su mayoría PB, FND y FAD. La fracción de insecto entero está compuesto por PB, GB y FND. Mientras que la fracción de hemocele está compuesta por PB, Gb y cenizas.

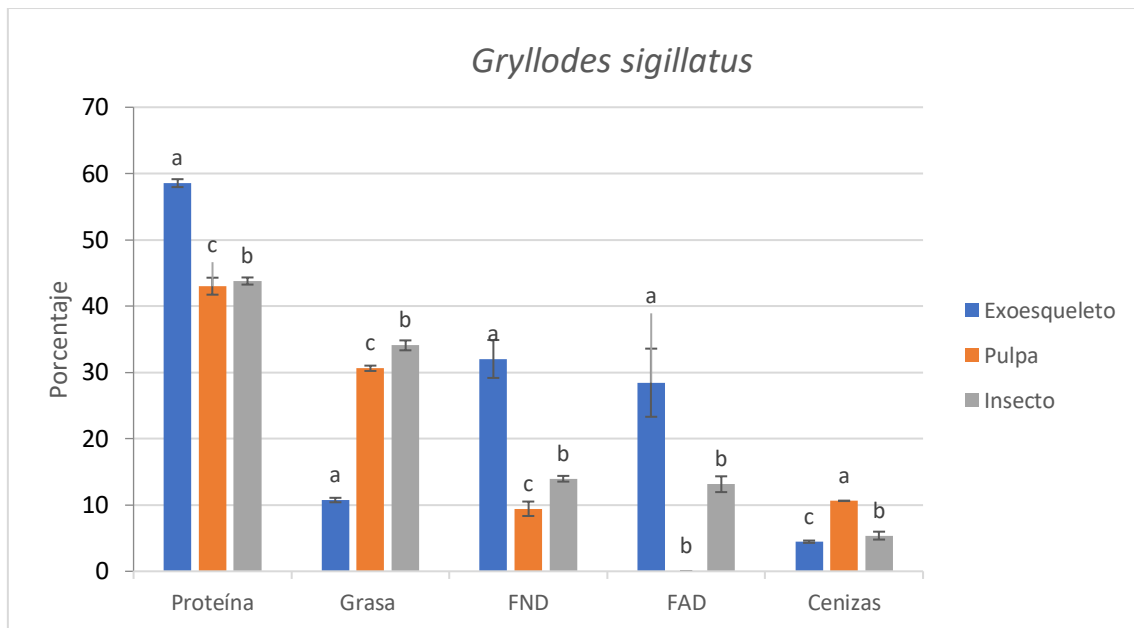


Figura 25: Comparación del valor nutritivo de la larva entera de *Grylloides sigillatus*, con relación a sus fracciones (exoesqueleto y pulpa). (Diferentes letras indican diferencias significativas). (siendo $n= 3$ para cada uno de los insectos)

Al comparar el valor nutritivo de la ninfa entera del ortóptero, *Gryllus assimilis*, y sus fracciones (figura 26), el valor de PB presenta diferencias entre el insecto entero y el exoesqueleto y la pulpa. Los valores relativos a la PB son elevados al igual que pasa con otros insectos, en el exoesqueleto, mientras que en relación a la pulpa se presentan bajos, el término medio se representa en el insecto entero. Las grasas por el contrario son el mayor valor de la pulpa, siendo casi en su totalidad grasa ya que los demás análisis se muestran en relación muy bajos, presentando diferencias significativas. En la FND, la fracción de exoesqueleto y el insecto entero no presenta diferencias, pero con la pulpa sí. Tampoco se encuentran valores de FAD en la pulpa, presentando diferencias significativas.

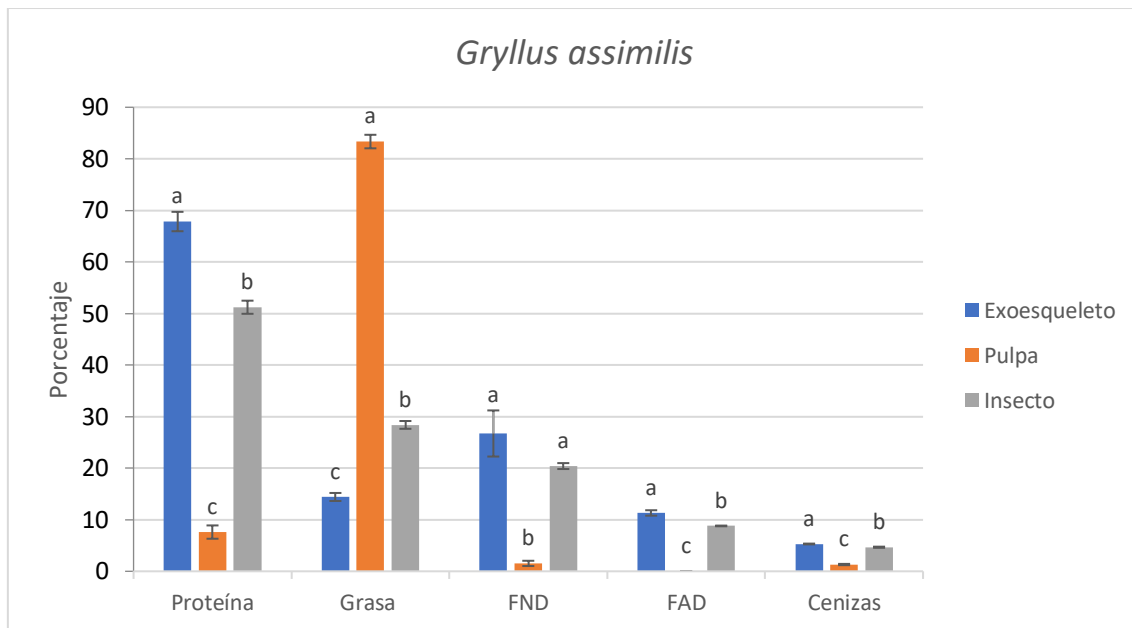


Figura 26: Comparación del valor nutritivo de la larva entera de *Gryllus assimilis*, con relación a sus fracciones (exoesqueleto y pulpa). (Diferentes letras indican diferencias significativas). (siendo $n=3$ para cada uno de los insectos)

4.2.3. Comparación del valor nutritivo del exoesqueleto entre los diferentes insectos

Por último, se ha considerado de interés comparar el valor nutritivo de las fracciones obtenidas con el prensado entre las diferentes especies de insectos. En este apartado se comparará la composición de los exoesqueletos de los diferentes insectos analizados, y en el siguiente apartado se analizará la composición de la pulpa.

4.2.3.1. Proteína bruta

En la figura 27, se representa los valores obtenidos por el exoesqueleto en el análisis de proteína de los diferentes insectos. Como vemos se presentan diferencias estadísticas entre las especies ($p=0,0051$), entre las que destaca el valor de *Acheta domestica* (76,35%), por ser el mayor presentando, mientras que el menor valor se obtuvo en *Hermetia* (29,98%). El resto de especies están alrededor de 60% de PB.

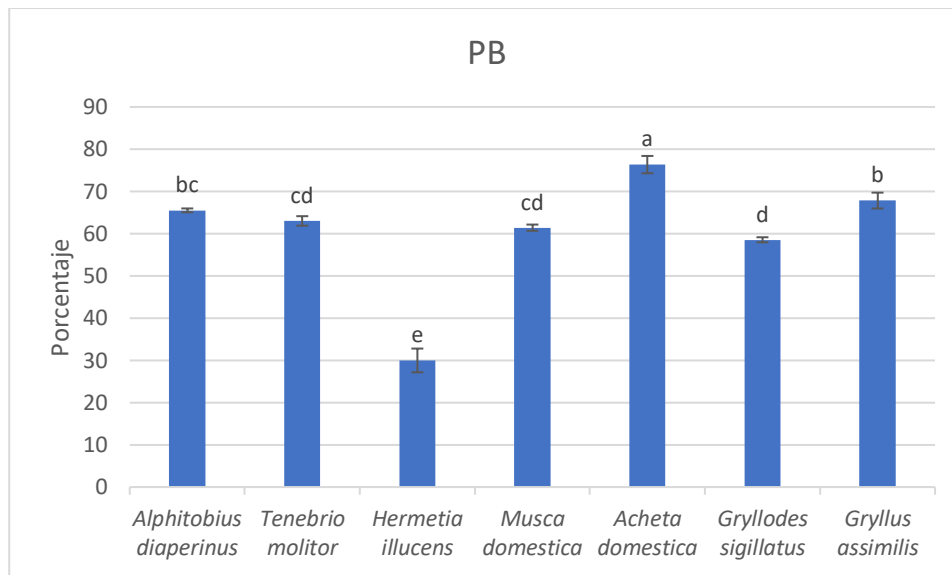


Figura 27: Contenido en proteína bruta (PB) en los exoesqueletos de los diferentes insectos analizados. (Diferentes letras indican diferencias significativas) (siendo $n= 3$ para cada uno de los insectos)

4.2.3.1. Grasa bruta

Respecto al análisis graso del exoesqueleto (figura 28) de los diferentes insectos, se presentan diferencias significativas ($p=0,0052$) entre el *Alphitobius diaperinus* (21,40 %) y *Hermetia illucens* (18,90%), con los valores mayores, y con los menores en *Musca* (8,97%), *Acheta domestica* (9,27%) y *Grylloides sigillatus* (10,75%). Se puede afirmar que estas últimas especies no presentan demasiado contenido de grasa en el exoesqueleto, en comparación con los demás insectos. Los valores intermedios los presentan el grillo bicolor y el *Tenebrio* (14,425 y 14,91%, respectivamente)

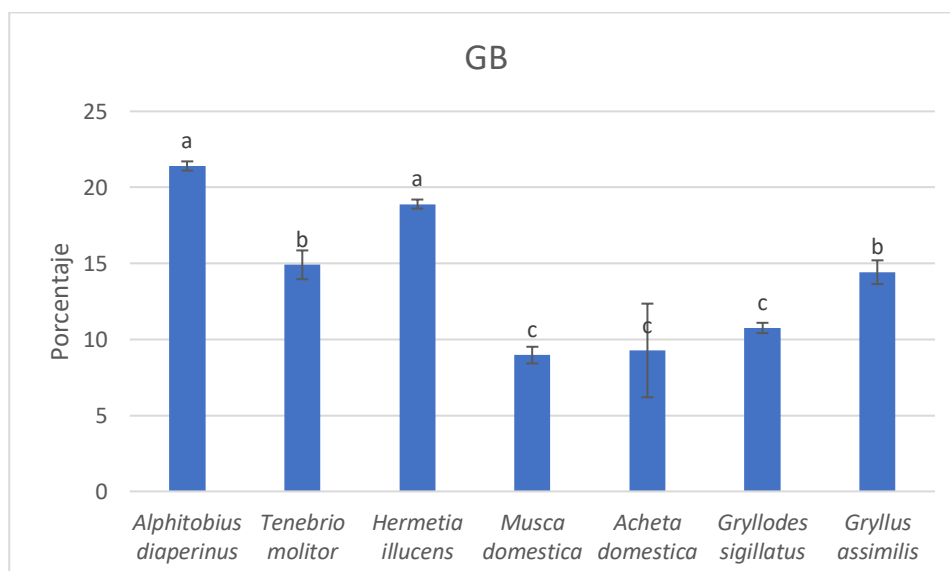


Figura 28: Contenido en grasa bruta (GB) en los exoesqueletos de los diferentes insectos analizados. (Diferentes letras indican diferencias significativas) (siendo $n= 3$ para cada uno de los insectos)

4.2.3.2. Fibra (FND y FAD)

En las figuras 29 y 30, se representan el contenido en FND y FAD, y en ambas existen diferencias estadísticas ($p= 0,0047$ y $p= 0,004$ respectivamente). Entre las cuales, el porcentaje de FND y FAD de fracción de exoesqueleto de *Musca domestica* obtuvo unos valores superiores (65,63% en la FND y 46,22% en la FAD) al resto de fracciones mientras que el menor valor en FND lo obtuvo al *Alphitobius* (20,72%) y el menor valor de FAD lo obtuvo la *Hermetia illucens* (4,53%).

