



## Insectos como suplementos proteicos en la producción pecuaria: Una alternativa sostenible y eficiente\*

### Insects as protein supplements in the livestock production animals: A sustainable and efficient alternative

*Pablo Montero-Prado<sup>1</sup>, Rolando Montero Atencio<sup>2</sup>, Randy Atencio-Valdespino<sup>3</sup>*

\* Recepción: 21 de junio, 2024. Aceptación: 12 de septiembre, 2024. Este trabajo es la base para propuestas de proyectos de investigación multiinstitucional para alternativas de desarrollo sostenible.

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica de Panamá, Centro de Innovación y Transferencia Tecnológica, Sistema Nacional de Investigación, SENACYT, Panamá. [pablo.montero@utp.ac.pa](mailto:pablo.montero@utp.ac.pa) (autor para correspondencia, <https://orcid.org/0000-0002-1471-2741>).

<sup>2</sup> Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá. [rolandofm2003@gmail.com](mailto:rolandofm2003@gmail.com) (<https://orcid.org/0009-0009-0892-2070>).

<sup>3</sup> Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá. Centro de Innovación Agropecuaria de Divisa, Herrera, Panamá. [randy.atencio@gmail.com](mailto:randy.atencio@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0002-8325-9573>). Autor para correspondencia.

#### Resumen

**Introducción.** El sector agropecuario enfrenta el desafío de hallar alternativas sostenibles para la alimentación animal, ante la creciente demanda de alimentos y los problemas medioambientales. **Objetivo.** Documentar las características nutricionales destacadas de los insectos y explorar su potencial como alternativa alimenticia para la producción pecuaria. **Metodología.** Se realizó búsqueda bibliográfica en la Bases de Datos de Science Direct, con base en los términos relacionados al consumo y producción de pienso animal y su impacto medioambiental. **Desarrollo.** El perfil nutricional de los insectos sobresaliente debido al contenido de proteínas (del 32 al 74 %), aminoácidos esenciales (del 8 al 39 %), grasas saludables (del 6 al 21 %), vitaminas y minerales (hasta 278,3 mg por cada 100 g de peso seco). La alta digestibilidad de sus nutrientes los convierte en una opción importante para complementar la dieta animal. Sin embargo, su uso conlleva riesgos como alergias, contaminación y desequilibrios nutricionales, los mismos pueden minimizarse con un adecuado manejo de las prácticas de higiene adecuadas, garantizar la calidad de los insectos utilizados y cumplir con las regulaciones pertinentes. **Conclusión.** Los insectos son una fuente importante de proteínas, aminoácidos, grasas y minerales, todos estos elementos de calidad comparable a otras fuentes tradicionales como soja, trigo, pastos mejorados y otras leguminosas. La utilización de insectos representa una alternativa innovadora y sostenible para la alimentación animal, convirtiéndose en una fuente de alimentación balanceada y nutritiva, con beneficios tanto para los animales como para el medio ambiente. Su adopción exitosa requiere un equilibrio entre los beneficios nutricionales y ambientales y los costos asociados con su producción y regulación.

**Palabras clave:** pienso animal, nutrición animal, piensos concentrados, fuente de proteína, sostenibilidad, forrajes.

#### Abstract

**Introduction.** The agricultural sector faces the challenge of finding sustainable alternatives for animal feed, given the growing demand for food and environmental problems. **Objective.** Document the outstanding nutritional



characteristics of insects and their potential as a food alternative livestock production. **Methodology.** A bibliographic search was conducted in the Science Direct databases, based on the terms related to the consumption and production of animal feed and its environmental impact. **Development.** The nutritional profile of insects is outstanding due to the content of proteins (from 32 to 74 %), essential amino acids (from 8 to 39 %), healthy fats (from 6 to 21 %), vitamins, and minerals (up to 278.3 mg per 100 g dry matter). The high digestibility of nutrients makes them an important option to complement the animal diet. However, its use carries risks such as allergies, contamination, and nutritional imbalances, which can be minimized with proper management of appropriate hygiene practices, guaranteeing the quality of the insects used and complying with relevant regulations. **Conclusions.** The insects are an important source of proteins, amino acids, fats and minerals, all these elements of comparable quality to other traditional sources such as soybeans, wheat, improved grasses and other legumes. The use of insect represents an innovative and sustainable alternative for animal feeding, becoming a balanced and nutritious food source and benefits for both animals and the environment. Its successful adoption requires a balance between nutritional and environmental benefits and the costs associated with its production and regulation.

**Keywords:** Animal nutrition, animal feed, concentrates feed, protein source, sustainability, fodder.

## Introducción

La producción animal es un componente importante dentro de la actividad agropecuaria mundial. La misma proporciona proteínas de alta calidad, como carne, leche y huevos, que son esenciales para la nutrición humana (Ruxton & Gordon, 2024). Millones de personas dependen de esta para su sustento, en especial en las comunidades rurales donde la ganadería es una fuente principal de ingresos, contribuye al crecimiento económico a través de la creación de empleos en la agricultura, la seguridad alimentaria, el comercio y contribuye con el enfoque de igualdad de género (Adesogan et al., 2020; Springmann et al., 2017).

Esta actividad es responsable de una parte significativa de las emisiones de metano y óxido nitroso, que contribuyen al cambio climático (Henchion et al., 2021). La ganadería tradicional requiere grandes cantidades de agua y tierra, lo que puede llevar a la deforestación y la degradación de los suelos (Springmann et al., 2018). Además, los desechos animales pueden contaminar el agua y las tierras, si no se manejan de forma responsable, lo que afecta la salud pública y los ecosistemas (Bai et al., 2024). La expansión de la producción animal puede amenazar la biodiversidad al convertir hábitats naturales en tierras de pastoreo o cultivo de forrajes (Lal, 2023).

Uno de los pilares fundamentales en la industria agropecuaria es la alimentación de los animales de producción pecuaria (aves de corral, bovinos, porcinos, etc.), ya que la misma influye de forma directa en su salud, bienestar y rendimiento productivo (Lucas & Kebreab, 2024). La dieta de estos animales se ha basado en el uso de granos y forrajes convencionales (Wilkinson & Lee, 2018). Sin embargo, el aumento de la demanda de alimentos, los desafíos ambientales y la necesidad de mejorar la eficiencia han impulsado la búsqueda de alternativas alimenticias más sostenibles y eficaces (Méda et al., 2021). Se estima que la disponibilidad de pienso animal es una de las variables de mayor importancia para la generación de proteína animal para consumo humano (Herrero et al., 2009). Dado que los mismos se producen a partir de combinaciones de cereales, grasas, proteínas vegetales, vitaminas, minerales, aminoácidos y aditivos alimentarios (Mosnier et al., 2011; Ravindran, 2024). En la actualidad, existe una competencia en la utilización de estos recursos para la producción de suplementos alimenticios para consumo humano o utilizarlos para la elaboración de pienso animal, lo que genera un aumento en los precios y la disponibilidad de estos para las personas, y al mismo tiempo, afecta al medioambiente, debido al cultivo intensivo de diversas variedades como trigo, soya, sorgo, maíz, etc. (García-Launay et al., 2014; Nguyen et al., 2012; Prudêncio da Silva et al., 2010). Se estima que en el 2022, la producción de pienso animal alcanzó las 1200 millones de toneladas y

para el año 2017, sólo la actividad ganadera utilizó un tercio de la producción mundial de cereales y un 40 % de la tierra cultivable (Bastiaansen et al., 2024; Mottet et al. 2017), la cual es utilizada además para cultivar alimentos de alta calidad que podrían ser consumidos por la población (Van Zanten et al. 2019). La producción pecuaria impacta de forma negativa al medio ambiente mediante la liberación de carbono, debido a la utilización de combustibles fósiles para producir piensos animales, fabricación de fertilizantes minerales involucrados en la producción de piensos, degradación de suelos utilizados para la producción de piensos y pastoreo, etc (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2009).

Esto crea la urgente necesidad de desarrollar una fuente alterna de proteína para alimentación animal, de preferencia no utilizada para consumo humano directo (Ravindran, 2013). Para llevar a cabo este trabajo, se realizó una revisión bibliográfica de estudios científicos, informes técnicos y artículos especializados sobre las diferentes alternativas de alimentación para animales de producción pecuaria que incluyó ciento nueve documentos científicos.

El objetivo de este trabajo fue documentar las características nutricionales destacadas de los insectos y explorar su potencial como alternativa alimenticia para la producción pecuaria. El mismo ofrece una visión integral sobre la utilización de insectos como alternativa de alimentación para animales de producción pecuaria. Al mismo tiempo, destaca su potencial para transformar y mejorar la industria agropecuaria hacia modelos más sostenibles, eficientes y responsables.

