

Producción de proteína a partir de insectos para el consumo humano: Revisión sistemática del
estado del arte

Alison Joelma Grijalba Ramírez y Diana Carolina Becerra Castro

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Químico
Modalidad trabajo de investigación

Director

Carlos Jesús Muvdi Nova

Ingeniero Químico, Dr. en Ingeniería de Procesos

Codirectora

Edna Magaly Gamboa Delgado

Nutricionista y Dietista, Dra. en Ciencias en Nutrición Población

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2024

Dedicatorias

A Dios, por ser mi guía, mi fortaleza y nunca dejarme sola.

A mis padres, Jairo Grijalba y Myriam Ramírez por su amor, por acompañarme en cada paso de mi vida y mi carrera, por sus esfuerzos, sus consejos y su sabiduría, los amo infinitamente y cada logro de mi vida es para ustedes.

A mi hermano, Stiven por estar cuando lo necesito y creer en mí.

A quienes ya no están conmigo, pero siempre quisieron y anhelaron que llegara este momento, los tengo presentes en mi mente y mi corazón.

A mis familiares, quienes me han acompañado, agradezco su apoyo y palabras de aliento, estoy infinitamente agradecida por hacer parte de mi vida y apoyarme siempre. También a cada una de las personas que han hecho parte de mi vida y que de una u otra forma han contribuido en mi proceso.

A mi novio, por su amor, paciencia y cariño, por siempre impulsarme a ser mejor.

A mi compañera, Diana por su amistad, apoyo, compañía, comprensión y paciencia, por los momentos vividos y los recuerdos desde el primer día como estudiantes.

Alison Joelma Grijalba Ramírez

A Dios y a la Virgen María, les agradezco por bendecirme, guiarme y fortalecerme con sabiduría para culminar este importante capítulo en mi vida.

A mis padres, Gloria Castro y Arturo Becerra, quienes han sido mi soporte incondicional, mi mayor fuente de amor y apoyo. Gracias por su constante comprensión y confianza que han depositado en mí. Con todo mi corazón, quiero expresarles mi eterna gratitud por su dedicación y esfuerzo para sacarnos adelante a mí y a mis hermanos. Ustedes son el motor que impulsa nuestro camino hacia el éxito y la felicidad.

A mis hermanos, Jenny y Omar, por brindarme su apoyo, confianza y creer en mí, incluso cuando yo misma dudaba. Son mi ejemplo a seguir y agradezco porque están a mi lado.

A mi compañera de tesis, por su paciencia, amistad y compañía que me ha brindado desde el primer semestre. Me alegro de haber comenzado y terminado esta maravillosa etapa juntas.

Diana Carolina Becerra Castro

Agradecimientos

A la Universidad Industrial de Santander, por su invaluable contribución a nuestra formación, brindándonos herramientas y oportunidades necesarias para enriquecer nuestros conocimientos, lo cual es esencial para nuestro desarrollo tanto personal como profesional.

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a nuestro director, el profesor Carlos Muvdi, por habernos acogido, aconsejado, colaborado y guiado en este proyecto. A nuestra codirectora Edna Gamboa, por su orientación, dedicación y tiempo durante el desarrollo de este proyecto.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Objetivos	12
1.1 Objetivo General	12
1.2 Objetivos Específicos.....	12
2. Contexto para el estudio del estado del arte.....	12
3. Metodología	14
3.1 FASE I: Selección de información para su revisión y clasificación a partir de las diferentes bases de datos.....	15
3.2 FASE II: Documentación de la información en torno a la estrategia que permita la organización de la información.....	16
3.3 FASE III: Análisis y resumen de la información organizada para la producción de proteína a partir de insectos	17
4. Análisis y discusión de resultados	17
4.1 Búsqueda bibliométrica y selección de documentos	17
4.2 Documentación y organización de los documentos seleccionados.....	19
4.3 Producción de proteína a base de insectos para el consumo humano.....	26
4.3.1 Cría de insectos	27
4.3.2 Producción o transformación	31
4.3.3. Calidad nutricional.....	39
5. Conclusiones	49
6. Recomendaciones	50
Referencias Bibliográficas	51
Apéndices.....	59

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Criterios de selección empleados en revisión sistemática</i>	16
Tabla 2 <i>Ecuaciones de búsqueda utilizadas en el marco del trabajo de grado</i>	18
Tabla 3 <i>Artículos publicados por editoriales y revistas</i>	20
Tabla 4 <i>Condiciones de operación y aspectos a considerar en la cría de insectos</i>	30
Tabla 5 <i>Condiciones y composiciones de cada especie de insecto por cada método de secado</i> ..	35
Tabla 6 <i>Procesos de producción de productos a partir de insectos</i>	38
Tabla 7 <i>Contenido de proteína cruda de diferentes especies de insectos</i>	40
Tabla 8 <i>Contenido de aminoácidos esenciales por 100 g de muestra de insecto</i>	45
Tabla 9 <i>Contenido de aminoácidos no esenciales por 100 g de muestra de insecto</i>	46
Tabla 10. <i>Comparación de fuentes de proteína</i>	47

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Diagrama metodológico.	15
Figura 2 Diagrama de flujo de los artículos incluidos en la revisión sistemática.	20
Figura 3 Distribución de artículos por año de publicación.	21
Figura 4 Distribución geográfica de los artículos seleccionados.	23
Figura 5 Identificación de estudios por a) Especies de insectos. b) Área de investigación.	24
Figura 6 Proceso de cría de insectos.	27
Figura 7 Proceso de producción de la harina de insectos.	31
Figura 8 Representación gráfica de la selección de técnicas ideales de desvitalización.	32
Figura 9 Diagrama de técnicas de presecado y secado a larvas de gusano harina.	34
Figura 10 Composición nutricional de los insectos.	40

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Ecuaciones de búsqueda.	59
Apéndice B. Red bibliométrica de artículos seleccionados en las bases de datos a) WoS. b) Scopus.	59

Resumen

Título: Producción de proteína a partir de insectos para el consumo humano: revisión sistemática del estado del arte *

Autor: Alison Joelma Grijalba Ramírez y Diana Carolina Becerra Castro **

Palabras Clave: Entomofagia, insectos, proteína, proceso, cría, producción, calidad nutricional.

Descripción: La práctica de comer insectos, conocida como entomofagia, representan una fuente nutricional alternativa de alimentos de interés actual. En Colombia, el interés y la investigación científica en la producción de proteína de insectos están en aumento, dado que se percibe como una alternativa sostenible y viable. Además, el clima tropical del país proporciona condiciones óptimas para la cría de una amplia gama de especies de insectos comestibles, tanto nuevas como nativas.

El objetivo principal de este trabajo fue examinar los procesos de producción de proteína de insectos y las variables cruciales que intervienen en cada fase. Este estudio, se centró en la revisión sistemática de la literatura utilizando la metodología PRISMA, que facilitó la exploración de diversos estudios relacionados con la producción de proteína a partir de insectos. Esto permitió recopilar datos, analizar, resumir y presentar resultados de manera efectiva. La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo mediante diversas bases de datos, incluyendo *Web of Science (WoS)*, *Scopus*, *PubMed*, *Scielo* y *Dialnet*. Tras aplicar filtrado por título, resumen y contenido, se identificaron un total de 101 artículos. Estos artículos fueron examinados y clasificados por área de investigación, resultando un total de 38 documentos relevantes, que abarcaron desde la etapa inicial de cría del insecto, la producción o transformación, hasta aspectos asociados con la calidad nutricional de los insectos y de productos derivados como la harina de insecto, utilizada como fortificante en la elaboración de productos como galletas, tortillas, chips, leche, bizcochos, pan y panecillos. Las ideas planteadas en este trabajo resultan valiosas para futuras investigaciones, con el potencial de mejorar la percepción del consumo de insectos, fomentar su aceptación en el mercado y desarrollar alimentos nutritivos elaborados a partir de insectos.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Carlos Jesús Muvdi Nova. Ingeniero Químico, Ph. D de Procesos. Codirector: Edna Magaly Gamboa Delgado. Nutricionista y dietista, Ph. D en Ciencia en Nutriciones Poblacionales.