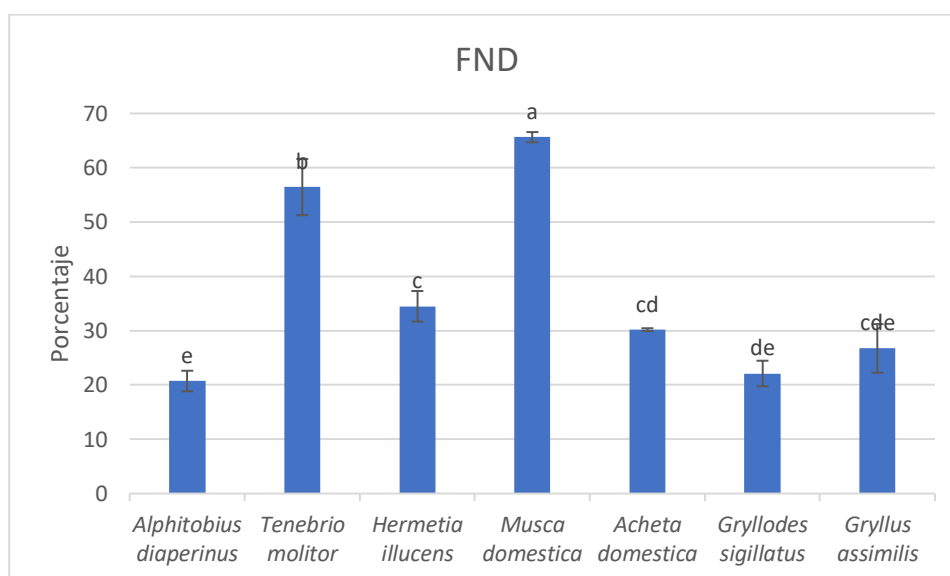


Figura 29: Contenido en fibra neutro detergente (FND) en los exoesqueletos de los diferentes insectos analizados. (Diferentes letras indican diferencias significativas) (siendo $n= 3$ para cada uno de los insectos)

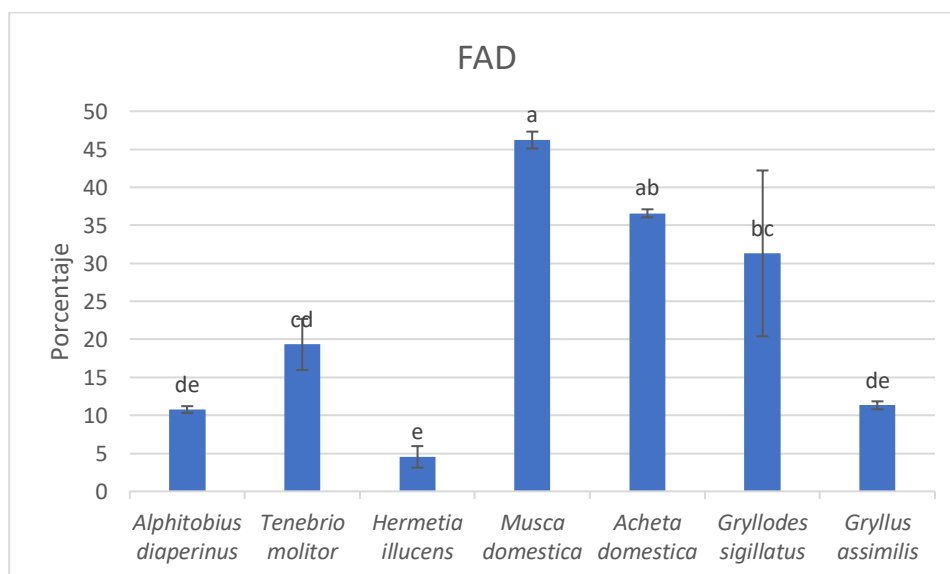


Figura 30: Contenido en fibra ácida detergente (FAD) en los exoesqueletos de los diferentes insectos analizados. (Diferentes letras indican diferencias significativas) (siendo $n= 3$ para cada uno de los insectos)

Haciendo una comparativa entre la FND y FAD (figuras 29 y 30, respectivamente), se observa que la composición de FND y FAD es proporcional en los insectos estudiados.

4.2.3.4 Cenizas

Con un análisis previo de este valor, se podría llegar a la conclusión de que el exoesqueleto de los insectos haría que se alcanzasen valores bajos de cenizas. El exoesqueleto se trata del recubrimiento del cuerpo de los insectos y de los artrópodos, y está formado por una sucesión de capas: la epidermis (que se trata de una unicapa celular), la membrana basal y la cutícula (formada por quitina, antropodina, esclerotina, cera y melanina) (Merzendorfer y Zimoh, (2003)). En la figura posterior (figura 31), se representa los valores obtenidos por el exoesqueleto en el análisis de ceniza de los diferentes insectos. Como se observa, con gran diferencia obtuvo mayor valor la *Hermetia illucens* (13,48%) y menor valor al *Alphitobius diaperinus* (2,15%), presentando diferencias entre ellos. El resto de especies se encuentran en un rango entre 3,44% y 5,82%.

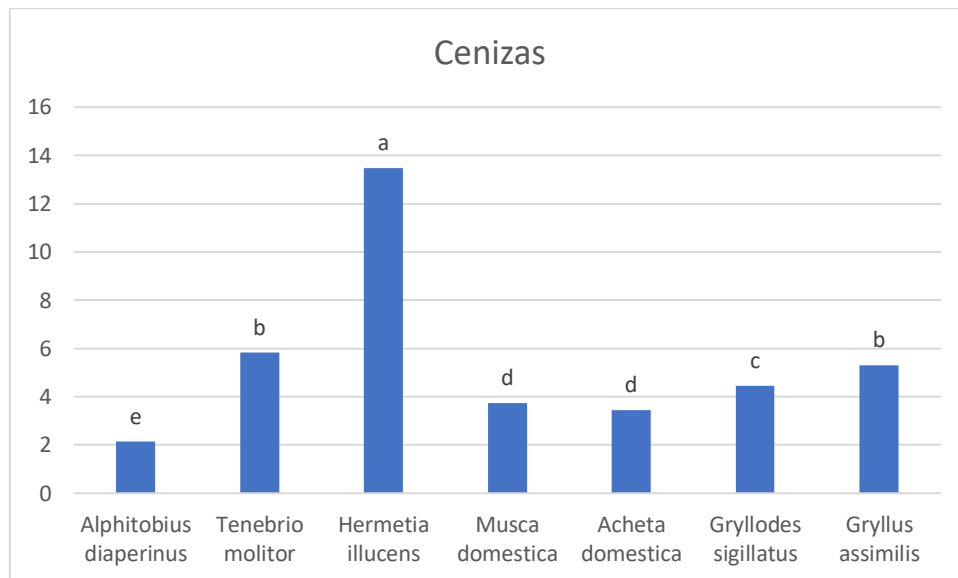


Figura 31: Contenido de cenizas en los exoesqueletos de los diferentes insectos analizados. (Diferentes letras indican diferencias significativas) (siendo $n=3$ para cada uno de los insectos)

4.2.4. Comparación del valor nutritivo de la pulpa entre los diferentes insectos

4.2.4.1. Proteína bruta

En la figura 32, se representa los valores obtenidos por la pulpa en el análisis de PB de los diferentes insectos. Como vemos se presentan diferencias estadísticas ($P=0,0036$) entre las especies, entre las que destaca el valor de *Alphitobius* (59,05%), mientras que el menor valor lo obtiene el *Gryllus assimilis* (6,82%). El resto de especies se encuentran en un rango de entre 13,64% y 48,05%.

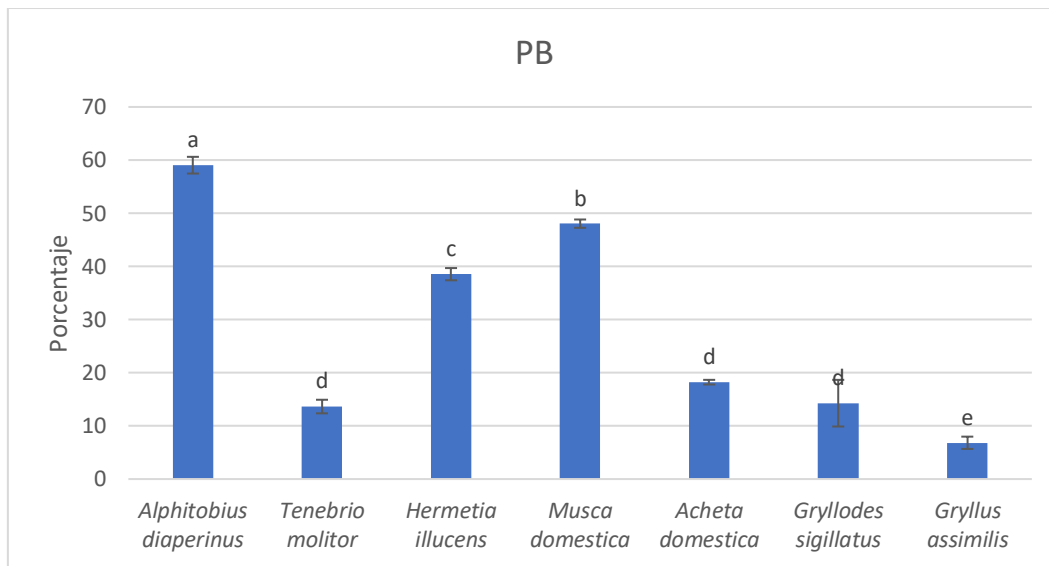


Figura 32: Contenido de PB en las pulpas de los diferentes insectos analizados. (Diferentes letras indican diferencias significativas) (siendo $n= 3$ para cada uno de los insectos)

4.2.4.2. Grasa bruta

En la figura 33, Se presentan diferencias estadísticas ($p=0,0036$) entre los insectos, siendo la *Hermetia* y el *Gryllus* los más grasos (80,80% y 83,35%, respectivamente). El menor índice graso lo presenta el *Alphitobius diaperinus* (7,08%)

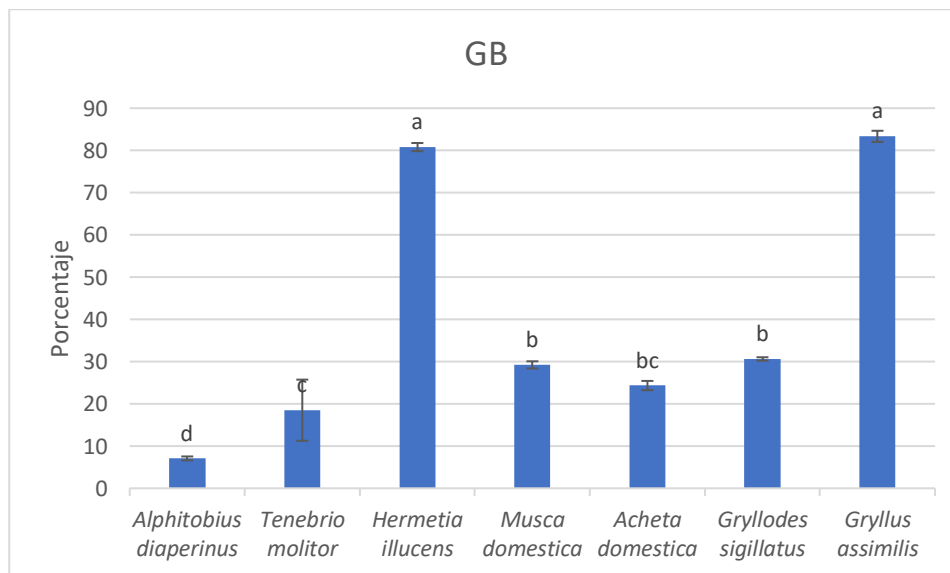


Figura 33: Contenido de GB en las pulpas de los diferentes insectos analizados. (Diferentes letras indican diferencias significativas) (siendo $n= 3$ para cada uno de los insectos)

4.2.4.2. Fibra neutra y ácida detergente (FND y FAD)

En la figura posterior (figura 34), la pulpa de *Hermetia illucens* presenta valores bajos de FND, (no presentando diferencias con *G. Assimilis* y *A. Diaperinus*), en torno a 0,5%

mientras que la *Acheta domestica* se encuentra en torno a los 18,50 %. Se presentan diferencias significativas entre los insectos *Acheta* y el *Grylloides* ($p= 0,0042$)

Respecto a la FAD no se ha detectado en la pulpa de ninguno de los insectos, como cabría esperar.