## Metodología

Para llevar a cabo esta investigación, se realizó una búsqueda bibliográfica sistemática en la base de datos de Science Direct, mediante la utilización de términos relacionados al impacto de la fabricación y utilización de pienso animal como: consumo, efecto medioambiental, sostenibilidad, eficiencia alimentaria, insumos. Además, se dio preferencia a publicaciones de investigación de revistas y libros indexados y publicados durante los últimos años (2015-2024), para asegurar el nivel de confiabilidad y actualización de la información obtenida.

## Alternativas de alimentación

Las alternativas de alimentación para animales de producción pecuaria han cobrado cada vez más relevancia, debido a la importancia de garantizar una nutrición óptima, sostenible y eficiente para los animales, e impulsar la sostenibilidad y rentabilidad de las explotaciones ganaderas (Sun et al., 2024). En los últimos años se han desarrollado diversas alternativas que buscan mejorar la calidad de los productos obtenidos, reducir el impacto ambiental y promover el bienestar animal (Khanal et al., 2023). Destacan el uso de alimentos equilibrados, complementos nutricionales, implementación de dietas personalizadas, incorporación de forrajes y pastos de alta calidad, así como el uso de subproductos agrícolas e industriales como fuente de alimento (Pinotti et al., 2023; Shurson et al., 2023). Algunas de las principales alternativas son:

### Subproductos agrícolas

La producción agrícola genera desperdicios derivados de la propia actividad, cuyo volumen depende del tipo producto y método de cultivo utilizado (Iqbal et al., 2020). Para el 2020, se estima que los principales países productores, generaron cerca de 455 millones de toneladas de residuos (Duque-Acevedo et al., 2020). Entre estos subproductos están la pulpa de cítricos, bagazo de caña de azúcar, subproductos de la industria láctea o las cáscaras de granos, entre otros (Adesogan et al., 2020). Estos subproductos aún contienen nutrientes que poseen el potencial

para ser aprovechados como alimentos alternativos (Kari et al., 2023). Lo que involucra la disponibilidad de nutrientes adicionales, como una alternativa de alimentación y del concepto de economía circular (Agapkin et al., 2022).

### Forrajes alternativos

Las condiciones de variabilidad agroclimática, causadas por el cambio climático, impacta de forma negativa sobre la disponibilidad de forrajes tradicionales, debido a esto, se plantea la posibilidad de utilizar forrajes alternativos como el maní forrajero (*Arachis pintoi*), mijo perla (*Cenchrus americanus*), trébol egipcio (*Trifolium alexandrinum*), Acacia (*Acacia abyssinica*), cañabrava (*Arundo donax*), ricino (*Ricinus communis*) para suplir la necesidad de contar con alimento para los animales de producción (Pulikkamath & Shafeek, 2024; Sairanen & Huhtanen, 2024; Wondimu et al., 2024). Estos forrajes alternativos, pretenden mejorar la calidad de la dieta y reducir la dependencia de los cultivos tradicionales (Monteiro et al., 2024). La utilización de hierbas (festuca de pradera, *Festuca pratensis*), leguminosas como soja (*Glycine max*), y cultivos forrajeros perennes como trébol rojo (*Trifolium repens*; RC), pueden proporcionar una fuente sostenible de nutrientes para los animales en épocas difíciles, además de promover la biodiversidad en los sistemas de producción (Huhtanen & Krizsan, 2023).

### Alimentos funcionales

Los alimentos funcionales se identifican como aquellos que promueven un efecto fisiológico específico sobre el desarrollo del organismo. La incorporación de estos en la dieta de los animales puede mejorar su producción y rendimiento. Sin embargo, es importante seleccionar los alimentos funcionales adecuados para cada especie animal, siempre con base en sus necesidades nutricionales y objetivos de producción (Bultosa, 2016; Nagarajan et al., 2021; Rivas-Navia et al., 2023; Wang et al., 2024).

Algunos de los mecanismos de funcionamiento y beneficios de los alimentos funcionales incluyen fitoquímicos, probióticos, prebióticos, péptidos o proteínas bioactivas, fibra dietética y ácidos grasos (Rivas-Navia et al., 2023). Los fitoquímicos son constituyentes químicos presentes en hierbas y plantas, como terpenos, fenoles, tioles y lignanos (Bultosa, 2016). Los probióticos son microorganismos vivos que producen un efecto beneficioso sobre la flora intestinal, mientras que los prebióticos son sustancias fermentables que también tienen un efecto positivo sobre esta (Nagarajan et al., 2021).

Además, los péptidos o proteínas bioactivas son compuestos que poseen diversas actividades fisiológicas. La fibra dietética, está compuesta por celulosa, hemicelulosa y pectina de la pared celular de plantas (Nagarajan et al., 2021). Los ácidos grasos, como los omega-3 y los poliinsaturados, son considerados alimentos funcionales por los beneficios que aportan al organismo, estos se encuentran de forma natural en el pescado, algas marinas, algunas nueces, semillas de linaza y verdolagas (Bultosa, 2016; Nagarajan et al., 2021).

### Suplementación mineral y vitamínica

La suplementación es el suministro de sustancias de carácter nutricional adicionadas a los insumos, piensos y otras opciones suministradas a los animales de producción (Lokuge et al., 2024). La misma es una práctica común en la industria agrícola y ganadera, con el fin de asegurar que los animales reciban los nutrientes necesarios para un crecimiento saludable y un rendimiento productivo óptimo (Lokuge et al., 2024). Los suplementos pueden incluir minerales como calcio, fósforo, zinc y vitaminas A, D y E, entre otros, para evitar deficiencias nutricionales y mejorar la salud general de los animales (Goi et al., 2023).

## **Insectos como fuente de proteína**

Los insectos, en su mayoría, son una fuente natural y sostenible de proteínas, grasas y minerales (Akhtar & Isman, 2018; Hasnan et al., 2023). La cría de insectos puede requerir menos recursos y generar menos emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con la producción de carne convencional (Li et al., 2023). Convirtiéndolos en una alternativa viable para la alimentación animal en regiones donde los recursos alimenticios son escasos (Baiano, 2020). Lo que puede contribuir a mejorar la seguridad alimentaria de la población (Kewuyemi et al., 2020).

## **Perfil nutricional de insectos como alimentación animal**

La importancia nutricional de los insectos para la alimentación animal radica en su capacidad para proporcionar una fuente sostenible de proteínas de alta calidad, grasas y otros nutrientes esenciales (Baiano, 2020; Fatima et al., 2023; Nolan et al., 2023; Rumpold & Schlüter, 2013a). Además, contienen todos los aminoácidos esenciales necesarios para el crecimiento y desarrollo de los animales, son ricos en grasas saludables, vitaminas y minerales (Kolobe et al., 2023; Li et al., 2023). Lo que los convierte en una fuente de alimentación balanceada y sostenible en la producción animal (Zou et al., 2024). Algunos de los aspectos nutricionales más importantes de los insectos como suplementos proteicos en la alimentación animal incluyen:

### **Alto contenido de proteínas**

Los insectos son una excelente fuente de proteínas de alta calidad, entre ellos, destacan los grillos, el gusano de la harina y las larvas de mosca negra (Hermans et al., 2021). Algunos de ellos llegan a contener hasta un 70-80 % de proteínas en base seca (Hermans et al., 2021). Las mismas poseen la característica de ser de fácil digestión y proporcionan todos los aminoácidos esenciales necesarios para el crecimiento y desarrollo de los animales de producción pecuaria (Li et al., 2023).

### **Contenido de aminoácidos esenciales**

Los insectos contienen una amplia gama de aminoácidos esenciales, entre los que destacan la lisina, metionina, triptófano y leucina, que son necesarios para el correcto funcionamiento del metabolismo y el crecimiento de los animales de producción (Rumpold & Schlüter, 2013a). Su perfil de aminoácidos es comparable e incluso superior al de algunas fuentes de proteínas tradicionales, como la soja o el maíz (Hasnan et al., 2023). Esto los convierte en una excelente opción para enriquecer la dieta de los animales y garantizar un aporte óptimo de nutrientes esenciales.

### **Digestibilidad**

La digestibilidad de las proteínas de los insectos es alta, lo que significa que los animales pueden absorber y obtener el mayor beneficio posible (El Hassan et al., 2008; Pinotti et al., 2019; Wang et al., 2024; Zou et al., 2024). Su alta calidad nutricional, digestibilidad y perfil de aminoácidos los convierten en una alternativa prometedora y sostenible para complementar las dietas de los animales de producción pecuaria, en animales monogástricos como herramienta que contribuya a mejorar su salud, rendimiento y eficiencia en la conversión alimenticia (Hancz et al.,

2024; Nolan et al., 2023). En los rumiantes existe una menor cantidad de estudios debido a las regulaciones de prohíben su uso como alimento (Hancz et al., 2024).