Abstract

Title: Protein production from insects for human consumption: Systematic review of the state of the art *

Author(s): Alison Joelma Grijalba Ramírez y Diana Carolina Becerra Castro **

Key Words: Entomophagy, insects, protein, process, breeding, production, nutritional quality.

Description: The practice of eating insects, known as entomophagy, represents an alternative nutritional source of food of current interest. In Colombia, interest and scientific research in the production of insect protein is on the rise, as it is perceived as a sustainable and viable alternative. In addition, the country's tropical climate provides optimal conditions for the breeding of a wide range of edible insect species, both new and native. The main objective of this work was to examine the processes of insect protein production and the crucial variables involved in each phase. This study focused on the systematic review of the literature using the PRISMA methodology, which facilitated the exploration of various studies related to the production of protein from insects. This made it possible to effectively collect data, analyze, summarize, and present results. The literature search was carried out using various databases, including Web of Science (WoS), Scopus, PubMed, Scielo and Dialnet. After filtering by title, abstract and content, a total of 101 articles were identified. These articles were examined and classified by research area, resulting in a total of 38 relevant documents, ranging from the initial stage of insect breeding, production or transformation, to aspects associated with the nutritional quality of insects and derived products such as insect flour, used as a fortifier in the production of products such as biscuits, etc. tortillas, chips, milk, biscuits, bread and rolls. The ideas raised in this paper are valuable for future research, with the potential to improve the perception of insect consumption, promote market acceptance, and develop nutritious foods made from insects.

* Degree Work

**School of Physical-Chemical Engineering. School of Chemical Engineering. Director: Carlos Jesús Muvdi Nova. Chemical Engineer, Ph. D of Processes. Co-director: Edna Magaly Gamboa Delgado. Nutritionist and Dietitian, Ph.D in Population Nutrition Science.

Introducción

Desde tiempos inmemorables, el ser humano ha tenido la necesidad de subsistir, dando prioridad a la búsqueda de alimentos, donde la proteína se ha convertido en un nutriente esencial para el desarrollo de la vida humana. De hecho, el crecimiento demográfico, el aumento en la demanda de alimentos, impulsa la búsqueda fuentes sostenibles y eficientes de proteína. La producción tradicional de proteína tiene desventajas significativas como son las afectaciones al medio ambiente y problemas de salud, donde la ganadería convierte alrededor del 10% de alimentos a proteínas (Pertuz, 2021; Ravagli, 2021).

Desde 1987, los insectos se han destacado potencialmente como una buena fuente de lípidos, micronutrientes, aminoácidos y una alta tasa de conversión de alimentos a proteínas (Arango, 2005). Se ha observado que los niveles de proteína en los insectos oscilan entre un 20 y un 75% de materia seca, lo que demuestra su potencial como una fuente valiosa de nutrientes en la alimentación humana y animal. (Thrastardottir et al., 2021).

En este contexto, el presente trabajo de investigación se enfoca en realizar una revisión sistemática sobre el proceso de producción de proteína a partir de insectos, para responder al siguiente interrogante: *¿Cuál es el proceso de producción de proteína de insectos, las variables que intervienen en dicho proceso, la caracterización de los insectos usados y su calidad nutricional?* Esta revisión se lleva a cabo con el propósito de contribuir al avance de futuras investigaciones en grupo de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos (CICTA) de la Universidad Industrial de Santander.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Realizar una revisión sistemática del estado del arte sobre la producción de proteína a partir de insectos para el consumo humano.

1.2 Objetivos Específicos

Seleccionar información obtenida a partir de las diferentes bases de datos.

Documentar la información en torno a la estrategia de organización.

Analizar la información organizada con base en el aprovechamiento de insectos para la producción de proteína.

2. Contexto para el estudio del estado del arte

Los insectos pertenecen al grupo de los artrópodos que tienen un exoesqueleto quitinoso, un cuerpo tripartito, repartido entre: cabeza, tórax y abdomen, siendo uno de los grupos más diversos del planeta constituido por un 70%, con más de un millón de especies descritas (Huis, et al., 2013). Son altamente nutritivos, ya que contienen del 60-70% de su composición en peso de proteínas (Arango, 2005).

Las proteínas son sustancias orgánicas nitrogenadas complejas que se encuentran en células animales y vegetales, compuestas por aminoácidos. Se han identificado 20 aminoácidos mediante la hidrólisis de proteínas, siendo todos del tipo carbono alfa ($C\alpha$) y se diferencia uno de otro por sus cadenas laterales (R). Aunque hay 20 aminoácidos en total, solo 9 de ellos son esenciales para el ser humano y están presentes en insectos (Melo et al., 2007; Hill et al., 2006).

Debido a la sobrepoblación y los cambios climáticos, ha aumentado el interés en buscar otras fuentes de proteínas para el consumo humano en los últimos años. Diferentes autores han estudiado el nivel de conocimiento sobre insectos comestibles (larvas, gusanos, grillos y langostas), así como su producción, y la recepción del consumidor hacia su consumo. Se reconoce que las influencias culturales y sociales son determinantes en la aceptación de estos alimentos (Oibiokpa et al., 2018; Cadinu et al., 2020; Guiné et al., 2022).

En Colombia se ha llevado a cabo una variedad de investigaciones relacionadas con la aceptación y percepción de la entomofagia entre la población hispanohablante. Estos estudios han revelado una baja disposición para integrar insectos en la dieta (Ocampo, 2020). Además, se han explorado aspectos nutricionales de especies como la hormiga culona, el gusano mojojoy, el grillo común y el grillo doméstico tropical, destacando su alto valor proteico y buscando promover una producción alimentaria más saludable, sostenible y socioeconómica (Beltran, 2019; Rodríguez, 2020; Arévalo et al., 2022).

A partir de la literatura encontrada, se observa una recopilación de artículos e investigaciones publicadas que abordan la temática central de la producción de proteína a partir de insectos, proporcionando los conceptos necesarios para comprender el panorama actual en la cría, transformación, nutrición y procesamientos de insectos, con el fin de generar proteínas para el consumo humano. Los estudios destacan los beneficios alimenticios y ambientales, así como el potencial de aceptación social y cultural del consumo de insectos.

Por lo anterior, este trabajo de investigación está enfocado en desarrollar un estudio y análisis sistemático del estado del arte identificando el proceso de producción de proteína de insectos, así como las variables que intervienen en el proceso. Se aclara que una revisión sistemática hace referencia al análisis de la literatura científica publicada durante cierto periodo de

tiempo en la que se analizan aspectos cualitativos y cuantitativos, con el objetivo de sintetizar la información existente relacionada con una determinada área de conocimiento (Blanco et al., 2021).