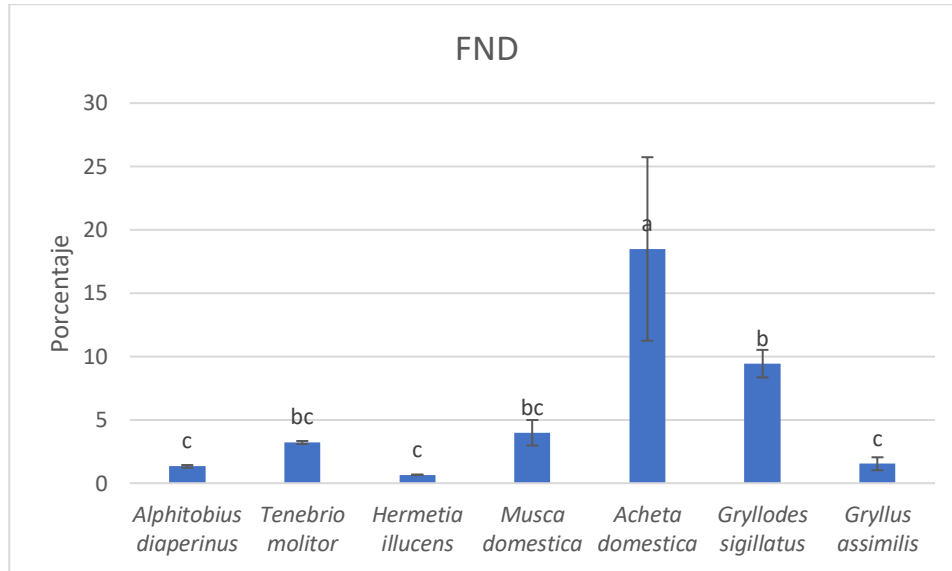


Figura 34: Contenido de fibra neutro detergente (FND) en las pulpas de los diferentes insectos analizados. (Diferentes letras indican diferencias significativas) (siendo $n= 3$ para cada uno de los insectos)

4.2.4.3. Cenizas

En la figura 35, se representa los valores obtenidos por la pulpa en el análisis de ceniza de los diferentes insectos. Los valores más altos de cenizas los recoge el *Grylloides sigillatus* (10,63%), junto con *A. Diaperinus*, y el de menor valor con 1,3 % es el *Gryllus assimilis*. El coleóptero *Alphitobius* tiene valores similares al ortóptero *Grylloides* no presentando diferencias significativas entre ambos, mientras que con el resto de insectos si las presentan ($p=0,0032$).

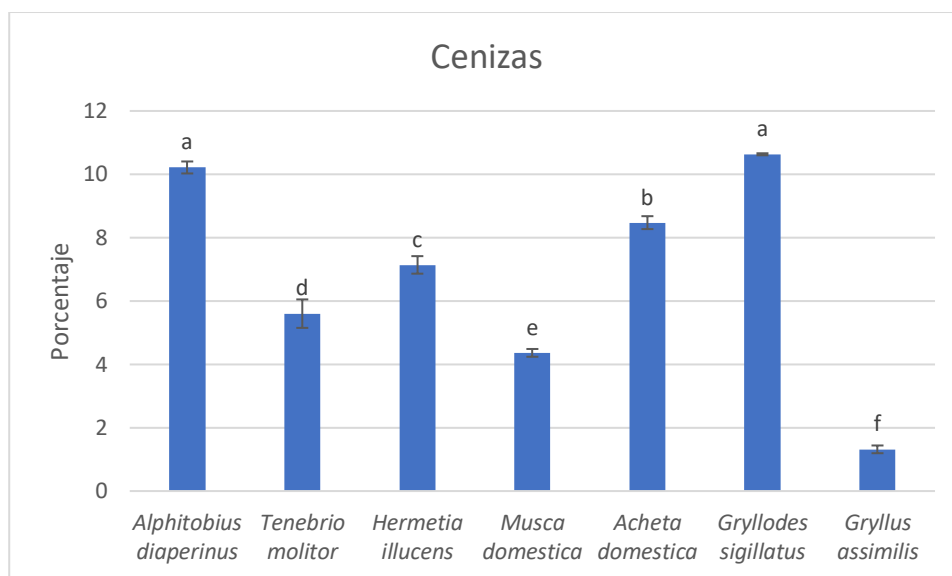


Figura 35: Contenido de cenizas en las pulpas de los diferentes insectos analizados. (Diferentes letras indican diferencias significativas) (siendo $n=3$ para cada uno de los insectos)

5. DISCUSIÓN

La idea de utilizar el insecto en la alimentación ha sido aceptada, sin embargo, es necesario aumentar el conocimiento de las propiedades nutricionales de la fuente para hacer un uso real en la alimentación.

En este experimento, hemos estudiado las siete especies de insectos aprobados por la UE como “nuevo alimento”, *Hermetia illucens* (mosca soldado negra), *Tenebrio Molitor* (gusano de la harina), *Gryllus assimilis* (grillo bicolor), *Musca domestica* (mosca común), *Alphitobius diaperinus* (escarabajo de la cama), *Acheta domesticus* (grillo doméstico) y *Grylloides sigillatus* (grillo rayado), tanto como insecto entero, como en sus fracciones (exoesqueleto y pulpa), obtenidas tras un prensado mecánico.

Uno de los componentes más importantes de un alimento es su contenido proteico. La mayoría de las especies de insectos analizadas tienen una alta proporción de proteína, similar a los niveles de la harina de soja (en torno al 45%) pero inferior a la harina de pescado (aproximadamente el 65%) (tabla 7). Si comparamos nuestros resultados con otros trabajos previos (tabla 10) obtenemos que el valor de PB obtenido para larvas de *Musca domestica* en nuestro estudio (49,63%) es similar a lo indicado por Ogunji et al. (2008) (47,1%), mientras que otros autores han obtenido resultados más diversos, entre ellos 37,5% (Aniebo y Owen, 2010) y 56,8% (Bernard et al., 1997). El porcentaje de PB obtenido en larvas de *Hermetia illucens* (34,2%) es muy próximo al obtenido por Sheppard (2002) (37,8%) y Arango et al. (2004) (37%), también es ligeramente inferior al valor de 40,6% descrito por Newton et al. (1977) junto al valor de 49% estudiado por Bukkens (1997) y Ramos-Elorduy et al., (1998), tal y como aparece recogida en la tabla 10. El porcentaje de PB que han obtenido Adámková et al. (2016) respecto a *Alphitobius diaperinus* es de 60%, mientras que en este estudio se ha obtenido un valor similar siendo 62,4%, Roncolini, A., 2020 (tabla 10) obtuvo un valor inferior (58,40%). En larvas de *Tenebrio molitor* la PB observada fue de 33,8%, estos valores de *Tenebrio* son ligeramente inferiores a los observados por otros autores: entre un 47 y un 53% para *Tenebrio molitor* (Bernard et al., 1997; Finke, 2002; 2007; Ramos-Elorduy et al., 2006). Con relación a las especies de ortópteros, en general, hemos obtenido unos niveles proteicos algo inferiores a los observados por otros investigadores (tabla 10). Así, para *Acheta domesticus* se ha obtenido un valor de 47,30%, inferior al valor obtenido por Makkar et al. (2014) de 63,3%, e inferior al obtenido por Pérez, I, (2018) de 67,49% recogido en la tabla 10. Según investigaciones de Soares-Araújo et al. (2018); Adámkova et al. (2017); Bednářová et al. (2013) y Jayanegara et al. (2017), el valor de proteína bruta obtenido por *Gryllus assimilis* es de 65,52%, 56%, 59,23% y 54,1% y en nuestro caso hemos obtenido un valor un poco inferior de 51,2%, además recogido en la tabla 10, se encuentra el valor obtenido por Machado R. et al., (2019) de 65,52%. Respecto a *Grylloides sigillatus* Logan et al., (2020) y Zielinska et al., (2015) obtuvieron un valor de 67,7% y 70%, respectivamente de proteína bruta, al igual que el valor representado en la tabla 10 de Hall. F. (2017) de 65,70% mientras que en este análisis se ha obtenido un valor bastante menor (43,8%).

Tabla 7: Comparación de contenido proteico de harina de pescado y harina de soja

	FEDNA (España)	INRA (Francia)	NRC (EEUU)
Harina de pescado	59,0 – 70	62,6 – 69,9	63,3
Harina de soja	48,5	47,2	47,7

* FEDNA: Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal; INRA: Institut national de la recherche agronomique; NRC: Nuclear Regulatory Commission.

Todo lo anterior refleja uno de los mayores problemas a la hora de utilizar a la harina de insectos como ingrediente alimentario, y es la difícil estandarización de estos ingredientes. Los resultados son muy variables incluso para una misma especie. Las diferencias mostradas entre autores, pueden deberse a la fase de desarrollo del insecto, variaciones en los hábitos alimentarios entre poblaciones, el método de procesamiento o diferencias en ecotipos (Fasakin et al., 2003; Tegui y Beynen, 2005; Banjo et al., 2006), y esto dificulta sacar conclusiones sólidas relacionadas con las diferencias entre órdenes.

Por otro lado, un problema adicional para la determinación de proteína en insectos es el nitrógeno contenido en el polímero de quitina, indigestible, y, por tanto, no biodisponible (Finke et al., 1989). Aunque Finke (2002) sugirió que la cantidad de nitrógeno contenida en la quitina era relativamente pequeña y, posteriormente, este mismo autor (Finke, 2007) afirmó que la relación de conversión estándar de 6,25 entre nitrógeno y proteína era adecuada para la PB de los insectos. Sin embargo, hoy día, la mayoría de los investigadores coinciden con lo apuntado por Janssen et al. (2017), que estiman que el contenido de nitrógeno de las moléculas de quitina podría provocar una sobreestimación de la proteína. Por ello, estos autores indicaban que para las larvas de *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus* y *Hermetia illucens* se debía utilizar una relación de conversión específico de 4,76, y de 5,60 para el nitrógeno extraído. En nuestro caso, tal y como hemos expuesto en material y métodos, sólo se ha empleado el índice de conversión de 6,25 para las pulpas, ya que es un material, prácticamente libre, de quitina.

En nuestro estudio, las larvas de coleópteros tienen una gran cantidad de grasa, muchas veces superando el 25%, en este caso la grasa que se registró para *Tenebrio molitor* (21%), aunque inferior a los niveles (35 a 43%) apuntados por otros autores (Finke, 2002; 2007; Ramos-Elorduy et al., 2006) (tabla 10). Según datos recogidos por Adámková et al. (2016) respecto a *Alphitobius diaperinus* su contenido lipídico es de aproximadamente 29%, mientras que en este estudio se ha obtenido un valor inferior de 19%, este valor es inferior al obtenido por Roncolini, A., (2020) de 26,25% (tabla 10). Los niveles de grasa en pupa de *Musca domestica* (33,3%) son superiores a los observados por otros autores: del 13,5 al 25% en larvas (Aniebo y Owen, 2010; Bernard et al., 1997; Ogunji et al., 2006, 2008; Sheppard, 2002) Además como se representa en la tabla 10, se recoge el valor de Milutin, D., (2008) con un valor muy inferior (6,66%) al obtenido en el presente estudio. El porcentaje obtenido por nosotros en las larvas de *Hermetia illucens* (34%) es similar a los valores observados por Newton et al. (1977) y Sheppard (2002), ambos superiores al 30%. Inclusive son valores similares a los obtenidos por Bukkens (1997) y por Ramos-Elorduy et al., (1998) recogido en la tabla 10.