Los insectos muestran características de interés adicionales para el desarrollo del sector pecuario como fuente de grasas saludables, como ácidos grasos insaturados omega-3 y omega-6 (Rumpold & Schlüter, 2013a). Este perfil de lípidos resulta beneficioso para la salud cardiovascular, el sistema inmunológico de los animales y el desarrollo cerebral en los animales (Li et al., 2023). Son además una fuente significativa de vitaminas y minerales, como hierro, calcio, zinc y vitaminas del complejo B, que son importantes para mantener la salud y el bienestar general de los animales (Lange & Nakamura, 2021).

Los insectos pueden contener varios antioxidantes, como carotenoides y compuestos fenólicos, que tienen posibles beneficios para la salud de los animales. Estos antioxidantes pueden estar presentes en cantidades mayores en ciertas especies de insectos en comparación con las fuentes tradicionales de alimento para ganado. A diferencia de algunas fuentes de proteínas vegetales, como la soja, los insectos tienden a tener niveles bajos de anti nutrientes como los fitatos y los taninos, que pueden interferir con la absorción de minerales y otros nutrientes en el tracto digestivo de los animales (Akande et al., 2010; Lange & Nakamura, 2021).

## Beneficios en la utilización de insectos como complementos nutricionales

Los insectos son una fuente importante de proteínas, grasas y otros minerales relevantes para el desarrollo de animales de producción, cuando disminuye la disponibilidad de alimentación natural (Lokuge et al., 2024; Mertenat et al., 2019). La utilización de insectos es una alternativa innovadora y con un importante potencial para la industria pecuaria. Los insectos son una opción natural y su cría presenta numerosos beneficios tanto para los animales como para el medioambiente (Oviedo et al., 2022). Esta tendencia está respaldada por la investigación y el desarrollo continuo en este campo, que explora el potencial de los mismos como una fuente de alimento para la producción y el bienestar sostenible de los animales (Conway et al., 2024; Sogari et al., 2023).

### Eficiencia en la conversión alimenticia

Los insectos, brindan una alta tasa de conversión alimenticia, lo que significa que requieren menos alimento para producir la misma cantidad de proteína en comparación con otros animales de producción (Zou et al., 2024). Algunos insectos tienen la capacidad de convertir 2 kg de alimentos en 1 kg de peso vivo de insectos (Zou et al., 2024). En el caso de la mosca soldado negra, se estima que las larvas de esta, pueden convertir hasta el 65 % de los residuos orgánicos en proteína utilizable (Bosch et al., 2020; Guillaume et al., 2023; Lange & Nakamura, 2021).

### Baja huella ambiental

La cría de insectos tiene una huella ambiental de menor impacto en comparación con la producción de pienso animal, dado que los mismos impactan sobre la ocupación de la tierra, disponibilidad de la producción primaria, la acidificación de los suelos, cambio climático y la dependencia del agua. Además, requieren el uso de energía, en los procesos de fabricación de los mismos (Mertenat et al., 2019; Mungkung et al., 2013). La cría y reproducción de insectos requieren menos tierra, agua y alimentos para sus crías, y generan menos emisiones de gases de efecto invernadero y residuos contaminantes (Mertenat et al., 2019). Además, los insectos pueden alimentarse de una variedad de sustratos orgánicos, incluidos los residuos agrícolas y de procesamiento de alimentos, lo que reduce la competencia con los cultivos destinados al consumo humano (Lange & Nakamura, 2021; Leni et al., 2021; Mertenat et al., 2019). Se encontró que mediante el análisis de Ciclo de Vida, la utilización de las BSFL generan

47 veces menos emisiones de CO<sub>2</sub>eq que el proceso de compostaje de la misma cantidad de residuos, además, es posible reducir en un 50 % el potencial de calentamiento global con la planta de procesamiento con BSFL frente al compostaje convencional (Mertenat et al., 2013).

### Alta calidad nutricional

La composición nutricional de los insectos puede variar según la especie y la dieta, pero en general, ofrecen un perfil nutricional equilibrado y de alta calidad (Joosten et al., 2020) (Cuadro 1). Los mismos representan una fuente de proteína completa, ya que contienen todos los aminoácidos esenciales necesarios para la nutrición animal. Además, son ricos en grasas saludables, vitaminas y minerales, como hierro, calcio y zinc (Islam & Yang, 2017; Joosten et al., 2020).

**Cuadro 1.** Información nutricional de análisis realizados a diferentes especies de insectos con potencial utilización para alimentación animal (g/100 g de peso seco).

**Table 1.** Nutritional information from analyses carried out on different species of insects with potential use for animal feed (g/100 g of dry weight).

| Especie   | Proteína cruda | Grasa cruda | Vitaminas | Minerales | Aminoácidos | Ácidos grasos |
|---|----------------|-------------|-----------|-----------|-------------|---------------|
| Larvas de mosca soldado negra ( <i>Hermetia illucens</i> ) <sup>beg</sup> | 51,23          | 23,53       | 36,50     | 1446,80   | 1410,24     | 114,60        |
| Gusanos de la harina ( <i>Tenebrio molitor</i> L.) <sup>cdfg</sup>        | 49,73          | 36,97       | 16,30     | 430,50    | 504,00      | 1674,7        |
| Grillos domésticos ( <i>Acheta domestica</i> ) <sup>ad</sup>              | 63,69          | 18,44       | 43,70     | 430,00    | 420,40      | 131,89        |
| Pupas de gusanos de seda ( <i>Bombyx mori</i> L.) <sup>ah</sup>           | 57,58          | 20,68       | 15,40     | 398,20    | 342,10      | 201,56        |
| Gusanos de cera ( <i>Galleria mellonella</i> L.) <sup>di</sup>            | 114,03         | 169,95      | 13,40     | 285,40    | 442,95      | 155,26        |
| Langostas ( <i>Locusta migratoria</i> L.) <sup>ag</sup>                   | 50,79          | 34,93       | 5,16      | 305,00    | 221,04      | 100,28        |

Fuente: elaboración propia a partir de: / Source: own elaboration based on: <sup>a</sup>Brogan et al. (2021); <sup>d</sup>Finke (2015); <sup>e</sup>Khanal et al. (2023); <sup>g</sup>Kolobe et al. (2023); <sup>h</sup>Koutsos et al. (2019); <sup>b</sup>Tomotake et al. (2010); <sup>bc</sup>Xu et al. (2023); <sup>f</sup>Zielińska et al. (2015).

### Versatilidad en la alimentación animal

Los insectos pueden ser utilizados en la alimentación de una amplia variedad de animales de producción, tales como aves de corral, cerdos, peces y animales exóticos como reptiles y anfibios. Pueden ser suministrados como alimento fresco, deshidratado, en forma de harina o como parte de dietas compuestas (Mertenat et al., 2019). Esta flexibilidad en la presentación de los insectos como alimento los hace adecuados para adaptarse a las necesidades nutricionales específicas de diferentes especies animales (Hasnan et al., 2023). Además, al utilizar insectos en la alimentación animal, se puede promover la diversificación de fuentes de alimento y reducir la dependencia de fuentes convencionales de proteínas, lo que permite potenciar la sostenibilidad del sistema de producción animal (Li et al., 2023).

## Reducción de la dependencia de fuentes de proteína convencionales

La cría de insectos puede contribuir a reducir la dependencia de las fuentes de proteína convencionales, como la harina de pescado o la soja, cuya producción puede tener un impacto negativo en el medioambiente y la seguridad alimentaria. Al integrar insectos en la dieta animal, se diversifica la cadena alimentaria y se promueve la seguridad y la autonomía alimentaria (FAO, 2023; Koko & Mariod, 2020). La producción controlada de insectos como fuente de alimentación animal, presenta numerosos beneficios, como una alta eficiencia en la conversión alimenticia, alta calidad nutricional, versatilidad en la alimentación animal, reducción de la dependencia de fuentes de proteína convencionales y un bajo impacto ambiental (Joosten et al., 2020).

## Riesgos asociados al consumo de insectos

Alimentar animales con partes o derivados de insectos puede generar riesgos potenciales como la aparición de alergias o sensibilidad a sus componentes, lo que puede generar reacciones adversas, por lo que es fundamental observar la reacción de los animales (Cardoso et al., 2023; Mézes & Erdélyi, 2020; Romero et al., 2016; Van der Fels-Klerx et al., 2018). Otro riesgo significativo es la contaminación de los insectos, por la presencia de metales pesados, pesticidas y otros contaminantes peligrosos, provenientes de las condiciones de cría y el entorno en el que se originaron. Es necesario asegurar que los insectos utilizados en la alimentación animal sean de origen confiable sometidos a medidas de control de calidad adecuadas para minimizar el riesgo de contaminación (Mézes & Erdélyi, 2020; Poma et al., 2017).