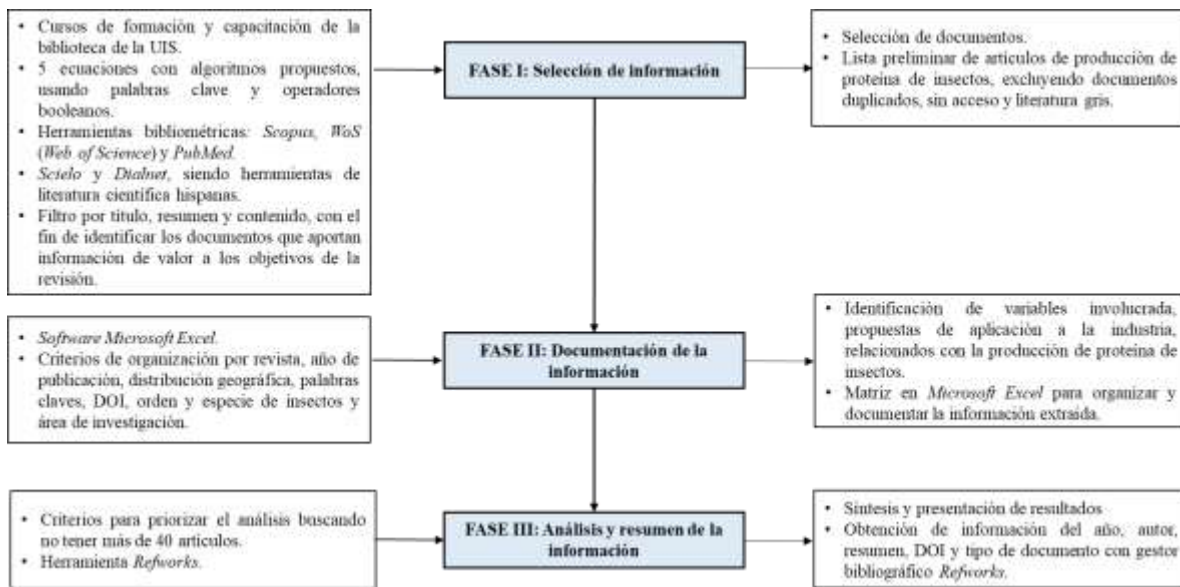
Para el planteamiento de dicho análisis sistemático es necesaria la búsqueda de referencias que permita plantear la metodología que se ajuste a los objetivos de este trabajo investigativo. En la Escuela de Ingeniería Química se han realizado Trabajos de grado que se centran en la revisión sistemática del estado del arte basados en diferentes metodologías, ya sean: planteamiento de 3 fases (Vargas & Moreno, 2023), PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), y protocolo y clasificación como una fase en si misma (Manrique & Paternina, 2023). Estos proyectos han propuesto diversas etapas, que incluyen la búsqueda, selección, revisión, clasificación y análisis de la información. De acuerdo con estos estudios, se muestran diferentes metodologías para realizar revisiones sistemáticas. Estos enfoques subrayan la importancia de la rigurosidad metodológica, la claridad en los pasos y la presentación de resultados. En ese sentido, para una revisión sistemática es necesario seguir cada fase para minimizar sesgos y obtener un análisis preciso de la información.

3. Metodología

El modelo metodológico utilizado para desarrollar el análisis sistemático de esta investigación fue la metodología PRISMA, que facilitó la revisión de los diversos estudios relacionados con el tema de interés. El protocolo PRISMA sirvió de base para precisar la investigación y presentar la recopilación de datos, análisis, resumen y presentación de resultados. La metodología se dividió en 3 fases, estas son presentadas en la Figura 1.

Figura 1

Diagrama metodológico.



3.1 FASE I: Selección de información para su revisión y clasificación a partir de las diferentes bases de datos

El uso de estas bases de datos se realizó con base en la formación y capacitación de la Biblioteca UIS a través de un programa llamado “Capacitaciones a la carta”. La búsqueda y recopilación de información se realizó utilizando la base de datos *WoS (Web of Science)* y *Scopus*, cuyo acceso es proporcionado por la universidad. También se utilizaron las bases de datos de acceso libre *PubMed*, *Scielo* y *Dialnet* brindando estudios en diferentes idiomas.

En el apéndice A se definen las palabras clave que se utilizaron para formar las ecuaciones de búsqueda utilizadas en la investigación. En la Tabla 2 se consideraron distintos criterios de inclusión y exclusión para la selección de los artículos. Además, los documentos obtenidos de las bases de datos se analizaron por tres etapas de proceso de filtración, con el fin de complementar el proceso de selección y descarte de aquellos artículos que no cumplieron con objetivos de la revisión.

Tabla 1

Criterios de selección empleados en revisión sistemática.

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Publicaciones en inglés, español y portugués Artículos publicados entre los años 2017 y 2024 ambos inclusive Artículos relacionados con proteína a partir de insectos para el consumo humano.	Se excluyen documentos, artículos, estudios e investigaciones sobre revisiones sistemáticas, bibliométricas, cartas al editor, así como trabajos de pre y posgrado, resúmenes presentados en congresos, informes de investigación, memorias, proyectos, patentes, normas, traducciones científicas, documentos de sociedades científicas, boletines, cuadernos de trabajo, informes técnicos, programas de computación, autobiografías, separatas, <i>web logs</i> , y catálogos de productos y servicios de empresas, dosieres, carteles, encuestas y otros documentos fuera de los libros y las revistas seriadas.

Filtro por título: En la primera etapa de filtrado, se seleccionaron los artículos, descartando aquellos que no mencionaban el tema a investigar, no contenían alguna de las palabras clave definidas en las ecuaciones o no cumplía con los criterios de selección.

Filtro por resumen: Se llevó a cabo la lectura de los resúmenes de cada artículo con el objetivo de seleccionar aquellos que presentaban una metodología y resultados relacionados con la producción de proteína a partir de insectos para el consumo humano.

Filtro por contenido: Se realizó una lectura completa a cada artículo seleccionado por el filtro anterior, teniendo en cuenta solo los artículos relacionados a la temática de investigación.

3.2 FASE II: Documentación de la información en torno a la estrategia que permita la organización de la información

Una vez seleccionados los artículos se organizaron en una matriz de Excel para clasificar la información obtenida, considerando elementos claves como: título, autores, años de publicación, DOI, resúmenes con los principales hallazgos, palabras clave, el país de origen de la investigación,

editoriales y revistas académicas donde se llevó a cabo la publicación. Este método estructurado permitió sintetizar la información según el área de investigación específicas, abarcando aspectos como la cría, producción o transformación, calidad nutricional, seguridad alimentaria, sostenibilidad, percepción y aceptación.

3.3 FASE III: Análisis y resumen de la información organizada para la producción de proteína a partir de insectos

En la última fase, se llevó a cabo el análisis de la información recopilada a lo largo de las etapas mencionadas previamente. Con el objetivo de garantizar la exhaustividad y relevancia de la revisión, así como para minimizar sesgos y proporcionar una síntesis objetiva (Manterola et al., 2013), se redujo el número inicial de artículos seleccionados mediante la aplicación de áreas de enfoque específicas, detectando los diferentes desafíos y avances en el campo de investigación.