El contenido en grasa de los insectos está muy determinado por sus fases de desarrollo. En general, las larvas contienen bastante más grasa que los adultos (Barker et al., 1998). Los insectos se clasifican en hemimetábolos (metamorfosis simple, donde los estadios juveniles o ninfas son muy parecidos a los adultos o imagos) u holometábolos (metamorfosis compleja donde las larvas son muy diferentes a los adultos, y deben pasar por una fase de pupa, entre ambas). Por tanto, las larvas de especies con metamorfosis complejas (p.e. Coleópteros o Dípteros) deben acumular una gran reserva energética para afrontar esa reestructuración de tejidos sin alimentarse (pupa). Por el contrario, las ninfas de las especies hemimetábolos (p.e. Ortópteros) no necesitan tantas reservas de grasa para su desarrollo.

No obstante, en este trabajo sobre la grasa de ortópteros han mostrado unos niveles superiores a lo observado por otros investigadores. Así, Soares-Araújo et al. (2018) determinaron un valor de grasa bruta en *Gryllus assimilis* de 21,80% y en nuestro caso hemos obtenido un valor de 28,3%. Y en *Grylloides sigillatus* hemos obtenido un porcentaje muy por encima (34%) de los valores aportados por Logan et al. (2020) con (21,64%). No obstante, en *Acheta domestica*, los datos previos oscilaban entre 14 y 22% (Bernard et al., 1997; Finke, 2002; 2007), y nosotros hemos obtenido un valor en ese rango (15,6%). Probablemente las diferencias en lípidos entre una misma especie, reportadas por diferentes autores, podrían estar relacionadas con la etapa de desarrollo. La dieta también puede ser otro factor que influye en el contenido de grasa de los insectos. Así, Barroso et al. (2014) analizaron el valor nutritivo de diversas especies de insectos, obteniendo que el contenido en grasa de *Heteracris littoralis* (ortóptero silvestre capturado en libertad) era muy inferior (8,2%), al de ortópteros criados en cautividad (*Gryllus assimilis* y *Locusta migratoria*) (23 y 29 % respectivamente), sugiriendo que la dieta podría afectar tanto el contenido de lípidos, como a su calidad (relación de ácidos grasos insaturados/saturados). De este modo, como ocurre con la PB, esta gran variabilidad en el contenido de lípidos, dificulta poder obtener una conclusión clara sobre la relación entre el contenido de lípidos y el taxón, el estadio o la alimentación.

Si lo comparamos con los alimentos que usamos de referencia, harina de pescado y harina de soja, observamos (tabla 8) como los niveles de lípidos en la harina de pescado y la harina de soja son muy inferiores a los de los insectos. Esto añade otro factor de complejidad para desarrollar pienso equilibrados a emplear en la alimentación de peces.

Tabla 8: Comparación de GB de harina de pescado y harina de soja

	FEDNA (España)	INRA (Francia)	NRC (EEUU)
Harina de pescado	9,0 – 9,5	8,9 - 9,3	9,7
Harina de soja	1,9	1,7	3,9

* FEDNA: Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal; INRA: Institut national de la recherche agronomique; NRC: Nuclear Regulatory Commission.

El alto contenido de lípidos tiene algunas ventajas, incluso como suministro de alta energía, y es útil cuando se requieren dietas altas en energía (p. ej., pollos de engorde). Sin embargo, este contenido elevado de lípidos limita la inclusión en las dietas de ganado o peces,

debido a que el porcentaje de lípidos aumentado está por encima de los niveles requeridos. Siendo una posible solución el desengrasado parcial de las harinas de insecto.

Manzano-Agugliaro et al. (2012) propusieron el uso de grasa de insectos en la producción de biodiesel, y la pasta rica en proteínas resultante podría destinarse a la alimentación animal (acuicultura o ganadería).

Los contenidos de ceniza obtenidos para todos los insectos analizados fueron inferiores a la harina de pescado (18,0%). En *Hermetia illucens* (11,7%), hemos obtenido valores algo inferiores a los de Arango et al. (2004) (17,5%) y Newton et al. (1977) (14,6%), en la tabla 10 se recogen los valores de Bukkens (1997) y Ramos-Elorduy et al., (1998) donde obtuvieron un valor inferior de 8,6%. No obstante, HI muestra unos niveles muy superiores a los que hemos encontrado en las otras 6 especies de insectos estudiados (que están alrededor del 4%). Posiblemente la razón pueda ser que las larvas fueran alimentadas con pienso de ponedoras, que está enriquecido con calcio y fósforo.

Existe una discusión inconclusa en relación a qué componente químico del insecto estaría más relacionado con la quitina, si la FND o la FAD. Esto es importante, si se quiere desarrollar ecuaciones de regresión capaces de estimar la digestibilidad de la proteína bruta *in vitro* a partir del análisis proximal de las harinas de insectos (Marono et al., 2015). Estos autores obtuvieron que la FND no estaba correlacionada con la digestibilidad de la proteína, lo que sugiere que este análisis no es adecuado para estimar el contenido de quitina en la harina de insectos. Además, argumentan que las enzimas de los animales monogástricos son muy ineficientes para digerir la FAD, y que, si se quiere usar a la harina de insectos en la nutrición animal, es muy importante determinar el contenido de quitina. Posteriormente, Kovitvadhhi et al. (2019), comparando la digestibilidad *in vitro* de la proteína de 17 especies de insectos, obtuvieron que la FAD era el mejor índice de digestibilidad de la proteína, al observar una significativa correlación negativa entre estos dos parámetros.

En relación a la fibra bruta, Finke (2007) y (2013) obtuvieron el valor más elevado en *Tenebrio molitor* (tabla 10), mientras que en el caso de este experimento se obtiene el mayor valor de FAD en *Grylodes sigillatus* y en la pupa del díptero, *Musca doméstica*. Los otros dos ortópteros (*Acheta domestica* y *Gryllus assimilis*) y *Tenebrio molitor* contienen niveles algo inferiores, con valores muy próximos. La especie que presenta menor porcentaje de FAD son las larvas de *Alphitobius diaperinus* y de *Hermetia illucens*. Si comparamos los porcentajes relacionados con la fibra bruta de los insectos con otros alimentos de referencia (tabla 9), podemos observar cómo los insectos contienen por valores más elevados relativos a la Fibra que los valores obtenidos en el caso de la harina de soja y de la harina de pescado.

Tabla 9: Comparación de fibra bruta de harina de pescado y harina de soja

	FEDNA (España)	INRA (Francia)	NRC (EEUU)
Harina de pescado	1,0 – 0,4	0,0	0,7
Harina de soja	3,2	3,9	3,9

* FEDNA: Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal; INRA: Institut national de la recherche agronomique; NRC: Nuclear Regulatory Commission.

El valor nutritivo de las harinas de las especies de insectos estudiadas reportadas por otros autores se contempla en la siguiente tabla (tabla 10).

Tabla 10 Valor nutritivo de las harinas de insecto.

Nombre	Humedad %	Proteína (%)	Grasa (%)	Fibra bruta (%)	Ceniza (%)
<i>Hermetia illucens</i>	3,8 ⁽¹⁾⁽⁴⁾	37-49,0 ⁽¹⁾⁽⁴⁾⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾	32,6 ⁽¹⁾⁽⁴⁾	6,7 ⁽¹⁾⁽⁴⁾	8,6-17,5 ⁽¹⁾⁽⁴⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾
<i>Tenebrio molitor(adulto)</i>	63,7 ⁽²⁾⁽³⁾	65,3 ⁽²⁾⁽³⁾	14,9 ⁽²⁾⁽³⁾	20,4 ⁽²⁾⁽³⁾	3,3 ⁽²⁾⁽³⁾
<i>Tenebrio molitor(larva)</i>	61,9 ⁽²⁾⁽³⁾	47-53 ⁽²⁾⁽³⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾	35,0 ⁽²⁾⁽³⁾	6,6 ⁽²⁾⁽³⁾	2,4 ⁽²⁾⁽³⁾
<i>Gryllus assimilis</i>	9,70 ⁽⁵⁾	54,1-65,52 ⁽⁶⁾⁽²³⁾⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾	21,80 ⁽⁶⁾⁽²⁸⁾	8,6 ⁽⁶⁾	4,08 ⁽⁶⁾
<i>Musca domestica</i>	8,00 ⁽⁸⁾	37,5-56,8 ⁽⁷⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾	6,66 ⁽⁷⁾	11,53 ⁽⁷⁾	14,24 ⁽⁷⁾
<i>Alphitobius diaperinus</i>	1,52 ⁽⁹⁾	58,40-60 ⁽⁹⁾⁽¹⁸⁾	26,25 ⁽⁹⁾	7,46 ⁽⁹⁾	5,38 ⁽⁹⁾
<i>Acheta domestica</i>	1,49 ⁽¹¹⁾	63,3-67,49 ⁽¹¹⁾⁽²¹⁾	14-22 ⁽¹¹⁾⁽¹⁴⁾⁽²⁾	7,35 ⁽¹¹⁾	4,36 ⁽¹¹⁾
<i>Gryllodes sigillatus</i>	6,70 ⁽¹⁰⁾	65,70-70 ⁽¹⁰⁾⁽²⁶⁾⁽²⁷⁾	4,53- ⁽¹⁰⁾⁽²⁶⁾ 21,64	8,70 ⁽¹⁰⁾	12,83 ⁽¹⁰⁾

Bukkens, 1997 ⁽¹⁾; Finke, 2007 ⁽²⁾; Finke, 2013 ⁽³⁾; Ramos-Elorduy et al., 1998 ⁽⁴⁾; Ribeiro R. et al., 2019 ⁽⁵⁾; Machado R. et al., 2019 ⁽⁶⁾; Milutin, D., 2008 ⁽⁷⁾; Hall, H.N. et al., 2018 ⁽⁸⁾; Roncolini, A., 2020 ⁽⁹⁾; Hall, F., 2017 ⁽¹⁰⁾; Pérez, I., 2018 ⁽¹¹⁾; Ogunji et al., 2008 ⁽¹²⁾; Aniebo y Owen, 2010 ⁽¹³⁾; Bernard et al., 1997 ⁽¹⁴⁾; Sheppard, 2010 ⁽¹⁵⁾; Arango et al., 2004 ⁽¹⁶⁾; Newton et al., 1977 ⁽¹⁷⁾; Adámková et al., 2016 ⁽¹⁸⁾; Finke, 2002 ⁽¹⁹⁾; Ramos-Elorduy et al., 2006 ⁽²⁰⁾; Makkar et al., 2014 ⁽²¹⁾; Soares-Araújo et al., 2018 ⁽²²⁾; Adámkova et al., 2017 ⁽²³⁾; Bednářová et al., 2013 ⁽²⁴⁾; Jayanegara et al., 2017 ⁽²⁵⁾; Logan et al., 2020 ⁽²⁶⁾; Zielinska et al., 2015 ⁽²⁷⁾; Soares-Araújo et al., 2018 ⁽²⁸⁾.

Los insectos constan de un exoesqueleto que rodea el hemocele donde se encuentran albergados los órganos vitales del insecto. El exoesqueleto dota al insecto de su forma y rigidez y está formado principalmente por proteínas, lípidos y quitina. La quitina compone entre el 20 y el 50% de la procutícula (Andersen, 1979).