Los insectos pueden ser portadores de patógenos y parásitos que pueden afectar de forma negativa la salud de los animales, por lo que es importante implementar medidas de higiene y control de calidad adecuadas para minimizar este riesgo, como garantizar que los insectos se críen en ambientes limpios y controlados (Grabowski, 2020). Es importante considerar las regulaciones y pautas específicas que rigen el uso de insectos en la alimentación animal en diferentes regiones. Es fundamental cumplir con estas normas para garantizar la seguridad y legalidad del uso de insectos como alimento para los animales (Aigbedion-Atalor et al., 2024; Mézes & Erdélyi, 2020).

## Variedades de insectos utilizados

Algunos insectos son utilizados en la alimentación animal por su alto contenido de proteínas, grasas, vitaminas y minerales (Zou et al., 2024). Además, su utilización contribuye a reducir la huella de carbono y la demanda por alimentos convencionales (Lange & Nakamura, 2021). Al mismo tiempo, tienen la versatilidad de ser criados de manera sostenible y con bajo impacto ambiental (Li et al., 2023). Algunos de los insectos más utilizados en la alimentación animal incluyen: larvas de mosca soldado negra (BSFL por su siglas en inglés) (*Hermetia illucens* [L.]), gusanos de la harina (*Tenebrio molitor* L.), grillos domésticos (*Acheta domesticus* [L.]), pupas de gusanos de seda (*Bombyx mori* L.), gusanos de cera (*Galleria mellonella* L.) y langostas (*Locusta migratoria* L.).

### Larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens* [L.])

Las BSFL pertenecen al género *Hermetia* Latreille, orden Diptera y familia Stratiomyidae, se encuentran en cualquier parte del mundo, posee un ciclo reproductivo corto, de 40-45 días, alta tasa de conversión biológica del 70 % en un período de dos semanas de actividad, y sus adultos no son considerados como plaga (Hu et al., 2023). Las mismas se utilizan en la producción de piensos animales debido a su contenido de proteínas (486,8 g kg<sup>-1</sup> de

peso seco) y perfil nutricional (22,23 y 42,21 % de ácidos grasos poliinsaturados y aminoácidos, respectivamente (Hu et al., 2023). Esta especie transforma materiales orgánicos en descomposición en proteínas de alta calidad, convirtiéndola en una opción sostenible y eficiente para la producción de pienso animal. La cría de estas larvas a partir de desechos orgánicos también contribuye a la gestión de residuos y al ciclo de nutrientes en los sistemas agrícolas y ganaderos (Sánchez-Velázquez et al., 2024).

### **Gusanos de la harina (*Tenebrio molitor* L.)**

Los gusanos de la harina (*Tenebrio molitor*), del orden Coleoptera, familia Tenebrionidae, son larvas de un tipo de escarabajos oscuros, utilizados como fuente de alimentación animal en la cría de aves de corral y peces. Debido al contenido de proteínas y grasas (74, 6 %, respectivamente), vitaminas y minerales (114,40 mg por cada 100 g de peso seco), los convierte en un suplemento nutricional valioso para promover el crecimiento y la salud de los animales (Langston et al., 2024; Sánchez-Velázquez et al., 2024; Payne et al., 2016; Siddiqui et al., 2022). Además, son fáciles de criar y se pueden alimentar con una variedad de sustratos orgánicos, lo que los hace una opción económica y sostenible para la alimentación animal. En algunos casos pueden provocar infestaciones al alimentarse de productos almacenados, de cereales y productos como harina, salvado y pasta, por lo que pueden ser considerados como plagas (Rumbos et al., 2020).

### **Grillos domésticos (*Acheta domestica* [L.])**

Los grillos domésticos (*Acheta domestica* [L.]), de la orden Orthoptera y familia Gryllidae, son una fuente de alimento para el ser humano en algunas partes del mundo. No obstante, su uso para alimentación animal en la cría de aves y peces, se hace cada vez más popular. Al igual que los gusanos de la harina, los grillos tienen un alto contenido de proteínas, ácidos grasos (67, 19 %, respectivamente), aminoácidos esenciales (396,8 mg g<sup>-1</sup>), y vitaminas y minerales (278,30 mg por cada 100 g de peso seco), favorable para la salud animal (Cámara-Ruiz et al., 2023). Además, los grillos no conllevan complicaciones para su cría y pueden alimentarse con una variedad de alimentos vegetales, lo que los convierte en una opción rentable y sostenible para la suplementación nutricional en la producción animal.

### **Pupas de gusanos de seda (*Bombyx mori* L.)**

Las pupas de gusanos de seda, (*Bombyx mori* L.), de la orden Lepidoptera, familia de Bombycidae, se utilizan en la alimentación animal, para la acuicultura. Son ricos en proteínas, grasas y aminoácidos esenciales (71, 21 y 8 %, respectivamente) (Anuduang et al., 2020). Poseen un contenido notable de proteínas, grasas y aminoácidos esenciales, lo que las hace beneficiosas para promover el crecimiento y la salud de los peces y otras especies acuáticas. Además, las pupas de gusanos de seda son relativamente fáciles de criar y pueden ser una opción sostenible para la producción de alimentos, ya que se pueden alimentar con residuos de productos agrícolas como hojas y otros desechos vegetales (Anuduang et al., 2020).

### **Gusanos de cera (*Galleria mellonella* L.)**

El gusano de cera o polilla de la cera (*Galleria mellonella* L.), es un insecto del orden Lepidoptera y de la familia Pyralidae (polillas del hocico), que posee un ciclo de vida corto de 40 a 60 días (Pereira et al., 2020). Por la relativa facilidad de manejo y reproducción, este insecto es utilizado para estudios de ensayos inmunológicos (Serrano et al., 2023; Tsai et al., 2016). Además, debido a su alto contenido de grasas y proteínas (21 y 32 %,

respectivamente), vitaminas y minerales (de 4,42 a 12,83 mg en 100 g de peso seco), se utilizan en la alimentación animal, para reptiles y aves (Mouritsen et al., 2017).

### **Langostas (*Locusta migratoria* L.)**

La langosta (*Locusta migratoria* L.), de la orden Orthoptera, y familia Acrididae, conocida como langosta migratoria o africana, es una especie de saltamontes que puede encontrarse alrededor del mundo, en zonas tropicales y subtropicales (Tanaka, 1994). Estas langostas pueden formar enjambres que pueden llegar a afectar significativamente cultivos y vegetaciones, con el consecuente impacto económico (Hosni et al., 2024). No obstante, en estado adulto, puede alcanzar valores nutricionales considerables (50,4 % de proteína bruta, 19,6 % de grasa, 4,8 % de carbohidratos y 15,6 % de fibra bruta, entre otros), y se ha convertido en un insecto de interés para ser utilizado en la alimentación humana y de aves y peces (Hosni et al., 2024; Van Itterbeeck et al., 2019).

## **Otras consideraciones**

La cría de insectos en condiciones controladas, independiente de su uso, requiere una planificación detallada. Debe considerar varios factores clave como la identificación de la especie de insecto, ya que esto determinará muchos de los procesos necesarios para la cría de los insectos, así como la escala de producción deseada (Sørensen et al., 2012). Al mismo tiempo, los procesos a utilizar, deben contemplar el acceso garantizado a las materias primas necesarias para la alimentación de los insectos, comprender la demanda del mercado, las condiciones climáticas locales pueden influir en la cría de insectos y cumplir con los aspectos regulatorios y legales (Rumpold & Schlüter, 2013b).

La infraestructura para la cría de insectos es crucial, ya que influye de forma directa en el éxito y la eficiencia del proceso. Los espacios destinados a la cría deben estar diseñados de manera que promuevan el bienestar y el crecimiento de los insectos (Cadinu et al., 2020; Madau et al., 2020). Los contenedores o jaulas utilizadas deben ser de al menos 1 m<sup>3</sup>, según la especie, para permitir el movimiento de los insectos y evitar el hacinamiento, lo que podría afectar de forma negativa su desarrollo (Cortes Ortiz et al., 2016). Además, es importante considerar el material de construcción de estos espacios para garantizar durabilidad, limpieza y condiciones higiénicas óptimas (Cortes Ortiz et al., 2016; Sørensen et al., 2012).

La ventilación adecuada es esencial para mantener un flujo constante de aire fresco y prevenir la acumulación de humedad y olores desagradables, lo que contribuye a mantener un ambiente saludable para los insectos (Barrett et al., 2022; Cortes Ortiz et al., 2016). La iluminación es otro aspecto a tener en cuenta, ya que puede influir en el comportamiento y la reproducción de los insectos, ya que algunas especies pueden necesitar condiciones específicas de luz para regular sus ciclos. El control preciso de la temperatura y la humedad es fundamental para maximizar la eficiencia de la producción (Dossey et al., 2016).