Para ello, se clasificaron los artículos en distintas áreas de investigación durante la Fase II del proceso. Posteriormente, se seleccionaron aquellas áreas que estaban directamente relacionadas con el objetivo de la investigación. Este análisis permite comprender en detalle los hallazgos relacionados con la producción de proteínas a partir de insectos y su relevancia para la investigación en ingeniería química. Finalmente, la bibliografía correspondiente se citó usando la herramienta Refworks.

4. Análisis y discusión de resultados

4.1 Búsqueda bibliométrica y selección de documentos

Se emplearon 5 ecuaciones de búsqueda bibliográfica, teniendo en cuenta las palabras claves usadas y operadores booleanos determinados en la metodología (Fase 1). Estas ecuaciones

fueron usadas como búsqueda avanzada en las bases de datos de *Web of Science*, *Scopus*, *PubMed*, *Scielo* y *Dialnet*, con las que se obtuvo un total de 22.443 resultados publicados entre los años 2017 y 2024.

Tabla 2

Ecuaciones de búsqueda utilizadas en el marco del trabajo de grado.

Búsqueda inicial			
n	Ecuaciones de búsqueda	Base de datos	Resultados
1	Production AND insects AND environmental impact		938
2	Insect AND consumption AND human	<i>WoS</i>	1.538
3	Product OR “transformation” AND protein AND insect	<i>Scopus</i> <i>PubMed</i>	4.012
4	Insect AND breeding OR “production” AND food regulations	<i>Dialnet</i> <i>Scielo</i>	382
5	Insect AND adverse effects OR toxicity OR allergies OR human health		15.528
Total			22.443

Los documentos obtenidos en la búsqueda inicial fueron sometidos a diferentes filtros. Cada etapa del proceso de filtración se representa a continuación:

Filtro por título: Durante esta etapa de filtrado, se llevó a cabo un análisis de los títulos de cada artículo obtenido mediante la búsqueda avanzada en las bases de datos. De un total de 22.443 documentos revisados, se descartaron 20.100 artículos, cuyos títulos no hacían mención explícita al uso de insectos como fuente de proteína para el consumo humano, o contenían la palabra "revisión", lo cual no se ajustaba a los criterios de selección y enfoque de nuestra investigación. Como resultado, se identificaron y seleccionaron 2.343 artículos que se relacionan directamente con el tema de investigación propuesto.

Filtro por resumen: En esta etapa, se examinaron los resúmenes de los artículos previamente seleccionados en el filtro anterior, con una lectura detallada para comprender el

contenido y sus resultados. Como resultado se descartaron 626 artículos que no cumplían con la proyección del título o no se enfocaban en los resultados pretendidos por los objetivos de este trabajo de grado.

Filtro por contenido: A los artículos seleccionados por resumen se les realizó una revisión por contenido, analizando la metodología, materiales y métodos empleados, las discusiones desarrolladas, los resultados obtenidos y las conclusiones presentadas. Finalmente, se descartaron 357 artículos que no abordaron el tema de producción de proteína a partir de insectos para el consumo humano. Estos artículos fueron excluidos debido a que no proporcionaban información relevante sobre la temática específica en cuestión, carecían de datos sustanciales sobre la producción de proteína a partir de insectos o se centraban en temas distintos que no estaban acorde con los objetivos de esta investigación.

En la Figura 2 se muestran las etapas y resultados de los procesos de filtración según el protocolo PRISMA. Después de completar el proceso de búsqueda, filtrado y selección de documentos, se identificaron 101 artículos relevantes a la investigación.

4.2 Documentación y organización de los documentos seleccionados

Los 101 artículos seleccionados, se organizaron para identificar elementos claves como: año de publicación, editoriales, revistas y países de origen de cada artículo. Además, estos artículos fueron clasificados según el tipo de especie de insecto, área de investigación y red bibliométrica para visualizar las palabras claves.

Las editoriales que presentaron la mayor cantidad de artículos acorde con los objetivos de la revisión fueron MDPI, Elsevier y Springer (consultar Tabla 3). Además, la Figura 3 muestra la distribución de los artículos publicados entre los años 2017 y 2024. Se destaca que el período de

2021 a 2023 registró la mayor cantidad de artículos publicados, lo que resalta el notable interés y actualidad sobre el tema estudiado.

Figura 2

Diagrama de flujo de los artículos incluidos en la revisión sistemática.

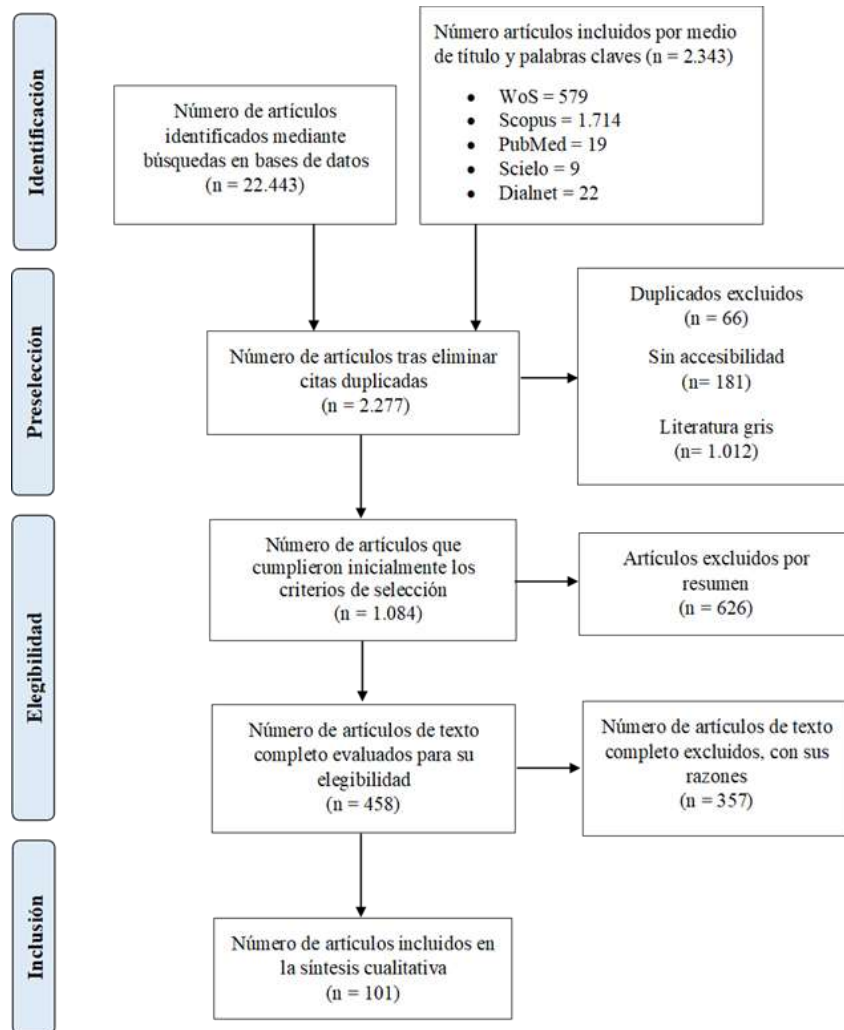


Tabla 3

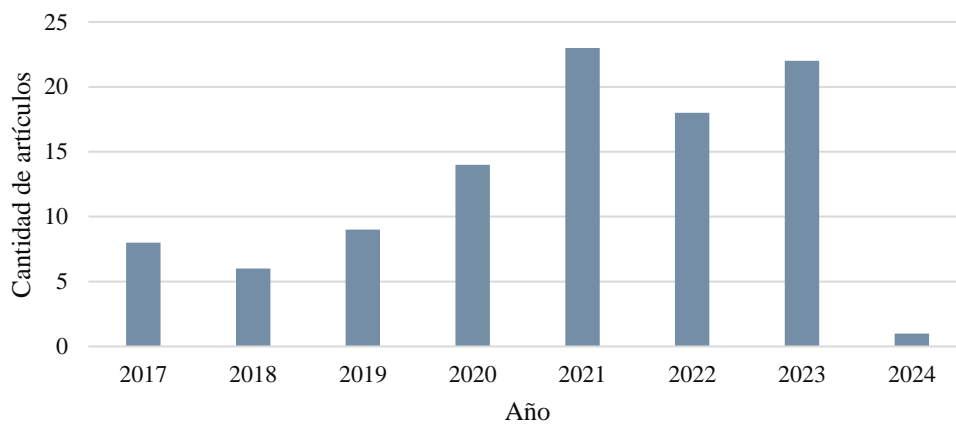
Artículos publicados por editoriales y revistas.