Los datos obtenidos reflejan diferentes rendimientos de pulpa frente al exoesqueleto, generalmente presentan mayor proporción de pulpa que exoesqueleto excepto *Acheta Domestica* y *Grylloides Sigillatus*. Lease and Wolf (2020) encontraron que, en insectos adultos, la cantidad de quitina se relaciona con el grupo taxonómico y el medio de locomoción, y que concuerda con los datos obtenidos para los coleópteros (51,16% en AD: y 61,26 en TM) y dípteros (77,89% en HI y 82,85% MD) analizados. Sin embargo, nuestros resultados no parecen indicar ya que existe una gran diferencia entre el porcentaje de pulpa y exoesqueleto entre G.S 46, 22% de pulpa y G.A 82,89% de pulpa, perteneciendo ambos a la misma familia, sin embargo hay que tener en cuenta que el artículo citado se refiere a adultos y contenido de quitina mientras que nuestro trabajo se centra en larvas y se considera el exoesqueleto entero, es decir quitina+ proteína+lípidos.

En cuanto a valor nutritivo de cada tracción se observa que varía entre especies como puede observarse en la figura 36, y a modo resumen de lo expuesto anteriormente, con respecto a la proteína, en el insecto, el de mayor porcentaje es el *Alphitobius diaperinus*, y el insecto con menos porcentaje es el TM. En el exoesqueleto, el insecto con mayor porcentaje es Ach.D. mientras que el de menor porcentaje es la HI. Y en la Pulpa, el insecto con mayor porcentaje es el *Alphitobius diaperinus* y con menos G.A.

Respecto a la grasa bruta, el insecto que tiene mayor proporción en la fracción de insecto entero es HI y el de menor proporción ha sido Ach. D. En la fracción de exoesqueleto la mayor proporción la ha obtenido AD y la menor es M.D. Para terminar con el contenido lipídico, en la fracción de hemocele, el insecto que obtuvo mayor porcentaje fue G.A y el de menor A.D

Para los valores estudiados de FND tenemos que en el insecto entero el de mayor proporción es MD al igual que en la fracción de exoesqueleto, mientras que la menor proporción de insecto entero la obtuvo Ach. D y en el exoesqueleto A.D., que coincide con el menor porcentaje de hemocele, siendo el insecto con mayor porcentaje de hemocele Ach. D.

Respecto al contenido proteico de cada fracción, se observa que el exoesqueleto tiene mayor porcentaje de proteína por lo que sería recomendable su uso en la alimentación, si bien, hay que tener en cuenta que como se ha comentado anteriormente este porcentaje puede estar sobrevalorado debido a la presencia de N en la molécula de quitina que interfiere en la determinación de la proteína. Aun usando los factores de conversión proteica indicados para cada especie de insecto (Janssen et al. (2017) solo se han determinado para pocas especies y además están calculados para ser aplicados al insecto entero (pulpa +exoesqueleto). En nuestro caso se ha usado 6,25 para la pulpa y para el insecto entero y el exoesqueleto el factor indicado por Janssen et al. (2017). Otro aspecto a considerar es la digestibilidad de la proteína del exoesqueleto, teniendo en cuenta que está formado mayoritariamente por escleroproteína (Anderson 2010) y la digestibilidad de esta no se conoce bien resulta difícil decidir la manera más adecuada de procesado de los insectos.

Los datos obtenidos de la composición proximal de cada fracción en cada una de las especies estudiadas son difíciles de interpretar dado la interacción entre la proteína verdadera y el nitrógeno de la quitina lo que hace que los valores de FND y PB del exoesqueleto sean similares, esto ocurre en HI, TM y MD aunque en MD los valores de FAD son altos respecto a los valores de FND, mientras que en las otras dos especies son bajos AD, Ach D, GA y GS hay diferencia entre el porcentaje de PB y FND, sin embargo, en estas especies la FAD es alta y

similar a la FND, es probable que esto sea un indicativo de la cantidad de proteína contenida en el exoesqueleto y de la digestibilidad de esta. Actualmente estamos llevando a cabo estudios de la digestibilidad in vitro de estas harinas para corroborar esta idea, ya que no hemos encontrado publicaciones sobre composición y/o digestibilidad de las distintas fracciones del insecto.

Respecto a la grasa mayoritariamente se distribuye en el la pulpa siendo especialmente llamativo el caso de la HI y GA con niveles del 80%, aunque los datos de GB del insecto completo concuerdan con lo descrito por Soares-Araújo et al. (2018) pero no hemos encontrado los valores determinados en la pulpa. Con este valor tan alto podría pensarse en un error, sin embargo, la pulpa resultante de la extracción del exoesqueleto tenía aspecto oleoso lo que confirma estos valores. Características similares se observaron en HI. Estos valores tan altos pueden ser propios de la especie, pero se ha visto que también están influenciados por la alimentación (Barroso et al. 2014; 2019).

Los resultados de este trabajo indica que el fraccionamiento de los insectos modifica su composición nutritiva y que puede ser un método para mejorarla, sin embargo, los resultados no son concluyentes y se necesitan estudiar la digestibilidad, el aprovechamiento nutritivo y metabólico para poder establecer en cada especie el tratamiento más adecuado.

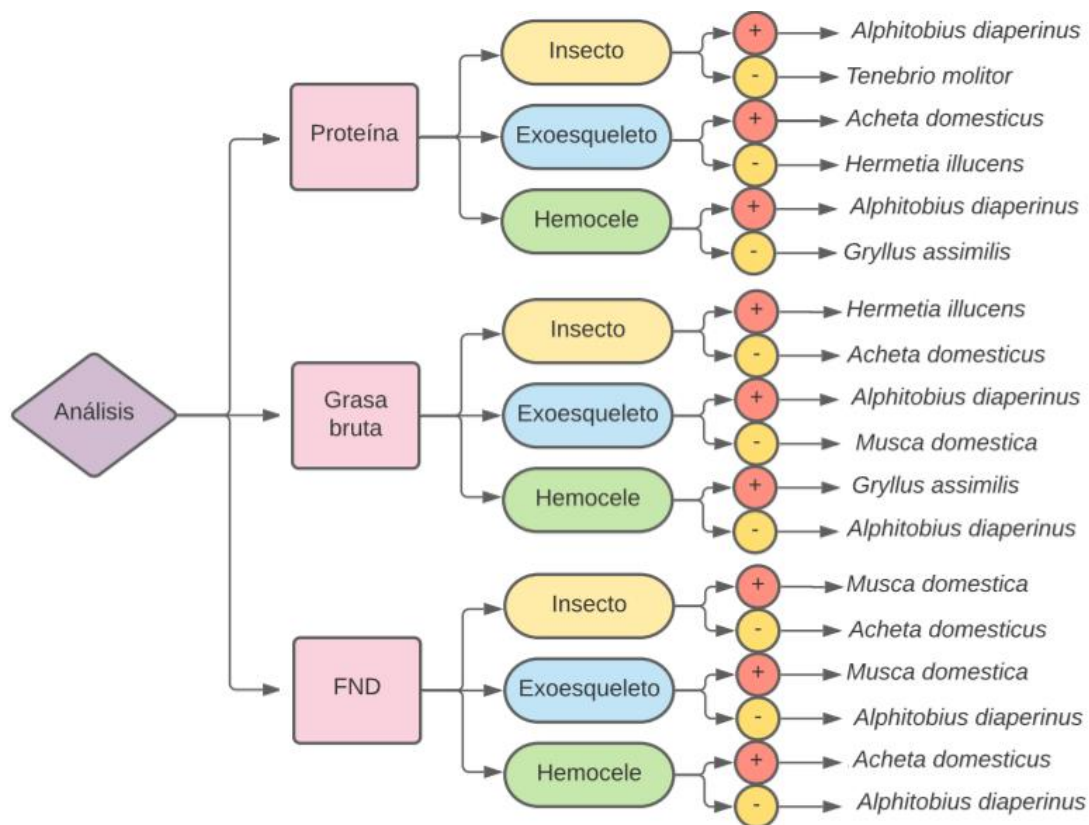


Figura 36: Diagrama de flujo de los diferentes análisis

6. CONCLUSIONES

Tras analizar la composición bromatológica de los insectos aprobados por la UE como “nuevo alimento”, se ha podido concluir que:

- En general, las especies de insectos analizadas presentaron un interesante perfil nutricional como alternativa de alimentos para humanos y animales, comparable a la harina de soja, y algo inferior a la harina de pescado.
- Los insectos muestran un elevado contenido proteico y de grasas, y bajo en cenizas y FAD, respecto a otras fuentes como la soja o la harina de pescado.
- Uno de los principales inconvenientes para emplear estos “nuevos alimentos” lo observamos en la dificultad de estandarizarlos como ingredientes, al observarse una gran variabilidad en el valor nutritivo para la misma especie entre diferentes estudios.

Con relación a, fraccionamiento de los insectos consideramos que puede ser interesante para obtener pulpas libres de quitina (FAD), y por tanto más digestibles que el insecto entero, pero que, como inconveniente, contienen mayor contenido en grasa.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, S. 2014. Los insectos, oportunidad de negocio. CincoDías. https://cincodias.elpais.com/cincodias/2014/03/26/empresas/1395857757_938764.html
- Adelizi PD, Rosati RR, Warner K, Wu YV, Muench TR, White MR et al. 1998. Evaluation of fish-meal free diets for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture Nutrition*.; 4(4):255-62.
- Agbidye F.S., Ofuya T.I., Akindele S.O. 2009. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8: 917–922. DOI: 10.3923/pjn.2009.917.922. URL: <https://docsdrive.com/pdfs/ansinet/pjn/2009/917-922.pdf>
- Aguilar-Miranda, E.D., López, M.G., Escamilla-Santana, C., Barba de la Rosa, A.P. 2002. Characteristics of maize flour tortilla supplemented with ground *Tenebrio molitor* larvae. *J. Agric. Food Chem.* 50, 192–195
- Akiyama T., Murray I., Hirasawa Y., Nose, T., 1984. *Aquaculture. Acuicultura marina: Fundamentos biológicos y tecnología de la producción*. Castelló Orvay, F. Universitat de Barcelona. 84 475 0477 8
- Alexander, D., Walker, J. 1962. Two Introduced Field Crickets New to Eastern United States (Orthoptera: Gryllidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 55(1), 90–94.
- Alfaro, A.O., Núñez, W., Marcia, J. and Montero Fernández, I., 2019. *Journal of Agricultural Science* 11: 97-104. DOI:[10.5539/jas.v11n6p97](https://doi.org/10.5539/jas.v11n6p97)
- Álvarez, L. 2019. Una proteína hecha con grillos se abre paso en el mercado japonés. *International Press*. <https://internationalpress.jp/2019/03/11/una-proteina-hecha-con-grillos-se-abre-paso-en-el-mercado-japones/>
- Adámková, A., Hourimská, L., Borkovcová, M., Kulma, M., Mlcek, J., (2016). Nutritional values of edible coleoptera (*Tenebrio molitor*, *Zophobas morio* y *Alphitobius diaperinus*) reared in the Czech Republic. ISSN: 1337-0960
- Adámková, A., Mlcek, J., Kourimská, L., Borkovcová, M., Busina, T., Adámek, M., Bednarová, M., Krajsa, J., 2017. Nutritional Potential of Select Insect Species Reared on the Island of Sumatra.
- Andersen, S.O., Hojrup, P., Roepstorff, P., 1995. Insect cuticular proteins. *Insect Biochem. Mol. Biol.* 25, 153–176.
- Aniebo, A.O., Owen, O.J., 2010. Effects of age and method of drying on the proximate composition of housefly larvae (*Musca domestica* Linnaeus) meal (HFLM). *Pakistan J. Nutr.* 9, 485–487.