La demanda del mercado es un factor fundamental que puede impactar significativamente la producción de insectos. La aceptación de estos productos por parte de los consumidores desempeña un papel crucial en el desarrollo y expansión de este sector emergente (Dossey et al., 2016). A medida que la conciencia sobre la importancia de adoptar prácticas alimentarias más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente va en aumento, promueve el crecimiento de la demanda de alternativas proteicas innovadoras, como los insectos (Khalil et al., 2024; Rehman et al., 2024).

Es posible que las economías de escala que buscan la reducción de los costos de producción no funcionen debido a que las operaciones son más pequeñas en comparación con otros sectores económicos (Wynants et al., 2019). La industria del cultivo de insectos se encuentra en fase de desarrollo y crecimiento, por lo que los costos

involucrados en el proceso de producción pueden disminuir en la medida que se realicen avances en la optimización de la tecnología, automatización y métodos de cría utilizados (Zou et al., 2024).

Existen otras variables asociadas con el cultivo de insectos que deben considerarse, como los costes de alimentación, mano de obra, energía, mantenimiento (Gahukar, 2016). Todos estos aspectos pueden contribuir a aumentar los costes de producción de insectos y productos derivados de los mismos (Vale-Hagan et al., 2023). El cultivo de insectos es considerado una alternativa alimentaria sostenible y con beneficios potenciales en términos de eficiencia de recursos y reducción del impacto ambiental (Gahukar, 2016). Con el creciente interés en los alimentos a base de insectos, es posible que se desarrollen tecnologías más eficientes y económicas en el futuro para hacer que la producción sea más rentable (Dossey et al., 2016).

El cumplimiento normativo es un aspecto clave a tener en cuenta en la producción de insectos (Marone, 2016). De acuerdo a la región, pueden existir regulaciones y pautas específicas que rijan la cría, procesamiento, etiquetado y comercialización de productos derivados de insectos, pueden abordar aspectos como la higiene, la trazabilidad, la información nutricional y la presencia de alérgenos, entre otros (Gasco et al., 2020). Todo esto, hace necesario el cumplimiento de los requisitos legales y normativos como elementos que garanticen la seguridad alimentaria y la calidad de los productos obtenidos. Cumplir con estas regulaciones puede implicar costos adicionales por permisos, inspecciones y medidas de control de calidad que deben ser considerados (Gasco et al., 2020).

## Conclusiones

Este trabajo permitió validar la potencialidad del uso de insectos como suplementos proteicos para la alimentación animal, con base en: los insectos ofrecen un perfil nutricional rico en proteínas (del 32 al 74 %), aminoácidos (del 8 al 39 %), minerales (hasta 278,3 mg por cada 100 g de peso seco) y grasas saludables (del 6 al 21 %), lo que los hace una opción atractiva como fuente alternativa de nutrientes para la producción pecuaria. Entre los insectos con mayor potencial están las larvas de la mosca soldado negra, gusanos de la harina y los grillos domésticos, que ofrecen beneficios como una alta eficiencia en la conversión alimenticia de un 50 a 70 %, lo que involucra una reducción en los costos de producción de piensos.

Permiten una baja en la huella ambiental, si se considera una disminución de un 68 % de kg CO<sub>2</sub> de generación de gases de efecto invernadero en el proceso de bioconversión de desechos orgánicos. Una reducción en la dependencia de fuentes de proteína convencionales permite que las mismas puedan destinarse para consumo humano. Sin embargo, es importante mencionar que la implementación del uso de insectos como alimento animal, conlleva posibles riesgos de alergias, contaminación y desequilibrios nutricionales, que deben ser gestionados adecuadamente.

La inclusión de insectos en la alimentación animal implica la consideración de costos adicionales debido a la infraestructura de cría, materia prima y cumplimiento normativo. Es necesario investigar sobre las posibles interacciones con las características nutricionales de los insectos y su viabilidad como fuente de alimento, para fomentar su uso en la industria pecuaria de manera eficiente y regulada. La promoción del uso de insectos como una alternativa viable puede desempeñar un papel importante en la seguridad alimentaria, lo que contribuye con la disminución del estrés sobre los recursos naturales.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica de Panamá y al Instituto de Innovación Agropecuaria por el apoyo logístico y de infraestructura para la elaboración de este documento. Al mismo tiempo, agradecen al Sistema Nacional de Investigación de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación por el apoyo brindado.

## Referencias

- Adesogan, A. T., Havelaar, A. H., McKune, S. L., Eilittä, M., & Dahl, G. E. (2020). Animal source foods: Sustainability problem or malnutrition and sustainability solution? Perspective matters. *Global Food Security*, 25, Article 100325. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100325>
- Agapkin, A. M., Makhotina, I. A., Ibragimova, N. A., Goryunova, O. B., Izembayeva, A. K., & Kalachev, S. L. (2022). The problem of agricultural waste and ways to solve it. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 981(2), Article 022009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/2/022009>
- Aigbedion-Atalor, P. O., Fening, K. O., Adeyemi, A. O., Idemudia, I., Ojukwu, K. C., Nwobodo, M. A., Sunday, O., Isiogu, N. C., & Oke, A. O. (2024). Regenerative edible insects for food, feed, and sustainable livelihoods in Nigeria: Consumption, potential and prospects. *Future Foods*, 9, Article 100309. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100309>
- Akande, K. E., Doma, U. D., Agu, H. O., & Adamu, H. M. (2010). Major antinutrients found in plant protein sources: Their effect on nutrition. *Pakistan Journal of Nutrition*, 9(8), 827-832. <https://doi.org/10.3923/pjn.2010.827.832>
- Akhtar, Y., & Isman, M. B. (2018). 10—Insects as an alternative protein source. In R. Y. Yada (Ed.), *Proteins in food processing* (2<sup>nd</sup> ed., pp. 263-288). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100722-8.00011-5>
- Anuduang, A., Loo, Y. Y., Jomduang, S., Lim, S. J., & Wan Mustapha, W. A. (2020). Effect of thermal processing on physico-chemical and antioxidant properties in mulberry silkworm (*Bombyx mori* L.) Powder. *Foods*, 9(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/foods9070871>
- Bai, Y., Wang, L., Zhang, H., & Li, D. (2024). Restore vegetation, graze animals properly or apply new technologies? How to effectively restore degraded land based on carbon trading. *Sustainable Futures*, 7, Article 100228. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2024.100228>
- Baiano, A. (2020). Edible insects: An overview on nutritional characteristics, safety, farming, production technologies, regulatory framework, and socio-economic and ethical implications. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 35-50. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.040>
- Barrett, M., Chia, S. Y., Fischer, B., & Tomberlin, J. K. (2022). Welfare considerations for farming black soldier flies, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): a model for the insects as food and feed industry. *Journal of Insects as Food and Feed*, 9(2), 119-148. <https://doi.org/10.3920/JIFF2022.0041>
- Bastiaansen, T. M. M., de Vries, S., Martens, B.M.J., Benders, R.T., Vissers, E., Dijkman, J.A., Hendriks, W.H., Thomas, M., & Bosch, G. (2024). Identifying feed characteristics that affect the pellet manufacturing of livestock diets containing different coproducts. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, 7, Article 100073. <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2024.100073>