Editoriales y revistas	Artículos publicados
MDPI	32
Elsevier	30
Springer	12
Wiley-Blackwell Publishing Ltd	3

Taylor and Francis Ltd.	2
Academic Press Ltd	2
Blackwell Publishing Ltd	1
AZTI-Tecnalia	1
Oxford University Press	1
John Wiley and Sons Inc	1
Brill	1
US Dept of Health and Human Services	1
Cambridge University Press	1
EDP Sciences	1
Public Library of Science	1
American Chemical Society	1
Kavilandi	1
Amer Chemical Soc	1
Korean Nutrition Soc	1
Office Int Epizooties	1
Wageningen Academic Publishers	1
Entomology & applied science research Letters	1
Soc Entomologica Argentina	1
Pergamon	1
Revista Peruana de Biología	1
Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia	1
Total	101

Figura 3

Distribución de artículos por año de publicación.

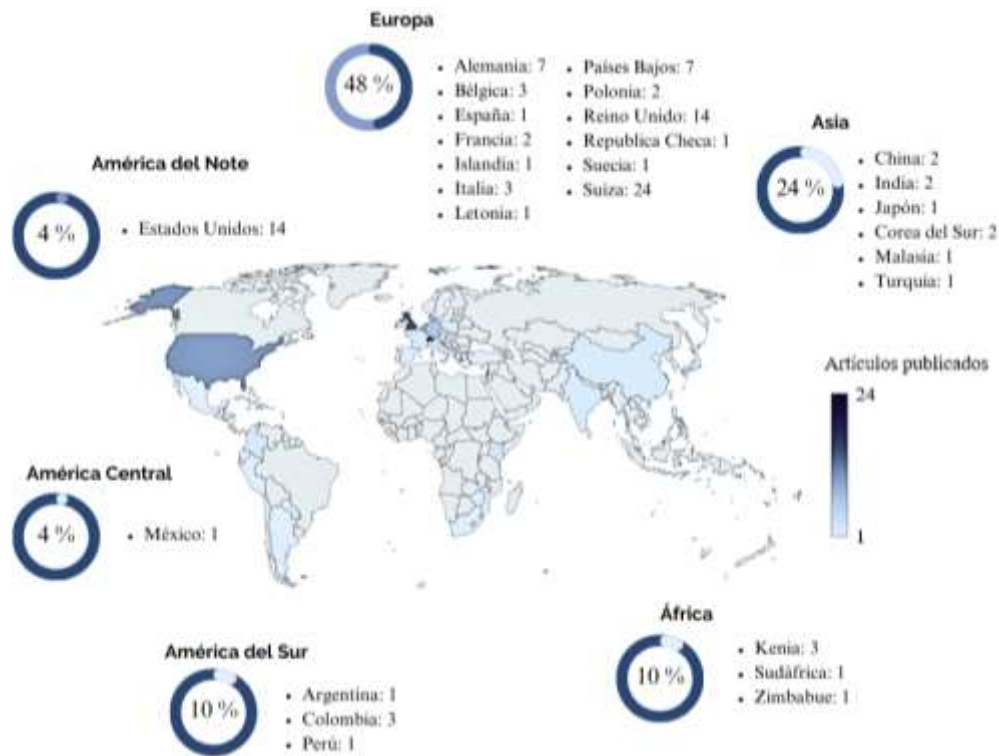


Los artículos fueron clasificados según el país de publicación (ver Figura 4), identificando que Europa se destaca como uno de los continentes que han estado a la vanguardia en la investigación y la promoción de la producción de proteína de insectos, con 48% de la literatura publicada. Específicamente, Suiza contribuyó con 24 y el Reino Unido con 14 de los 101 artículos filtrados. Por otra parte, Asia, con el 24% de los artículos seleccionados, sobresale por su consumo de insectos como parte de la tradición culinaria, y en países como China, India y Corea del Sur crece el interés en la investigación y producción industrial de proteína de insectos para abordar desafíos relacionados con la seguridad alimentaria y la sostenibilidad.

En América, la investigación relacionada con este tema es limitada. Estados Unidos ha sido un país pionero tanto en la investigación como en la comercialización de productos derivados de insectos, contribuyendo con la publicación de 14 artículos. En cambio, Latinoamérica, solo representa el 14% del total de artículos publicados, los cuales se centran exclusivamente en la percepción, aceptación y consumo de insectos por parte de la población hispanohablante.

Figura 4

Distribución geográfica de los artículos seleccionados.