- Apolo-Arévalo, L., Iannacone, J. 1993. Crianza del grillo (*Acheta domesticus*) como fuente alternativa de proteínas para el consumo humano. *Scientia* ISSN XVII No, 17, 161–173.
- Arango, P., Vergara, R., Mejía, H. 2004. Análisis composicional, microbiológico y digestibilidad de la proteína de la harina de larvas de *Hermetia illucens* en Colombia.
- Arevalo, L., Inaconde, J. 2015. Crianza de grillo (*Acheta domesticus*) como fuente alternativa de proteínas para el consumo humano. *Scientia*, 17, 161-173.
- Argentina, E., 2020. Desarrollo de nuevos alimentos para consume humano a base de proteina de insectos. Universidad politécnica de Valencia.
- Athié, I. y De Paula, D. 2002. Insetos de grãos armazenados: aspectos biológicos e identificação. Varela editora e livraria Ltda. São Paulo (Brasil). p. 244
- Avendaño, C., Sánchez, M., & Valenzuela, C. 2020. Insectos: son realmente una alternativa para la alimentación de animales y humanos. *Rev. Chil. Nutr.*, 47(6), 1029–1037. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182020000601029>
- Banjo, A.D., Lawal, O.A., Adeyemi, A.I., 2006. The microbial fauna associated with the larvae of *Oryctes monocerus*. *J. Appl. Sci. Res.* 2, 837–843
- Barker, D., Marianne, P., Fitzpatrick, D., Dierenfeld, E.S., 1998. Nutrient composition of selected whole invertebrates. *Zoo Biol.* 17, 123–134.
- Barroso, F. G., de Haro, C., Sánchez-Muros, M. J., Venegas, E., Martínez-Sánchez, A., & Pérez-Bañón, C. (2014). The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture*, 422–423, 193–201. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.12.024>
- Barroso, F. G., Trenzado, C. E., Pérez-Jiménez, A., Rufino-Palomares, E. E., Fabrikov, D., & Sánchez-Muros, M. J. 2021. Innovative Protein Sources in Aquafeeds. In *Sustainable Aquafeeds* (pp. 139-184). CRC Press.
- Barrows, F.T., Sealey, W.M. 2014. Feed ingredients and the reduction of dependence on marine harvested products for aquaculture feeds. Aquaculture Innovation Workshop No. 6, Vancouver, British Columbia.
- Bednárová, M. Possibilities of Using Insects as Food in the Czech Republic. Doctoral's Thesis, Mendel University, Brno, Czech Republic, 2013.
- Bernard, D., Torres, J., Zanuncio, J. 1997. Effects of prey switching on nymphal development of four Species of predatory stinkbugs. ISSN: 0368-9697.

- Benito, F., 2016. Análisis de la situación económica-financiera del sector productor de la dorada (*Sparus aurata* L.), lubina (*Dicentrarchus labrax* L.) y corvina (*Argyrosomus regius* A.), en el litoral mediterráneo español. DOI:10.4995/Thesis/10251/62187. <https://riunet.upv.es/handle/10251/62187>
- Blonk, H., Kool, A., Luske, B. 2008. BMA/VROM, Gouda, Nederland. [Microsoft Word - final translation-2008 version \(blonkconsultants.nl\)](#)
- Boßelmann, F., Romano, P., Fabritius, H., Raabe, D., & Epple, M. J. T. A. (2007). The composition of the exoskeleton of two crustacea: The American lobster *Homarus americanus* and the edible crab *Cancer pagurus*. *Thermochimica Acta*, 463(1-2), 65-68.
- Bukkens, S.G.F., 1997. The nutritional value of edible insects. *Ecol.Food Nutr.* 36, 287–319.
- Bureau, D.P., Harris, A.M., Bevan, D.J., Simmons, L.A., Azevedo, P.A., Cho, C.Y., 2000. Feather meals and meat and bone meals from deferent origins as protein sources in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets. *Aquaculture*. 181, 281- 291.
- Bureau, D.P., Harris, A.M., Cho, C.Y., 1999. Apparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 180, 345-358.
- Cabello, A., García, A., Figuera, B., Higuera, Y., Vallenilla, O. 2013. Calidad físico-química de la harina de pescado venezolana. *Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, vol. 25, núm. 4, octubre-diciembre, 2013, pp. 414-422 Universidad de Oriente Cumaná, Venezuela URL: <https://www.redalyc.org/pdf/4277/427739464009.pdf>
- Cao, L., Naylor, R., Henriksson, P., Leadbitter, D., Metian, M., Troell, M., Zhang, W. 2015. China's aquaculture and the world's wild fisheries. *Science*, 347(6218), 133-135. DOI: 10.1126/science.1260149.
- Capinera, J. L. 2008. *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae) *Encyclopedia of Entomology*. Ed: Springer (2nd Edition). Science + Business Media B.V.
- Cardenete, G., 1999. Nutrición proteica en peces. in: Zamora Navarro, S., Martínez López, F.J., Pérez Llamas, F. (Eds.), *Acuicultura: cultivo y alimentación de peces*. Universidad del Mar. Universidad de Murcia, Murcia, España, pp. 27-42
- Carvalho, R. 1999.: *Amazônia Papers* No. 2. Programa Amazônia, Amigos da Terra, São Paulo, Brazil, p. 8. URL: [O Avanço da Soja-do orig.pdf \(inpa.gov.br\)](#)
- Castelló Orway, F. 1993. *Acuicultura marina: fundamentos biológicos y tecnología de la producción*. Universitat de Barcelona. ISBN: 84 475 0477 8

- Cedeño, V. 2020. Caracterización de la composición nutricional de la harina de grillo común (*Gryllus assimilis*). Universidad central del Ecuador facultas de ciencias químicas. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/21797/1/T-UCE-0008-CQU-236.pdf>
- Cerda, H., Martínez, R., Briceño, N., Pizzoferrato, L., Hermoso, D. 1999. Cria, Analisis Nutricional y Sensorial del Picudo del Cocotero de la Dieta Tradicional Indigena Amazónica Rearing, Nutritional Composition, and Sensorial Analysis of the *Rhynchophorus Palmarum* (Coleoptera: Curculionidae) Palm Weevil as a Food Eaten. ECOTROPICOS, 12(1), 25–32
- COVENIN (Comisión Venezolana de Normas Industriales). 1978. Aceites y grasas vegetales. Determinación del índice de peróxidos 508-78. Caracas, Venezuela. URL: <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/508-01.pdf>
- Craig W. Clifford, J. P. W. 1990. Methods for rearing the house cricket, *Acheta domesticus* (L.), along with baseline values for feeding rates, growth rates, development times, and blood composition. Journal of applied entomology. 109, 1–14.
- De Francesco M, Parisi G, Médale F, Lupi P, Kaushik SJ and Poli BM. 2004. Effect of long-term feeding with a plant protein mixture based diet on growth and body/fillet quality traits of large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) Aquaculture; 236(1):413-429
- De la Higuera, M y Cardenete, G. 1987. La proteína en la nutrición de los peces. Universidad de Granada. 84 475 0477 8. URL: https://www.observatorio-acuicultura.es/sites/default/files/images/adjuntos/libros//nutricion_ii.pdf
- DeFoliart, G.R., Finke, M.D., Sunde, M.L. 1982. Potential value of the mormon cricket (Orthoptera: Tettigoniidae) harvested as a high protein feed for poultry. J. Econ. Entomol., 75, 848–885.
- Delgado, C., Couturier, G., Mathews, P., Mejia, K. (2008). Producción y comercialización de la larva de *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Dryophthoridae) en la Amazonía peruana. Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa, 41, 407–412.
- Dias J, Gomes EF, Kaushik SJ. 1997. Improvement of feed intake through supplementation with an attractant mix in European seabass fed plant-protein rich diets. Aquatic Living Resources; 10(6):385-389
- Diclaro II, W., Kaufman, E., 2009. Black soldier fly *Hermetia illucens* Linnaeus (Insecta: Diptera: Stratiomyidae). In: EENY-461, Entomology and Nematology Department, Florida Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.
- Diener, S., Zurbrugg, C., Roa-Gutiérrez, F., Nguyen-Dang-Hong, M., Koottatep, T., Tockner, K., 2011. Black soldier fly larvae for organic waste treatment—prospects and constraints. In: WasteSafe 2011 – 2nd Int. Conf. on Solid Waste Management in the Developing Countries, 13–15 February, Khulna, Bangladesh, pp. 52–59

- Dierick NA. 1991. Recent development in pig feed evaluation. Proceeding of International congress on pig farming. February 7-8, Brussels, BE.
- Djordjevic, M., Brana, A., Marijana, V., Milan, B., Radislava, T., Ljiljana, J., Marija, V., M. Rajković. 2008. « *Effects of substitution of fish meal with fresh and dehydrated larvae of the house fly (*Musca domestica* L) on productive performance and health of broilers* ». *Acta Veterinaria* 58.
- Dozier, W.A.; Dale, N.M. & Dove, C.R. 2003. Nutrient Composition of Feed-Grade and Pet-Food-Grade Poultry By-Product Meal. Poultry Science Department, University of Georgia. 5 pp.
- Dozier, W.A.; Dale, N.M. 2005. Metabolizable Energy of Feed-Grade and Pet-Food-Grade Poultry By-Product Meal. *Journal of Applied Poultry Research*. 14: 349 – 351.
- Dunford, J., Kaufman, P. 2006. [Gusano menor de la harina, *Alphitobius diaperinus*](#). Entomología y Nematología. Universidad de Florida, IFAS.
- Estibaliz, M., Del pilar, I., Orozco, C.M. 2017. Análisis del contenido proteico de harina de dípteros sometida a técnicas de cocción para consumo humano. <https://repositorio.udd.cl/bitstream/handle/11447/3587/An%C3%A1lisis%20del%20contenido%20proteico%20de%20harina%20de%20d%C3%ADpteros%20sometida%20a%20t%C3%A9cnicas%20de%20cocci%C3%B3n%20para%20consumo%20humano.pdf?sequence=1>
- FAO, 2014. State of World Fisheries and Aquaculture. FAO, Food and Agriculture Organization, Rome, Italy, pp. 223. URL: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/097d8007-49a4-4d65-88cd-fcaf6a969776/>
- FAO. 2018. Estado mundial de la pesca y la acuicultura. Roma, Italia. ISBN: 978-92-5-130688-8. URL: <https://www.fao.org/3/I9540ES/i9540es.pdf>
- FAO. 2021. Estadísticas de pesca y acuicultura. Producción mundial de acuicultura 1950-2019 (FishstatJ). In: *FAO División de Pesca*. Roma. Actualización 2021. URL: www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/es
- Fasakin, E.A., Balogun, A.M., Ajayi, O.O., 2003. Evaluation of full-fat and defatted maggot meals in the feeding of clariid catfish *Clarias gariepinus* fingerlings. *Aquacult. Res.* 34, 733–738.
- Faz, L. M., Menses, P.M. 2007. Monitoreo de la mosca doméstica, *Musca doméstica* en Zootecnia y evaluación del control de roedores en la unidad de aves en Zamorano, Honduras. *Ciencia y Producción Agropecuaria*. Zamorano, Honduras. 18.
- Finke, M.D. 2002. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biol.* 21, 269–285.