- Bosch, G., Oonincx, D., Jordan, H., Zhang, J., Van Loon, J., Van Huis, A., & Tomberlin, J. k. (2020). Standardisation of quantitative resource conversion studies with black soldier fly larvae. *Journal of Insects as Food and Feed*, 6(2), Article 2. <https://doi.org/10.3920/JIFF2019.0004>
- Brogan, E. N., Park, Y.-L., Matak, K. E., & Jaczynski, J. (2021). Characterization of protein in cricket (*Acheta domesticus*), locust (*Locusta migratoria*), and silk worm pupae (*Bombyx mori*) insect powders, *LWT*, 152, Article 112314. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112314>
- Bultosa, G. (2016). Functional foods: Dietary fibers, prebiotics, probiotics, and synbiotics. En C. Wrigley, H. Corke, K. Seetharaman, & J. Faubion (Eds.), *Encyclopedia of food grains* (2<sup>nd</sup> ed., pp. 11-16). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394437-5.00245-X>
- Cadinu, L. A., Barra, P., Torre, F., Delogu, F., & Madau, F. A. (2020). Insect Rearing: Potential, Challenges, and Circularity. *Sustainability*, 12(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/su12114567>
- Cámara-Ruiz, M., Sánchez-Venegas, A., Blasco-Lavilla, N., Hernández, M. D., Sánchez-Liarte, F., Fernández-Gutiérrez, D., & Lara-Guillén, A. J. (2023). Comparative Assessment of Insect Processing Technologies for Sustainable Insect Protein Production. *Sustainability*, 15(18), Article 18. <https://doi.org/10.3390/su151813735>
- Cardoso, D. N., Silva, A. R. R., Morgado, R. G., Mostafaie, A., Pereira, A., Pinto, J., Lopes, I. G., Murta, D., Soares, A. M. V. M., Brooks, B. W., & Loureiro, S. (2023). Improving Product Safety for Edible Insects: Toxicokinetics of Hg in *Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*. *ACS Food Science & Technology*, 3(4), 790–798. <https://doi.org/10.1021/acfoodscitech.3c00051>
- Conway, A., Jaiswal, S., & Jaiswal, A. K. (2024). The Potential of Edible Insects as a Safe, Palatable, and Sustainable Food Source in the European Union. *Foods*, 13(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/foods13030387>
- Cortes Ortiz, J. A., Ruiz, A. T., Morales-Ramos, J. A., Thomas, M., Rojas, M. G., Tomberlin, J. K., Yi, L., Han, R., Giroud, L., & Jullien, R. L. (2016). Chapter 6—Insect mass production technologies. In A. T. Dossey, J. A. Morales-Ramos, & M. G. Rojas (Eds.), *Insects as sustainable food ingredients* (pp. 153-201). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802856-8.00006-5>
- Dossey, A. T., Tatum, J. T., & McGill, W. L. (2016). Chapter 5 - Modern insect-based food industry: Current status, insect processing technology, and recommendations moving forward. In A. T. Dossey, J. A. Morales-Ramos, & M. G. Rojas (Eds.), *Insects as sustainable food ingredients* (pp. 113-152). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802856-8.00005-3>
- Duque-Acevedo, M., Belmonte-Ureña, L. J., Cortés-García, F. J., & Camacho-Ferre, F. (2020). Agricultural waste: Review of the evolution, approaches and perspectives on alternative uses. *Global Ecology and Conservation*, 22, Article e00902. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00902>
- El Hassan, N., Hamed, S., Hassan, A., Eltayeb, M., & Babiker, E. (2008). Nutritional evaluation and physiochemical properties of boiled and fried tree locust. *Pakistan Journal of Nutrition*, 2(7), 325-329. <https://doi.org/10.3923/pjn.2008.325.329>
- Fatima, N., Emambux, M. N., Olaimat, A. N., Stratakos, A. C., Nawaz, A., Wahyono, A., Gul, K., Park, J., & Shahbaz, H. M. (2023). Recent advances in microalgae, insects, and cultured meat as sustainable alternative protein sources. *Food and Humanity*, 1, 731-741. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.07.009>

- Finke, M. D. (2015). Complete nutrient content of four species of commercially available feeder insects fed enhanced diets during growth. *Zoo Biology*, *34*, 554-564. <https://doi.org/10.1002/zoo.21246>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2006). *Livestock and the environment*. Retrieved August 2024, from <https://www.fao.org/4/i0680e/i0680e04.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). *Nutrition and feeding: Gateway to poultry production and products*. <https://www.fao.org/poultry-production-products/production/nutrition-and-feeding/en/>
- Gahukar, R. T. (2016). Chapter 4 - Edible insects farming: efficiency and impact on family livelihood, food security, and environment compared with livestock and crops. In A. T. Dossey, J. A. Morales-Ramos, & M. G. Rojas (Eds.), *Insects as sustainable food ingredients* (pp. 85-111). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802856-8.00004-1>
- Garcia-Launay, F., van der Werf, H. M. G., Nguyen, T. T. H., Le Tutour, L., & Dourmad, J. Y. (2014). Evaluation of the environmental implications of the incorporation of feed-use amino acids in pig production using life cycle assessment. *Livestock Science*, *161*, 158-175. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.11.027>
- Gasco, L., Biancarosa, I., & Liland, N. S. (2020). From waste to feed: A review of recent knowledge on insects as producers of protein and fat for animal feeds. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, *23*, 67-79. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.03.003>
- Goi, A., De Marchi, M., & Costa, A. (2023). Minerals and essential amino acids of bovine colostrum: Phenotypic variability and predictive ability of mid- and near-infrared spectroscopy. *Journal of Dairy Science*, *106*(12), 8341-8356. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23459>
- Grabowski, N. (2020). Microbiology of african edible insects. In A. Adam Mariod (Ed.), *African edible insects as alternative source of food, oil, protein and bioactive components* (pp. 59-81). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-32952-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-32952-5_4)
- Guillaume, J. B., Mezdour, S., Marion-Poll, F., Terrol, C., & Schmidely, P. (2023). Asymptotic estimated digestibility, a new indicator of black soldier fly (*Hermetia illucens*) conversion efficiency in relation to larval density. *Journal of Insects as Food and Feed*, *9*(7), 893-906. <https://doi.org/10.3920/JIFF2022.0103>
- Hancz, C., Sultana, S., Nagy, Z., & Biró, J. (2024). The role of insects in sustainable animal feed production for environmentally friendly agriculture: A Review. *Animals*, *14*(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/ani14071009>
- Hasnan, F. F. B., Feng, Y., Sun, T., Parraga, K., Schwarz, M., & Zarei, M. (2023). Insects as Valuable Sources of Protein and Peptides: Production, Functional Properties, and Challenges. *Foods*, *12*(23), Article 23. <https://doi.org/10.3390/foods12234243>
- Henchion, M., Moloney, A.P., Hyland, J., Zimmermann, J., & McCarthy, S. (2021). Review: Trends for meat, milk and egg consumption for the next decades and the role played by livestock systems in the global production of proteins. *Animal*, *15*(Suppl.1), Article 100287. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100287>
- Hermans, W., Senden, J., Churchward-Venne, T. A., Paulussen, K., Fuchs, C., Smeets, J., Van Loon, J., Verdijk, L., & Van Loon, L. (2021). Insects are a viable protein source for human consumption: From insect protein digestion to postprandial muscle protein synthesis in vivo in humans: a double-blind randomized trial. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *114*(3), 934-944. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqab115>
- Herrero, M., Thornton, P. K., Gerber, P., & Reid, R. S. (2009). Livestock, livelihoods and the environment: Understanding the trade-offs. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *1*(2), 111-120. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2009.10.003>

- Hosni, E., Al-Khalaf, A., Nasser, M., ElShahed, S., & Alashaal, S. (2024). *Locusta migratoria* (L.) (Orthoptera) in a warming world: Unravelling the ecological consequences of climate change using GIS. *Biodiversity Data Journal*, *12*, Article e115845. <https://doi.org/10.3897/BDJ.12.e115845>
- Hu, Z., Li, H., Liu, S., Xue, R., Sun, J., & Ji, H. (2023). Assessment of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as a potential substitute for soybean meal on growth performance and flesh quality of grass carp *Ctenopharyngodon idellus*. *Animal Nutrition*, *14*, 425-449. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.06.006>
- Huhtanen, P., & Krizsan, S. J. (2023). Nutritional uniformity of cell wall and lignin fractions in grass and red clover silage evaluated by the Lucas test with application to forage feed evaluation. *Animal Feed Science and Technology*, *306*, Article 115819. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115819>
- Iqbal, N., Agrawal, A., Dubey, S., Kumar, J., Iqbal, N., Agrawal, A., Dubey, S., & Kumar, J. (2020). Role of decomposers in agricultural waste management. In T. Basso (Ed.), *Biotechnological Applications of Biomass*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93816>
- Islam, M., & Yang, C. (2017). Efficacy of mealworm and super mealworm larvae probiotics as an alternative to antibiotics challenged orally with *Salmonella* and *E. coli* infection in broiler chicks. *Poultry Science*, *96*(1), 27-34. <https://doi.org/10.3382/ps/pew220>
- Joosten, L., Lecocq, A., Jensen, A. B., Haenen, O., Schmitt, E., & Eilenberg, J. (2020). Review of insect pathogen risks for the black soldier fly (*Hermetia illucens*) and guidelines for reliable production. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, *168*(6-7), Article 6-7. <https://doi.org/10.1111/eea.12916>
- Kari, Z., Sukri, S., Rusli, N., Mat, K., Mahmud, M. B., Zakaria, N., Wee, W., Hamid, N., Kabir, M., Ariff, N., Abidin, S., Zakaria, M., Goh, K., Khoo, M., Doan, H., Tahiluddin, A., & Wei, L. (2023). Recent advances, challenges, opportunities, product development and sustainability of main agricultural wastes for the aquaculture feed industry – A review. *Annals of Animal Science*, *23*(1), 25-38. <https://doi.org/10.2478/aoas-2022-0082>
- Kewuyemi, Y. O., Kesa, H., Chinma, C. E., & Adebo, O. A. (2020). Fermented Edible Insects for Promoting Food Security in Africa. *Insects*, *11*(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/insects11050283>
- Khalil, R., Kallas, Z., Pujolà, M., & Haddarah, A. (2024). Consumers' willingness to pay for snacks enriched with insects: A trending and sustainable protein source. *Future Foods*, *9*, Article 100360. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100360>
- Khanal, P., Pandey, D., Næss, G., Cabrita, A. R. J., Fonseca, A. J. M., Maia, M. R. G., Timilsina, B., Veldkamp, T., Sapkota, R., & Overrein, H. (2023). Yellow mealworms (*Tenebrio molitor*) as an alternative animal feed source: A comprehensive characterization of nutritional values and the larval gut microbiome. *Journal of Cleaner Production*, *389*, Article 136104. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136104>
- Koko, M. Y. F., & Mariod, A. A. (2020). Sensory quality of edible insects. In A. Adam Mariod (Ed.), *African edible insects as alternative source of food, oil, protein and bioactive components* (pp. 115-122). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-32952-5\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-32952-5_7)
- Kolobe, S. D., Manyelo, T. G., Malematja, E., Sebola, N. A., & Mabelebele, M. (2023). Fats and major fatty acids present in edible insects utilised as food and livestock feed. *Veterinary and Animal Science*, *22*, Article 100312. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2023.100312>
- Koutsos, L., McComb, A., & Finke, M. (2019). Insect composition and uses in animal feeding applications: A brief review, *Annals of the Entomological Society of America*, *112*(6), 544-551. <https://doi.org/10.1093/aesa/saz033>