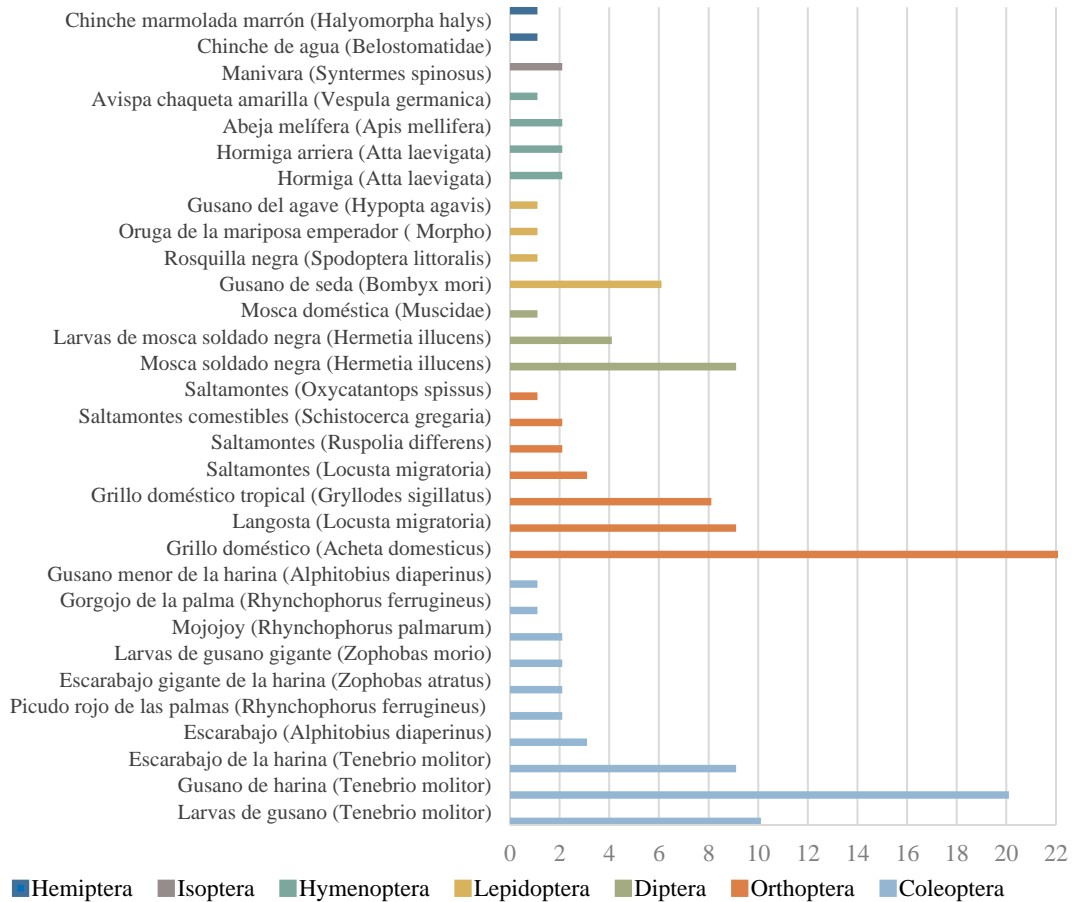


La Figura 5a representa la cantidad de diferentes especies de insectos que se revisaron sistemáticamente en los artículos. Cada barra corresponde a una especie de insecto y su longitud indica la frecuencia con la que esa especie fue revisada en los artículos. Orthoptera (grillo) y Coleóptera (gusano y larvas de gusano) son las especies más estudiadas, con un enfoque en particular en el grillo doméstico (*Acheta domesticus*), gusano de harina (*Tenebrio molitor*) y larvas de gusano (*Tenebrio molitor*), con un total estimado de 22, 20 y 10 menciones respectivamente en los artículos revisados. Las especies menos mencionadas y estudiadas son el chinche marmolada marrón (*Halyomorpha halys*), chinche de agua (*Belostomatidae*) y gusano del agave (*Hypopta agavis*), entre otros. Estos insectos han recibido menos atención en los artículos revisados en comparación con las otras especies.

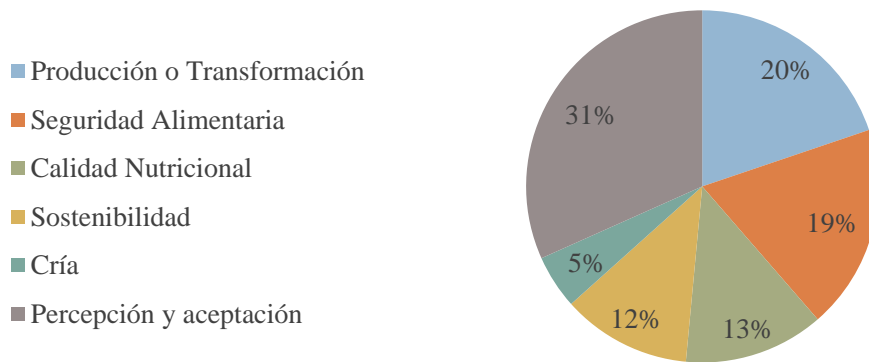
Figura 5

Identificación de estudios por a) Especies de insectos. b) Área de investigación.

a)



b)



Adicionalmente, el tipo de orden taxonómico más mencionado de insectos es Coleóptera, que representa a los gusanos y escarabajos. Este tipo de insectos son ampliamente estudiados y aparecen con mayor frecuencia en los artículos revisados. Le siguen de cerca los Ortóptera (grillo y saltamontes). Esta figura muestra una diversidad de insectos mencionados en los artículos, lo que sugiere que existe un interés en explorar diferentes especies como fuentes de proteínas para la investigación científica.

En la Figura 5b se categorizan los artículos según áreas de investigación, destacando que el 31% se enfocan en la percepción y aceptación del consumo de insectos. Esto resalta la importancia de comprender la actitud de los consumidores hacia este tipo de alimentación. Además, el 20% se centran la producción o transformación de insectos, y el 19% aborda la seguridad alimentaria, reflejando un interés en métodos eficientes, óptimos y garantizando al mismo tiempo que los insectos utilizados como alimento estén libres de contaminantes y patógenos que puedan representar un riesgo para la salud de los consumidores. El 13% de los artículos examinados se enfocan en la calidad nutricional de los insectos, evaluando su contenido de proteínas, grasas, carbohidratos, vitaminas y minerales. Este análisis es esencial para determinar su aptitud como fuente de alimento humano y su viabilidad como alternativa sostenible. Sobre el área de sostenibilidad, representada con 12% de los artículos revisados, es fundamental para garantizar que la producción de proteína de insectos sea realmente una alternativa viable y respetuosa con el medio ambiente en comparación con las fuentes de proteína convencionales. Aunque el área de investigación en cuanto a cría de insectos tiene menos proporción de publicaciones (5%), su importancia en la producción sostenible de proteína de insectos no puede subestimarse. Mejorar las técnicas de cría no solo puede aumentar la eficiencia en la conversión

de alimentos y reducir los residuos, sino que también puede promover el bienestar de los insectos criados y estas son áreas importantes para los tratamientos de la materia prima.

La construcción de las redes bibliométricas se llevó a cabo mediante el uso de la herramienta de software *VOSviewer*, la cual realizó un análisis basado en la co-ocurrencia de artículos empleando algoritmos fundamentados en coeficientes matemáticos como la correlación de Pearson y el coeficiente de Jacard, junto con las palabras clave utilizadas. Las redes bibliométricas obtenidas y relacionadas con la producción de proteína de insectos muestran la repetición de las palabras clave más frecuentes, las cuales pueden aparecer entre 41 y 5 veces en los artículos revisados. Las palabras clave correspondientes al software *WoS*, comprenden 27 términos destacados, tales como: insectos comestibles, comida, entomofagia, alimentar, aceptación del consumidor y voluntad. Por otro lado, se identificaron 20 de las palabras más utilizadas en los artículos encontrados en *Scopus*, entre las que se incluyen: insectos comestibles, animales, química, no humano, proteínas y estudio controlado. En el Apéndice B se muestran las redes obtenidas al utilizar el software *VOSviewer*, y del cual se obtuvo el anterior resultado.

4.3 Producción de proteína a base de insectos para el consumo humano

El trabajo de investigación se formuló con la siguiente pregunta: *¿Cuál es el proceso de producción de proteína de insectos, las variables que intervienen en dicho proceso, la caracterización de los insectos usados y su calidad nutricional?* Con el fin de seguir la metodología propuesta y dar cumplimiento a la pregunta, se priorizaron los siguientes temas de investigación: cría, producción o transformación, y calidad nutricional, conforme a la clasificación de los artículos presentados en la Figura 5b. La elección de estos temas se basó en una visión general del proceso, donde la cría y la producción están directamente relacionados. Además, se optó por incluir el tema

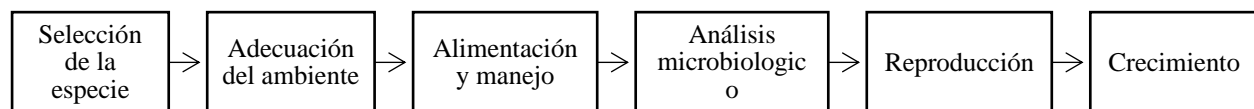
de calidad nutricional, dado que, desde la perspectiva de la ingeniería química, se busca optimizar los procesos y productos desde un ámbito científico y técnico. De esta manera, la integración de estos temas asegura una aproximación coherente y completa para la producción de proteína, de alta calidad, a partir de insectos. Con base en lo anterior, el número de artículos se redujo a un total de 38, lo cual facilita la síntesis y el análisis del trabajo, permitiendo un enfoque más directo hacia la comprensión y desarrollo del tema de interés.