- Finke, M.D., 2007. Estimate of chitin in raw whole insects. *Zoo Biol.* 26, 105–115
- Finke, M.D., 2013. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biol.* 21, 269–285
- FOESA. 2012. Valoración de la sostenibilidad de la acuicultura en España. FOESA, Madrid, España. 100 páginas. URL: https://www.mapa.gob.es/es/pesca/temas/acuicultura/valoracion_sostenibilidad_acuicultura_e_sp_marcadores_tcm30-289263.pdf
- Fowler, L.G., 1991. Poultry by-product meal as a dietary protein sources in fall chinook salmon. *Aquaculture.* 99, 309–321
- Francisco O, Prado, AP do. 2001. Characterization of the larval stages of *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) using head capsule width. *Revista Brasileira de Biologia* 61: 125-131.
- García, M.A., Altieri, M.A. 2005. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 25: 335e353. DOI: 10.1177/0270467605277293. ON-LINE: https://www.researchgate.net/publication/254314519_Transgenic_Crops_Implications_for_Biodiversity_and_Sustainable_Agriculture
- Gaua, E. 2012. Guía sobre la cría de grillos (*Acheta domesticus* L.). México D.F.
- Gomes EF, Rema P, Kaushik SJ. 2005. Replacement of fish meal by plant proteins in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): digestibility and growth performance. *Aquaculture*; 130(2):177-186.
- Gómez-Requeni P, Mingarro M, Calduch-Giner JA, Médale F, Martin SA, Houlihan DF et al. 2004. Protein growth performance, amino acid utilization and somatotropic axis responsiveness to fish meal replacement by plant protein sources in gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*; 232(1):493-510
- Gullan, P.J., Cranston, P. S. 2010. *Los insectos, un esquema de la entomología*. Hong Kong, Willey Blackwell
- Hall, F., Jones, G., O’Haire, E., Liceaga, M. 2017. Functional properties of tropical banded cricket (*Grylodes sigillatus*) protein hydrolysates. *Food Chemistry*, 224, 414–422. doi:10.1016/j.foodchem.2016.11.13
- Hall, H.N., H.V. Masey O’Neill, D. Scholey, E. Burton, M. Dickinson, et E.C. Fitches. 2018. « *Amino Acid Digestibility of Larval Meal (Musca Domestica) for Broiler Chickens* ». *Poultry Science* 97, n° 4: 1290-97.

- Hardouin, J., Mahoux, G., 2003. Zootechnie d'insectes – Elevage et utilisation au bénéfice de l'homme et de certains animaux. In: Bureau pour l'Echange et la Distribution de l'Information sur le Mini-élevage (BEDIM), 164 p.
- Hermógenes, W. 2019. Entomología general. Instituto de educación superior tecnológico público.
- Hewitt, G. 2011. La Casa-Mosca: *Musca domestica* Linn. Nueva York (EE.UU.), Cambridge University Press. En línea.
https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2008/6_Annex_5_report_34.pdf
- Hosen M, Khan AR, Hossain M. 2004. Growth and development of the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) on cereal flours. Pakistan Journal of Biological Sciences 7: 1505-1508.
- Informe Apromar 2020:
http://www.apromar.es/sites/default/files/2020/Informe%20Acuicultura%20Espa%C3%B1a%202020_APROMARv1.2.pdf
- Janssen, R. H., Vincken, J. P., Van Den Broek, 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*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 65(11), 2275–2278. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00471>
- Jonas-Levi, A., Martinez, J.J.I., 2017. The high level of protein content reported in insects for food and feed is overestimated. J. Food Compos. Anal. 62, 184–188. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.06.004>
- Koga, R., García, F., Carcelén, F., Arbaiza, T. 1999. Valor nutricional del *Gryllus peruviansis* (Orthoptera grillidae). Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú (RIVEP), 10(1), 92–94. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v10i1.6627>
- Kovitvadh, A., Chundang, P., Thongprajukaew, K., Tirawattanawanich, C., Srikachar, S., & Chotimanothum, B. (2019). Potential of insect meals as protein sources for meat-type ducks based on in vitro digestibility. *Animals*, 9(4), 1–10. <https://doi.org/10.3390/ani9040155>
- Lim, C., Dominy, W. 1990. Evaluation of soybean meal as a replacement for marine animal protein in diets for shrimp. *Penaeus vannamei*, Aquaculture 87: 53-64
- Lock J., Arsiwalla T., Waagbo R., 2014. Insect meal: a promising source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmon salar*). In: Vantomme P., Munke C., vanHuis A. (Eds.), 1st International Conference “Insects to Feed the World”. Wageningen University, Ede-Wageningen, The Netherlands, p. 67.

- Logan, R., Carlson, A., Lewis, E., Rossoni-Serao, M. 2020. Cricket (*Grylloides sigillatus*) meal fed to healthy adult dogs does not affect general health and minimally impacts apparent total tract digestibility, *Journal of Animal Science*, Volume 98, Issue 3, March <https://doi.org/10.1093/jas/skaa083>
- Machado, R., Da, C., Cruz, R. 2019. «Cricket Powder (*Gryllus Assimilis*) as a New Alternative Protein Source for Gluten-Free Breads». *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 56: 102180.
- Makkar, H., Tran, G., Heuzé, V. 2013. Insects in fish diets. *Animal Frontiers*, 5(2), 37-44.
- Makkar, S., Tran, G., Heuzé, V., Ankers, P. 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1-33. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>
- Manzano-Agugliaro, F., Sanchez-Muros, M.J., Barroso, F.G., Martínez-Sánchez, A., Rojo, S., Pérez-Bañón, C., 2012. Insects for biodiesel production. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 16, 3744–3753.
- Mariño, S., Sánchez, E., Suárez, G., Rodríguez, J. 2013. Harina de pescado. Sección: 803. Universidad politécnica territorial de edo. Portuguesa J.J. Montilla. [https://www.monografias.com/trabajos95/harina-pescado/harina-pescado.shtml#conclusioa\(12/04/20\)](https://www.monografias.com/trabajos95/harina-pescado/harina-pescado.shtml#conclusioa(12/04/20))
- Marono, S., Piccolo, G., Loponte, R., Di Meo, C., Attia, Y.A., Nizza, A., Bovera, F., 2015. In Vitro Crude Protein Digestibility of *Tenebrio Molitor* and *Hermetia Illucens* Insect Meals and its Correlation with Chemical Composition Traits. *Ital. J. Anim. Sci.* 14, 3889. <https://doi.org/10.4081/ijas.2015.3889>
- Merzendorfer H. and Zimoch L. 2003. Chitin metabolims in insects: structure, function and regulation of chitin synthases and chitinases. *The Journal of Experimental Biology*, 206: 4393-4412
- Mohsen, A.A., Lovell, R.T. 1990. Aquaculture. Acuicultura marina: Fundamentos biológicos y tecnología de la producción. Castelló Orvay, F. Universitat de Barcelona. 84 475 0477 8
- Mondragón, I., Contreras, Y., 2015. Use of insect *Tenebrio molitor*, *Tribolium castaneum* and *Palembus dermestoides* (Coleptera, Tenebrionidae), as a resource in the teaching of natural science. *Revista de investigación* N°86. Vol: 39 <https://www.redalyc.org/pdf/3761/376144131013.pdf>
- Morales, A.E., Cardenete, G., de la Higuera, M., Sanz, A., 1994. Effects of dietary protein source on growth, feed conversion and energy utilization in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*.

Aquaculture. 124, 117-126. ISSN 0044-8486 URL: [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90367-0](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90367-0)

Nakagaki, B.J., DeFoliart, G.R. 1987. Protein quality of the house cricket *Acheta domesticus* when fed to rooster chicks. *Poult. Sci.*, 66, 1367–1371.

Newton, G.L., Booram, C.V., Barker, R.W., Hale, O.M., 1977. Dried *Hermetia illucens* larvae meal as a supplement for swine. *J. Anim. Sci.* 44, 395–400.

Nogonierma, K. et al. (2017). Extraction technique influences the physicochemical characteristics and functional properties of edible crickets (*Acheta domesticus*) protein concentrate.

Novartis, A. 2006. Control de moscas y producciones ganaderas y aviar, Programa contra las moscas; Control de moscas en el siglo XXI. Novartis Animal Health Inc.

Oddy V.H. 1974. A semiautomated method for the determination of plasma alpha amino nitrogen. *Clin Chim Acta.* 51:151–156

Ogunji, J., Pagel, T., Schulz, C., Kloas, W., 2009. Apparent digestibility coefficient of housefly maggot meal (maggot meal) for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) and carp (*Cyprinus carpio*). *Asian Fisheries Sci.* 22, 1095–1105.

Osava, M., 1999. Inter Press Service. <http://www.ipsnews.net/1999/09/environment-brazil-soy-production-spreads-threatens-amazon/>

Pérez, I., 2018. Caracterización de la harina de grillo común (*Acheta domesticus*) y el estudio de las propiedades nutricionales, fisicoquímicas y sensoriales al introducirla en una crema de cacao saludable. Universidad de Miguel Hernández de Elche. URL: <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/5339/1/TFG%20P%C3%A9rez%20Horcajo%2C%20Iv%C3%A1n.pdf>

Pérez, R. 2017. Estimación de la energía metabolizable y utilización de larva de mosca (*Musca domestica*) en la alimentación de pollo de engorde. <https://silo.tips/download/estimacion-de-la-energia-metabolizable-y-utilizacion-de-larva-de-mosca-musca-dom#modals>

Piccolo G., Marono S., Gasco L., Iannaccone F., Bovera F., Nizza A., 2014. Use of *Tenebrio molitor* larvae meal in diets for Gilthead seabream *Sparus aurata* juveniles. In: Vantomme P., Munke C., vanHuis A. (Eds.), 1st International Conference “Insects to Feed the World”. Wageningen University, Ede-Wageningen, The Netherlands, p. 68.

Pico, J. P., Sarabia, D., Sancho, P., Pintado, P., Sarabia, D., Landiár, D. 2016. Evaluation of the quality of larval proteins of *Rhynchophorus almarum* L., through the calculation of chemical score of proteins. URL: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/latecnica/article/view/2086/3151>

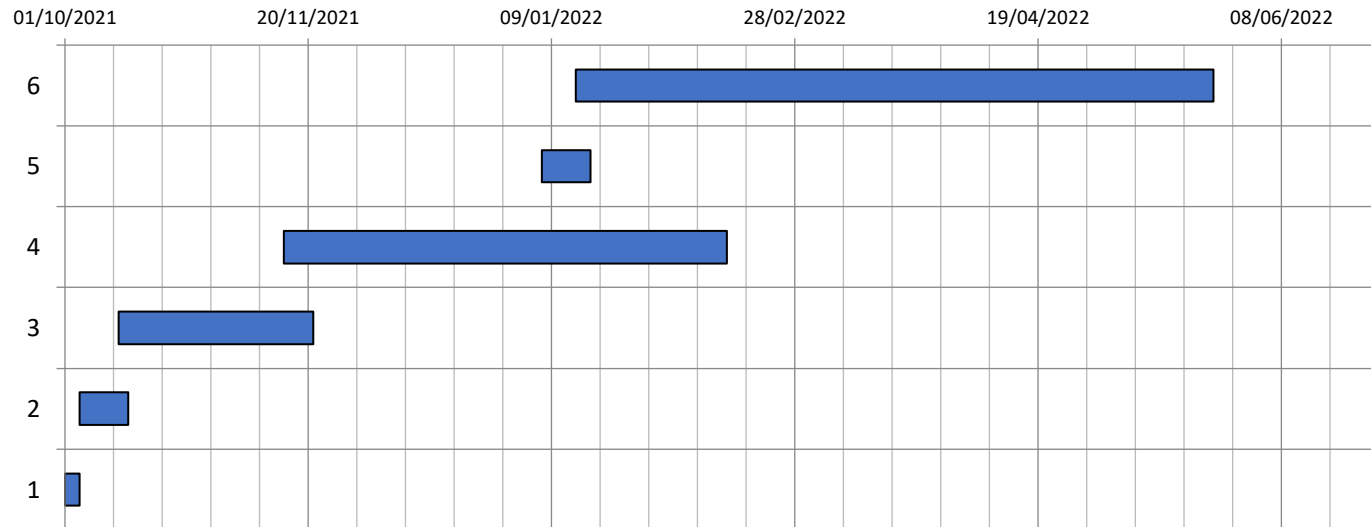
- Pocoví L. 1995. Procesamiento de harina de pescado. Foro: Utilización de subproductos pesqueros en la acuicultura. FONAIAP, Sucre, Venezuela. pp.13
- Portillo Rivera, E. 2017. Estimación piloto de los costos en la producción y proceso de harina de grillo (*Acheta domestica*), como fuente de proteína para dieta humana, en la finca Santa Marta, Morazán, El Salvador. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras
- Ramos, E., Pino, M. 1998. Determinación de minerales en algunos insectos comestibles de México. *Revista de la Sociedad Química de México*, 42 (1): 18-33.
- Ramos-Elorduy, J., 1999. Insects as intermediate biotransformers to obtain proteins. In: Dickinson-Bannack, F., Garcia-Santaella, E. (Eds.), *Homo sapiens: An endangered species, towards a global strategy for survival. Proceedings of the 4th World Academic Conference on Human Ecology 1993*, Yucatan, Mexico, pp. 157–165.
- Ramos-Elorduy, J., 2005. Insects: a hopeful food source. In: Paoletti, M.G. (Ed.), *Ecological Implications of Minilivestock: Potential of Insects, Rodents, Frogs and Snails*. Science Publishers, New Hampshire, USA, pp. 263–291.
- Ramos-Elorduy, J., Avila Gonzalez, E., Rocha Hernandez, 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.
- Ramos-Elorduy, J., Pino, J.M., Correa, S.C., 1998. Insectos comestibles del Estado de México y determinación de su valor nutritivo. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Serie zoología.* 69, 65-104
- Rauf, A., Aziz, S.A. 1983. Producción de sonido en *Grylloides sigillatus*. *Revista de investigación entomológica* 6: 48-50.
- Reglamento (UE) 2017/893, de 24 de mayo de 2017 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R0893&rid=1>
- Reglamento de Ejecución (UE) 2017/2470 de la Comisión, de 20 de diciembre de 2017, por el que se establece la lista de la Unión de nuevos alimentos, de conformidad con el Reglamento (UE) 2015/2283 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a los nuevos alimentos (Texto pertinente a efectos del EEE. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32017R2470>
- Reyes, M., Rodríguez, M., Monte, J., Barroso, F., Fabrikov, D., Morote, E., Sanchez-Muros, M.J. 2020. *Nutritional and Growth Effect of Insect Meal Inclusion on Seabass (Dicentrarchus labrax) Feeds*. ISSN: 2410-3888. <http://hdl.handle.net/10835/8295>