- Lal, R. (2023). Farming systems to return land for nature: It's all about soil health and re-carbonization of the terrestrial biosphere. *Farming System*, 1(1), Article 100002. <https://doi.org/10.1016/j.farsys.2023.100002>
- Lange, K. W., & Nakamura, Y. (2021). Edible insects as future food: Chances and challenges. *Journal of Future Foods*, 1(1), 38-46. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2021.10.001>
- Langston, K., Selaledi, L., Tanga, C., & Yusuf, A. (2024). The nutritional profile of the yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) reared on four different substrates. *Future Foods*, 9, Article 100388. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100388>
- Leni, G., Caligiani, A., & Sforza, S. (2021). Chapter 40 - Bioconversion of agri-food waste and by-products through insects: A new valorization opportunity. In R. Bhat (Ed.), *Valorization of agri-food wastes and by-products* (pp. 809-828). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824044-1.00013-1>
- Li, M., Mao, C., Li, X., Jiang, L., Zhang, W., Li, M., Liu, H., Fang, Y., Liu, S., Yang, G., & Hou, X. (2023). Edible insects: A New sustainable nutritional resource worth promoting. *Foods*, 12(22), Article 22. <https://doi.org/10.3390/foods12224073>
- Lokuge, G. M. S., Larsen, M. K., Maigaard, M., Wiking, L., Larsen, L. B., Lund, P., & Poulsen, N. A. (2024). Effects of feeding whole-cracked rapeseeds, nitrate, and 3-nitrooxypropanol on protein composition, minerals, and vitamin B in milk from Danish Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, In Press <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24372>
- Lucas, K. R. G., & Kebreab, E. (2024). Retrospective analysis of the main feedstocks for animal feed in the world: How the green revolution has affected their environmental performance over the last 60 years, from 1961 to 2021. *Science of The Total Environment*, 926, Article 171882. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171882>
- Madau, F. A., Arru, B., Furesi, R., & Pulina, P. (2020). Insect farming for feed and food production from a circular business model perspective. *Sustainability*, 12(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/su12135418>
- Marone, P. A. (2016). Chapter 7—Food safety and regulatory concerns. In A. T. Dossey, J. A. Morales-Ramos, & M. G. Rojas (Eds.), *Insects as sustainable food ingredients* (pp. 203-221). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802856-8.00007-7>
- Méda, B., Garcia-Launay, F., Dusart, L., Ponchant, P., Espagnol, S., & Wilfart, A. (2021). Reducing environmental impacts of feed using multiobjective formulation: What benefits at the farm gate for pig and broiler production? *Animal*, 15(1), Article 100024. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100024>
- Mertenat, A., Diener, S., & Zurbrügg, C. (2019). Black soldier fly biowaste treatment – Assessment of global warming potential. *Waste Management*, 84, 173-181. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.11.040>
- Mézes, M., & Erdélyi, M. (2020). Food safety of edible insects. In A. Adam Mariod (Ed.), *African edible insects as alternative source of food, oil, protein and bioactive components* (pp. 83-94). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-32952-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-32952-5_5)
- Monteiro, A., Barreto-Mendes, L., Fanchone, A., Morgavi, D. P., Pedreira, B. C., Magalhães, C. A. S., Abdalla, A. L., & Eugène, M. (2024). Crop-livestock-forestry systems as a strategy for mitigating greenhouse gas emissions and enhancing the sustainability of forage-based livestock systems in the Amazon biome. *Science of The Total Environment*, 906, Article 167396. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167396>
- Mosnier, E., Van der Werf, H. M. G., Boissy, J., & Dourmad, J.-Y. (2011). Evaluation of the environmental implications of the incorporation of feed-use amino acids in the manufacturing of pig and broiler feeds using Life Cycle Assessment. *Animal*, 5(12), 1972-1983. <https://doi.org/10.1017/S1751731111001078>

- Mottet, A., de Haan, C., Falcucci, A., Tempio, G., Opio, C., & Gerber, P. (2017). Livestock: On our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. *Global Food Security*, 14, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.01.001>
- Mouritsen, O. G., Duelund, L., Calleja, G., & Frøst, M. B. (2017). Flavour of fermented fish, insect, game, and pea sauces: Garum revisited. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 9, 16-28. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2017.05.002>
- Mungkung, R., Aubin, J., Prihadi, T. H., Slembrouck, J., van der Werf, H. M. G., & Legendre, M. (2013). Life Cycle Assessment for environmentally sustainable aquaculture management: a case study of combined aquaculture systems for carp and tilapia. *Journal of Cleaner Production*, 57, 249-256. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.05.029>
- Nagarajan, D., Varjani, S., Lee, D.-J., & Chang, J.-S. (2021). Sustainable aquaculture and animal feed from microalgae – Nutritive value and techno-functional components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150, Article 111549. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111549>
- Nguyen, T. T. H., Bouvarel, I., Ponchant, P., & Van der Werf, H. M. G. (2012). Using environmental constraints to formulate low-impact poultry feeds. *Journal of Cleaner Production*, 28, 215-224. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.06.029>
- Nolan, P., Mahmoud, A., Kavle, R., Carne, A., Bekhit, A., & Agyei, D. (2023). Chapter 17 - Edible insects: Protein composition, digestibility, and biofunctionalities. In Z. Bhat, J. Morton, A. Bekhit, & H. Suleria (Eds.), *Processing technologies and food protein digestion* (pp. 429-494). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95052-7.00020-0>
- Oviedo, M. V., García, J. F., & Gutiérrez, C. (2022). Mosca soldado negra: Eslabón perdido en la cadena de revalorización de residuos orgánicos. *Revista Ciencia*, 73(3), Article 3. <https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/index.php/vol-73-numero-3/328-novedades-cientificas/960-mosca-soldado-negra-eslabon-perdido-en-la-cadena-de-revalorizacion-de-residuos-orgánicos>
- Payne, C. L. R., Scarborough, P., Rayner, M., & Nonaka, K. (2016). Are edible insects more or less 'healthy' than commonly consumed meats? A comparison using two nutrient profiling models developed to combat over- and undernutrition. *European Journal of Clinical Nutrition*, 70, 285-291. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2015.149>
- Pereira, M. F., Rossi, C. C., da Silva, G. C., Rosa, J. N., & Bazzolli, D. M. S. (2020). Galleria mellonella as an infection model: An in-depth look at why it works and practical considerations for successful application. *Pathogens and Disease*, 78(8), Article ftaa056. <https://doi.org/10.1093/femspd/ftaa056>
- Pinotti, L., Ferrari, L., Fumagalli, F., Luciano, A., Manoni, M., Mazzoleni, S., Govoni, C., Rulli, M. C., Lin, P., Bee, G., & Tretola, M. (2023). Review: Pig-based bioconversion: the use of former food products to keep nutrients in the food chain. *Animal*, 17, Article 100918. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100918>
- Poma, G., Cuykx, M., Amato, E., Calaprice, C., Focant, J. F., & Covaci, A. (2017). Evaluation of hazardous chemicals in edible insects and insect-based food intended for human consumption. *Food and Chemical Toxicology*, 100, 70-79. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.12.006>
- Prudêncio da Silva, V., Van der Werf, H. M. G., Spies, A., & Soares, S. R. (2010). Variability in environmental impacts of Brazilian soybean according to crop production and transport scenarios. *Journal of Environmental Management*, 91(9), 1831-1839. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.04.001>
- Pulikkamath, A., & Shafeek A. (2024). A preliminary analysis and estimation of the status of feed and fodder in Kerala. *Heliyon*, 10(10), Article e31200. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31200>