4.3.1 Cría de insectos

La cría de insectos es un sector en crecimiento que está adquiriendo cada vez más relevancia en el ámbito técnico, socioeconómico y medioambiental en la industria de producción de insectos (Lienhard et al., 2023). Los aspectos más importantes a considerar en la cría son: el crecimiento, el tiempo de desarrollo, la tasa de supervivencia, la reproducción de adultos y la mortalidad en todas las etapas del proceso de crianza (Lienhard et al., 2023; Riaz et al., 2023). Las etapas del proceso de cría se presentan en la Figura 6.

Figura 6

Proceso de cría de insectos.



En la cría de insectos, los procesos pueden variar ligeramente dependiendo de la especie específica que se esté criando. Sin embargo, hay ciertos principios generales que suelen aplicarse a la mayoría de las especies de insectos. El proceso de adaptación del ambiente empieza por introducir a los insectos en una cámara climática a una temperatura entre 27 y 30 °C, con una humedad relativa del 60 a 75% y oscuridad constante de fotoperiodo 10:14 (luz/oscuridad) (Niassy

et al., 2022; Lienhard et al., 2023; Dreyer et al., 2021). Las variables clave que influyen en un óptimo crecimiento durante la cría incluyen las condiciones ambientales, dietéticas, los costos y las técnicas de crianza. Entre estas variables, las condiciones ambientales y físicas destacan como las más significativas, con la temperatura y la humedad relativa como los factores más importantes y decisivos para el crecimiento exitoso (Grispoli et al., 2021; Dreyer et al., 2021)

La alimentación adecuada de los insectos conlleva mejoras en la tasa de crecimiento, los tiempos de desarrollo, la fecundidad y supervivencia. La dieta óptima para los insectos consiste en un sustrato compuesto por aproximadamente un 80% a un 85% de carbohidratos, entre un 5% y un 10% de levadura, junto con la adición de vitaminas del complejo B. Entre los sustratos más populares se encuentran el salvado de trigo, la zanahoria, la manzana, el pan blanco, la soja, el germen de trigo, los granos residuales de malta, las castañas, la harina de germen de maíz, y las batatas. (Lienhard et al., 2023; Riaz et al., 2023; Niassy et al., 2022). Para garantizar su hidratación, se les puede ofrecer agua a través de esponjas, lo que ayuda a prevenir posibles ahogamientos (Niassy et al., 2022). El uso de suplementos alimenticios en la cría contribuye al estímulo de los factores de crecimiento. Comúnmente, en la cría masiva se emplea la levadura de cerveza en proporciones del 5% al 10% (Lienhard et al., 2023). Además, se añaden lípidos y carbohidratos en concentraciones moderadas para potenciar el rendimiento del crecimiento y la producción de proteína.

El manejo de la alimentación se basa en una alimentación fresca de vegetales o frutas, lo que implica la necesidad de tamizarlos para evitar la acumulación de heces y la contaminación de los insectos por los excrementos. La falta de una buena higiene en este proceso puede propiciar la proliferación de diferentes poblaciones de microorganismos, incluyendo *bacterias aeróbicas mesofílicas totales*, *Lactobacillus spp*, *enterococos*, y *Staphylococcus spp* (Niassy et al., 2022).

Por lo anterior, un aspecto de gran relevancia es el análisis microbiológico que se lleva a cabo a lo largo de todo el proceso de cría, enfocándose principalmente en los períodos previos y posteriores a la reproducción y crecimiento del insecto. Este análisis comprende el estudio de las propiedades involucradas en el proceso y facilita la evaluación de los posibles efectos adversos del sustrato en la carga microbiana de los insectos, lo que a su vez asegura la inocuidad alimentaria y promueve el consumo humano sin riesgos (Lienhard et al., 2023; Riaz et al., 2023).

Durante el proceso de reproducción, los huevos pueden ser recolectados regularmente y colocados en un ambiente adecuado para la eclosión. Esto puede involucrar bandejas de oviposición, o turbas (Niassy et al., 2022; Lienhard et al., 2023; Dreyer et al., 2021). Las crías recién eclosionadas pueden requerir cuidados especiales, como una dieta específica y condiciones ambientales óptimas para su crecimiento y desarrollo. A medida que las crías crecen, pueden necesitar ser trasladadas a un entorno más grande y adecuado para su desarrollo. También pueden pasar por varias etapas de crecimiento, incluyendo mudas periódicas para alcanzar la madurez (Niassy et al., 2022; Lienhard et al., 2023). Los costos asociados con la cría de insectos se centran en la adquisición de materias primas y la preparación de sustratos antes de la alimentación. Por ello, se promueve el uso de subproductos de alimentos, ya que esto contribuye a la economía circular. Además, se minimiza la adición de suplementos para mantener los costos bajos (Lienhard et al., 2023). Al mismo tiempo, la cría de insectos ofrece ventajas medioambientales significativas, estos requieren menos recursos hídricos y terrenos, emiten menos gases de efecto invernadero y generan menos contaminación a comparación con la ganadería (Lienhard et al., 2023; Dreyer et al., 2021). Este enfoque sostenible no solo ayuda a reducir los costos de producción, sino que también contribuye a mitigar el impacto ambiental de la agricultura. Por lo anterior, la Tabla 4 presenta las condiciones de operación y aspectos a considerar en la cría de insectos.

Tabla 4

Condiciones de operación y aspectos a considerar en la cría de insectos.

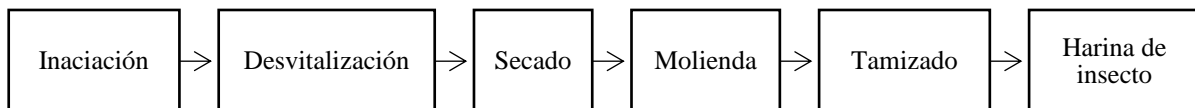
Especie	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Sustrato	Tasa de supervivencia	Crecimiento y tiempo de desarrollo	Fuente
Grillo doméstico (<i>Acheta domestica</i>)	30	70-75	Salvado, verduras y manzana	Los grillos (500 adultos por caja), se criaron en recipiente plástico de 70 cm x 40cm x 40 cm para evitar la densidad de población y así el canibalismo	Los huevos de grillos eclosionan en dos semanas, luego el proceso mudanza de 6 a 12 durante 3 días entre cada una. Este proceso se completó en un periodo de cuatro meses.	(Niassy et al., 2022)
Gusano de harina (<i>Tenebrio molitor</i>)	25 ± 5	60-65	Salvado de trigo, hongos y levaduras	Las tasas de supervivencia variaron entre dietas, en 86.67% a 93.36%, donde el salvado de trigo tuvo la tasa más baja. La deficiencia de vitaminas aumento la mortalidad	El desarrollo de huevo a larva se aceleró con una dieta alta en proteínas, lo que resultó en un tiempo desarrollo de las larvas de 62 a 87 días.	(Cappelli et al., 2020; Riaz et al., 2023)
Larvas de gusano de harina amarillo (<i>Tenebrio molitor</i>)	25-28	≥60	Salvado de trigo, residuos de malta, harina, castañas, batatas, germen de trigo, zanahoria, soja y restos de pan	La tasa de supervivencia varía según el sustrato utilizado, con rangos entre el 100% y el 23%. El sustrato de pan blanco mostró la tasa más alta, mientras que la harina de germen de maíz presentó la más baja.	La dieta de pan blanco y residuos de malta desarrollándose en 42 a 53 días. La dieta de salvado de trigo y zanahoria prolongó este tiempo a 73 días, mientras que los otros sustratos tuvieron un desarrollo más largo, entre 106 y 227 días.	(Lienhardt et al., 2023; Krzyzaniak et al., 2022)
Larvas de mosca soldado negra (<i>Hermetia illucens</i>)	30	70	Salvado de trigo	Las larvas criadas en Shijiazhuang, China. La composición del sustrato es crucial para su supervivencia, puede contener metales y patógenos que aumentan la mortalidad	Las larvas eclosionadas se alimentaron del sustrato y se cultivaron durante 9 días	(Thrastradottir et al., 2021; Wu et al., 2023)