- Ribeiro, R., Soares, A., Ribeiro dos Santos, T., Perpetua, V., Moreira, E. 2019. «*Nutritional Composition of Insects Gryllus Assimilis and Zophobas Morio: Potential Foods Harvested in Brazil*». *Journal of Food Composition and Analysis* 76: 22-26.
- Roncolini, A., Vesna, M., Lucia, A., Federica, C., Cristiana, G., Riccardo, S., Francesca C. 2020. «*Lesser Mealworm (Alphitobius Diaperinus) Powder as a Novel Baking Ingredient for Manufacturing High-Protein, Mineral-Dense Snacks*». *Food Research International* 131: 109031.
- Rumpold B. A; Schlüter O. 2013. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition and Food*.
- Rust, M.B. 2002. Nutritional physiology. En: Halver, J.E., Hardy, R.W. (Eds.), *Fish Nutrition*. The Academic Press, New York, USA, pp.368–446.
- Sánchez-Muros, M.J., Barroso F.G., Manzano-Agugliaro F. 2014. *Journal of Cleaner Production*, 65: 16-27. DOI:[10.1016/j.jclepro.2013.11.068](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.068)
- Sancho, D., Landívar, D., & Sarabia, D. 2013. Características fisicoquímicas del extracto graso de las larvas de *Rhynchophorus palmarum*. (Coleoptera: Curculionoidea), alimento tradicional de los pueblos amazónicos. In Paper presented at the XII Conferencia Internacional Sobre Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Palacio de las Convenciones -La Habana, Cuba.
- Sanz, A., Cardenete, G., 2001. Nutrición proteica en los peces. Perspectivas de futuro. in: Zamora Navarro, S., Martínez López, F.J. (Eds.), *Acuicultura II. Cultivo y alimentación de peces*. Universidad Internacional del Mar. Universidad de Murcia, Murcia, España, pp. 47-55
- Sanz, A., Morales, A.M., M., d.l.H., Cardenete, G., 1994. Sunflower meal compared with soybean meals as partial substitutes for fish meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: protein and energy utilization. *Aquaculture*. 128, 287-300. URL: [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90318-2](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90318-2)
- Sarica, S., Kanoglu, B., & Yildirim, U. 2020. Defatted yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor* L.) meal as possible alternative to fish meal in quail diets. *South African Journal of Animal Sciences*, 50(3), 481–491. <https://doi.org/10.4314/sajas.v50i3.15>
- Sealey W.M., Gaylord T.G., Barrows F.T., Tomberlin J.K., McGuire M.A., Ross C., St-Hilaire S., 2011. Sensory analysis of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, fed enriched black soldier fly prepupae, *Hermetia illucens*. *Journal of the world aquaculture society*, 42: 34-45.
- Sheppard, C., St-Hilaire, S., Cranfill, K., McGuire, M.A., Mosley, E.E., Tomberlin, J.K., Newton, L., Sealey, W., Irving, S., 2007a. Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids. *J. World Aqua. Soc.* 38, 309–313.

- Shimizu, C., Allahpichay, I., Tokoro, T., Shirakawa, Y., 1990. Aquaculture. Acuicultura marina: Fundamentos biológicos y tecnología de la producción. Castelló Orvay, F. Universitat de Barcelona. 84 475 0477 8
- Snyder GS, Gaylord TG, Barrows FT, Overturf K, Cain KD, Hill RA et al. 2012. Effects of carnosine supplementation to an all-plant protein diet for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture. 2012; 338:72-81
- Soares-Araújo, R. R., dos Santos Benfica, T. A. R., Ferraz, V. P., Moreira-Santos, E. 2018. Nutritional composition of insects *Gryllus assimilis* and *Zophobas Morio*: Potential foods harvested in Brazil. Journal of Food Composition and Analysis. doi:10.1016/j.jfca.2018.11.005
- Spilman TJ. 1991. 11, Darkling Beetles (Tenebrionidae, Coleoptera). In Insect and Mite Pests in Food. (Gorham JR, ed). United States Department of Agriculture, Agricultural Handbook 655: 185-214, 589-598.
- Stafford, E.A., Tacon, A.G.J. 1990. Aquaculture and Fisheries Management. Acuicultura marina: Fundamentos biológicos y tecnología de la producción. Castelló Orvay, F. Universitat de Barcelona. 84 475 0477 8
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., De Haan, C.P.R.F. 2006. FAO, Rome, Italy. <http://www.fao.org/3/A0701E/a0701e.pdf>
- St-Hilaire, S., Sheppard, C., Tomberlin, J. K., Irving, S., Newton, L., McGuire, M. A., Mosley, E. E., Hardy, R. W., & Sealey, W. 2007. Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 38(1), 59–67.
- Szelei, J., Woodring, J., Goettel, S., Duke, G., Jousset, F. 2011. Susceptibility of North American and European crickets to *Acheta domesticus* densovirus (AdDNV) and associated epizootics. *Journal of Invertebrate Pathology*, 106(3), 394–399.
- Tacon, A.G.J., 1993. Feed ingredients for warm water fish: Fish meal and other processed feedstuffs. FAO Fisheries Circular No. 856.
- Tégua, A., Mpoame, M., Okourou-Mba, J.A., 2002. The production performance of broiler birds as affected by the replacement of fish meal by maggot meal in the starter and finisher diets. *Tropicicultura* 20, 187–192.
- Thrust M, Rhyne A, Szczebak JT, Bourque B, Bowen JL, Burr G, Marx CJ, Feinberg L. 2017. A transdisciplinary approach to the initial validation of a single cell protein as an alternative protein source for use in aquafeeds. *PeerJ* 5: e3170 <https://doi.org/10.7717/peerj.3170>

- Townsend, L. 1998. Lesser Mealworms or Litter Beetles. University of Kentucky of Agriculture. <https://entomology.ca.uky.edu/ef507>
- US Department of Agriculture. 2015. Agricultural Research Service, Nutrient Data Laboratory. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 28. Current Version: September 2015. Available from: <http://www.ars.usda.gov/nea/bhnrc/ndl>
- Van Huis, A., et al. 2013. Edible insects: future prospects for food and feed security. Roma: Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO).
- 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. FAO Forestry Paper 171
- Velasquez, L. Ibáñez, I. Herrera, C., Oyarzun, M., 1991. Anim. Prod. Acuicultura marina: Fundamentoss biológicos y tecnología de la producción. Castelló Orvay, F. Universitat de Barcelona.
- Veldkamp, T., van Duinkerken, G., van Huis, A., Lakemond, C.M.M., Ottevanger, E., Bosch, G., van Boekel, M.A.J.S. 2012. Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets – a feasibility study. In: Rapport 638 – Wageningen Livestock Research. https://www.wur.nl/upload_mm/2/8/0/f26765b9-98b2-49a7-ae43-5251c5b694f6_234247%5B1%5D
- Vidanarachchi, J.K., Kurukulasuriya, M.S., Kim, S.K., 2010. Chitin, Chitosan and their oligosaccharides in food industry. In: S.K. Kim (ed.), Chitin, chitosan, oligosaccharides and their derivatives: biological activities and applications. CRC Press, New York, USA, pp 543-560.
- Walker, T. 2007. Featured Creatures. University of Florida/IFAS. House cricket, *Acheta domesticus* L.
- Walker, T. 2014. Grillo de casa tropical. *Grylloides sigillatus*. (F. Walker, 1869). Insectos cantores de América del Norte.
- Wang, D., Zhai, S.-W., Zhang, C.-X., Zhang, Q. & Chen, H. 2007. Nutrition value of the Chinese grasshopper *Acrida cinerea* (Thunberg) for broilers. Anim. Feed Sci. Technol., 135, 66–74
- Windsor M, Barlow S. 1984. Introducción a los subproductos de pesquería. Editorial Acribia, Zaragoza, España. pp. 204. ISBN: 978-84-200-0523-2
- Yi, L. et al. 2015. A study on the potential of insect protein and lipid as a food source.

8. FASES DE LA REALIZACIÓN DEL TFM Y SU CRONOGRAMA ASOCIADO



F. INICIO
 ■ DURACIÓN

	1	2	3	4	5	6
F. INICIO	01/10/2021	04/10/2021	12/10/2021	15/11/2021	07/01/2022	14/01/2022
DURACIÓN	3	10	40	91	10	131

FASES:

1. Redacción del título y diseño experimental básico.
2. Recopilación de información y redacción anteproyecto.
3. Trabajo de laboratorio.
4. Redacción memoria.
5. Mediciones, posibles cálculos y tratamiento de datos.
6. Conclusiones y finalización del “Trabajo fin de máster”.

Los insectos aparecen como una alternativa nutricional interesante y aceptable para la alimentación debido a su alto porcentaje de proteína de excelente valor biológico y compuestos fundamentales como vitaminas, minerales y ácidos grasos poliinsaturados.

Con respecto a los insectos que recientemente se han aprobado para su consumo se encuentran especies como *Hermetia illucens* (mosca soldado-negra), *Musca domestica* (mosca común), *Tenebrio molitor* (gusano de la harina), *Alphitobius diaperinus* (escarabajo de la cama), *Acheta domesticus* (grillo doméstico), *Grylloides sigillatus* (grillo rayado) y *Gryllus assimilis* (grillo bicolor).

Insects appear as an interesting and acceptable nutritional alternative for feeding due to their high percentage of protein of excellent biological value and fundamental compounds such as vitamins, minerals and polyunsaturated fatty acids.

In relation to the insects that have recently been approved for consumption, there are species like *Hermetia illucens* (black soldier fly), *Musca domestica* (housefly), *Tenebrio molitor* (mealworm), *Alphitobius diaperinus* (lesser mealworm beetle), *Acheta domesticus* (house cricket), *Grylloides sigillatus* (banded cricket) and *Gryllus assimilis* (Jamaican field cricket).