- Ravindran, V. (2013). Main ingredients used in poultry feed formulations. In Food and Agriculture Organization of the United Nations (Ed.), *Poultry feed availability and nutrition in developing countries (pp 1-4)*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/4/al705e/al705e00.pdf>
- Ravindran, V. (2024). Nutrition of meat animals: Poultry. In M. Dikeman (Ed.), *Encyclopedia of meat sciences* (3<sup>rd</sup> ed., pp. 8-16). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85125-1.00209-X>
- Rehman, N., Edkins, V., & Ogrinc, N. (2024). Is sustainable consumption a sufficient motivator for consumers to adopt meat alternatives? A consumer perspective on plant-based, cell-culture-derived, and insect-based alternatives. *Foods*, *13*(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/foods13111627>
- Rivas-Navia, D. M., Dueñas-Rivadeneira, A. A., Dueñas-Rivadeneira, J. P., Aransiola, S. A., Maddela, N. R., & Prasad, R. (2023). Bioactive compounds of insects for food use: Potentialities and risks. *Journal of Agriculture and Food Research*, *14*, Article 100807. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100807>
- Romero, M. R., Claydon, A. J., Fitches, E. C., Wakefield, M. E., & Charlton, A. J. (2016). Sequence homology of the fly proteins tropomyosin, arginine kinase and myosin light chain with known allergens in invertebrates. *Journal of Insects as Food and Feed*, *2*(2), 69-82. <https://doi.org/10.3920/JIFF2015.0067>
- Rumbos, C. I., Karapanagiotidis, I. T., Mente, E., Psoufakis, P., & Athanassiou, C. G. (2020). Evaluation of various commodities for the development of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor*. *Scientific Reports*, *10*(1), Article 11224. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67363-1>
- Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013a). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research*, *57*(5), 802-823. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201200735>
- Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013b). Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *17*, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.11.005>
- Ruxton, C. H. S., & Gordon, S. (2024). Animal board invited review: The contribution of red meat to adult nutrition and health beyond protein. *Animal*, *18*(3), Article 101103. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101103>
- Sairanen, A., & Huhtanen, P. (2024). Variation in individual milk production responses to supplementary protein feeding with two types of forages. *Livestock Science*, *280*, Article 105394. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2023.105394>
- Sánchez-Velázquez, O. A., Ma, Z., Mirón-Mérida, V., Mondor, M., & Hernández-Álvarez, A. J. (2024). Chapter 5—Insect processing technologies. In M. García-Vaquero & C. Álvarez García (Eds.), *Insects as food and food ingredients* (pp. 67-92). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95594-2.00020-3>
- Serrano, I., Verdial, C., Tavares, L., & Oliveira, M. (2023). The virtuous *Galleria mellonella* model for scientific experimentation. *Antibiotics*, *12*(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12030505>
- Shurson, G. C., Dierenfeld, E. S., & Dou, Z. (2023). Rules are meant to be broken – Rethinking the regulations on the use of food waste as animal feed. *Resources, Conservation and Recycling*, *199*, Article 107273. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107273>
- Siddiqui, S. A., Ristow, B., Rahayu, T., Putra, N. S., Widya Yuwono, N., Nisa', K., Mategeko, B., Smetana, S., Saki, M., Nawaz, A., & Nagdalian, A. (2022). Black soldier fly larvae (BSFL) and their affinity for organic waste processing. *Waste Management*, *140*, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.044>

- Sogari, G., Bellezza Oddon, S., Gasco, L., van Huis, A., Spranghers, T., & Mancini, S. (2023). Review: Recent advances in insect-based feeds: from animal farming to the acceptance of consumers and stakeholders. *Animal*, *17*, Article 100904. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100904>
- Sørensen, J. G., Addison, M. F., & Terblanche, J. S. (2012). Mass-rearing of insects for pest management: Challenges, synergies and advances from evolutionary physiology. *Crop Protection*, *38*, 87-94. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.03.023>
- Springmann, M., Mason-D'Croz, D., Robinson, S., Wiebe, K., Godfray, H. C., Rayner, M., & Scarborough, P. (2017). Mitigation potential and global health impacts from emissions pricing of food commodities. *Nature Climate Change*, *7*, 69-74. <https://doi.org/10.1038/nclimate3155>
- Springmann, M., Clark, M., Mason-D'Croz, D., Wiebe, K., León Bodirsky, B., Lassaletta, L., de Vries, W., Vermeulen, S. J., Herrero, M., Carlson, K. M., Jonell, M., Troell, M., DeClerck, F., Gordon, L. J., Zurayk, R., Scarborough, P., Rayner, M., Loken, B., Fanzo, J., ... Willett, W. (2018). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature*, *562*, 519-525. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0594-0>
- Sun, X., Dou, Z., Shurson, G. C., & Hu, B. (2024). Bioprocessing to upcycle agro-industrial and food wastes into high-nutritional value animal feed for sustainable food and agriculture systems. *Resources, Conservation and Recycling*, *201*, Article 107325. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107325>
- Tanaka, S. (1994). Diapause as a pivotal factor for latitudinal and seasonal adaptation in *Locusta migratoria* in Japan. In H. V. Danks (Ed.), *Insect life-cycle polymorphism: Theory, evolution and ecological consequences for seasonality and diapause control* (pp. 173-190). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-1888-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-94-017-1888-2_8)
- Tomotake, H., Katagiri, M., & Yamato, M. (2010). Silkworm Pupae (*Bombyx mori*) Are New Sources of High Quality Protein and Lipid. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, *56*(6), 446-448. <https://doi.org/10.3177/jnsv.56.446>
- Tsai, C. J.-Y., Loh, J. M. S., & Proft, T. (2016). *Galleria mellonella* infection models for the study of bacterial diseases and for antimicrobial drug testing. *Virulence*, *7*(3), 214-229. <https://doi.org/10.1080/21505594.2015.1135289>
- Vale-Hagan, W., Singhal, S., Grigoletto, I., Totaro-Fila, C., Theodoridou, K., & Koidis, A. (2023). Edible insects in mixed-sourced protein meals for animal feed and food: An EU focus. *Food and Humanity*, *1*, 1180-1187. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.09.011>
- Van der Fels-Klerx, H. J., Camenzuli, L., Belluco, S., Meijer, N., & Ricci, A. (2018). Food Safety Issues Related to Uses of Insects for Feeds and Foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *17*(5), 1172-1183. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12385>
- Van Itterbeeck, J., Rakotomalala Andrianavalona, I. N., Rajemison, F. I., Rakotondrasoa, J. F., Ralantoarinaivo, V. R., Hugel, S., & Fisher, B. L. (2019). Diversity and use of edible grasshoppers, locusts, crickets, and katydids (Orthoptera) in Madagascar. *Foods*, *8*(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/foods8120666>
- Van Zanten, H. H. E., Van Ittersum, M. K., & De Boer, I. J. M. (2019). The role of farm animals in a circular food system. *Global Food Security*, *21*, 18-22. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.06.003>
- Wang, J., Deng, L., Chen, M., Che, Y., Li, L., Zhu, L., Chen, G., & Feng, T. (2024). Phytogetic feed additives as natural antibiotic alternatives in animal health and production: A review of the literature of the last decade. *Animal Nutrition*, *17*, 244-264. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2024.01.012>
- Wilkinson, J. M., & Lee, M. R. F. (2018). Review: Use of human-edible animal feeds by ruminant livestock. *Animal*, *12*(8), 1735-1743. <https://doi.org/10.1017/S175173111700218X>

- Wondimu, B., Tadele, Y., & Tonamo, A. (2024). Fodder trees: Identification, leaf biomass yield, nutritional quality and socioeconomic importance in Essera district, Dawuro zone, southwest Ethiopia. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18, Article 101371. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101371>
- Wynants, E., Froominckx, L., Crauwels, S., Verreth, C., De Smet, J., Sandrock, C., Wohlfahrt, J., Van Schelt, J., Depraetere, S., Lievens, B., Van Miert, S., Claes, J., & Van Campenhout, L. (2019). Assessing the Microbiota of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) Reared on Organic Waste Streams on Four Different Locations at Laboratory and Large Scale. *Microbial Ecology*, 77(4), 913-930. <https://doi.org/10.1007/s00248-018-1286-x>
- Xu, J.-h., Xiao, S., Wang, J.-h., Wang, B., Cai, Y.-x., & Hu, W.-f (2023). Comparative study of the effects of ultrasound-assisted alkaline extraction on black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae protein: Nutritional, structural, and functional properties. *Ultrasonics Sonochemistry*, 101, Article 106662. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106662>
- Zielińska, E., Baraniak, B., Karaś, M., Rybczyńska, K., & Jakubczyk, A. (2015). Selected species of edible insects as a source of nutrient composition. *Food Research International*, 77(Part 3), 460-466. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.09.008>
- Zou, X., Liu, M., Li, X., Pan, F., Wu, X., Fang, X., Zhou, F., Peng, W., & Tian, W. (2024). Applications of insect nutrition resources in animal production. *Journal of Agriculture and Food Research*, 15, Article 100966. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.100966>

Manuscrito aceptado