4.3.2 Producción o transformación

La harina de insectos está emergiendo como una alternativa prometedora a las fuentes de proteína convencionales. El proceso de producción de la harina de insecto es ilustrado en la Figura 7. A continuación, se describen en detalle cada uno de estos procesos:

Figura 7

Proceso de producción de la harina de insectos.



- Inanición de insectos

Después de la etapa de cría, en la que se han controlado las condiciones ambientales para asegurar la calidad y seguridad alimentaria durante el desarrollo del insecto, se seleccionan aquellos insectos sanos y de óptima calidad para su posterior procesamiento (Cappelli et al., 2020). Los insectos se someten a un tratamiento de inanición o comúnmente llamado purga, durante 24 h, para eliminar todo el contenido de materia fecal y reducir el microbiota intestinal (Wu et al., 2023; Krzyzaniak et al., 2022; Nyangena et al., 2020; Djouadi et al., 2022).

Luego los insectos son tamizados para separar los residuos no deseados y lavados con agua fría a 4°C (Psarianos et al., 2021) para eliminar cualquier residuo o heces que queda en la superficie del cuerpo (Wu et al., 2023; Krzyzaniak et al., 2022; Nyangena et al., 2020).

- Desvitalización

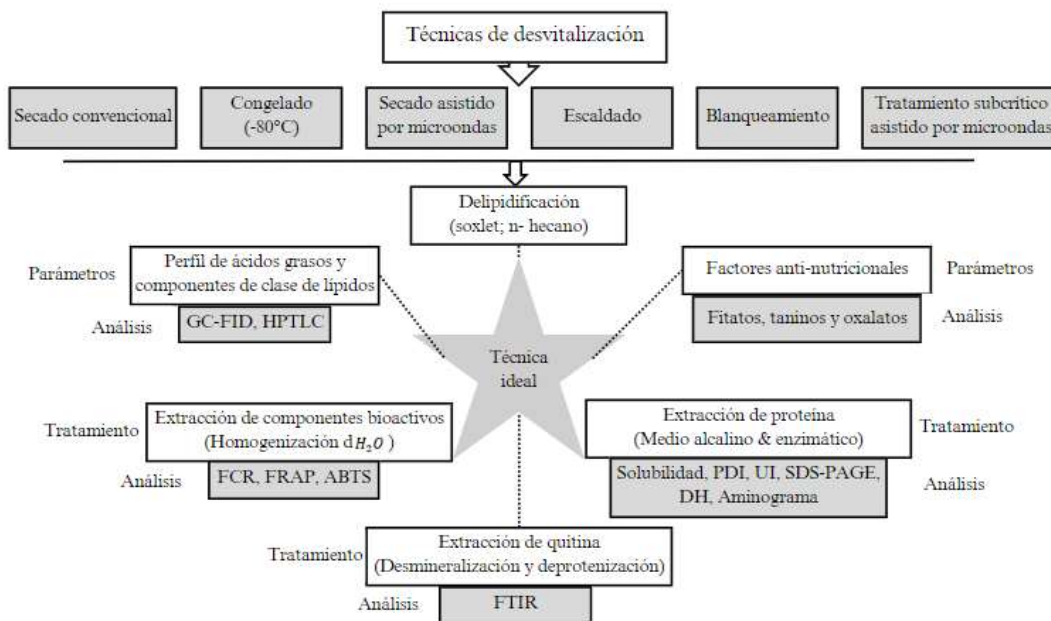
Las técnicas empleadas en este proceso tienen un impacto significativo en las fracciones de proteína, aceite, antioxidantes, compuestos bioactivos y quitina presentes en la harina, así como en la biomasa del insecto (Ravi et al., 2020). Esto es debido a que los insectos comestibles contienen nutrientes que pueden modificarse o degradarse durante el secado, ya que son sensibles al calor, la luz y el oxígeno (Krzyzaniak et al., 2022; Nyangena et al., 2020; Wu et al., 2023; Damasceno et al., 2023). Por ende, los pretratamientos se llevan a cabo antes

del secado para eliminar el exceso de agua superficial de los insectos, lo que reduce tiempo y energía (Wu et al., 2023). Entre los métodos para la desvitalización se encontraron: secado convencional (70°C durante 48h), congelamiento (-80°C durante 24 h) , secado asistido por microondas (450 W durante 20 min), escaldado (insecto sumergido en agua hirviendo durante 5 min), blanqueamiento (insectos expuestos al vapor durante 5 min) y tratamiento subcrítico asistido por microondas (microondas a 900 W a 120°C a 5 bar durante 5 min) (Krzyzaniak et al., 2022; Wu et al., 2023; Ravi et al., 2020).

La Figura 8 ilustra las diversas técnicas de desvitalización, así como los parámetros, tratamientos y análisis pertinentes para seleccionar la técnica más conveniente. Para ello, Ravi et al. (2020) evaluaron varios parámetros de calidad y solubilidad de la proteína.

Figura 8

Representación gráfica de la selección de técnicas ideales de desvitalización.



Nota. Adaptado de (Ravi et al., 2020).

- Tecnologías de secado para insectos comestibles

Tras el anterior pretratamiento, se procede al secado, con el fin de eliminar la mayor cantidad posible de humedad residual en los insectos. Este proceso resulta fundamental para

extender la vida útil de los productos finales, reducir la actividad microbiana y preservar tanto los nutrientes como la calidad sensorial de los insectos secos.

El secado en horno es ampliamente considerado como la tecnología más utilizada para secar insectos a nivel industrial, ya que proporciona una opción relativamente sencilla y económica en términos de consumo energético (Wu et al., 2023; Nyangena et al., 2020). Sin embargo, este método de secado puede presentar ciertas limitaciones, como el riesgo de sobrecalentamiento que podría impactar la calidad sensorial de los insectos (Fombong et al., 2017). Aunque el secado en el horno es una opción viable para secar insectos comestibles enteros, es crucial considerar las condiciones de operación y los parámetros de control para obtener resultados óptimos en términos de calidad y eficiencia del proceso (Wu et al., 2023; Krzyzaniak et al., 2022; Nyangena et al., 2020).

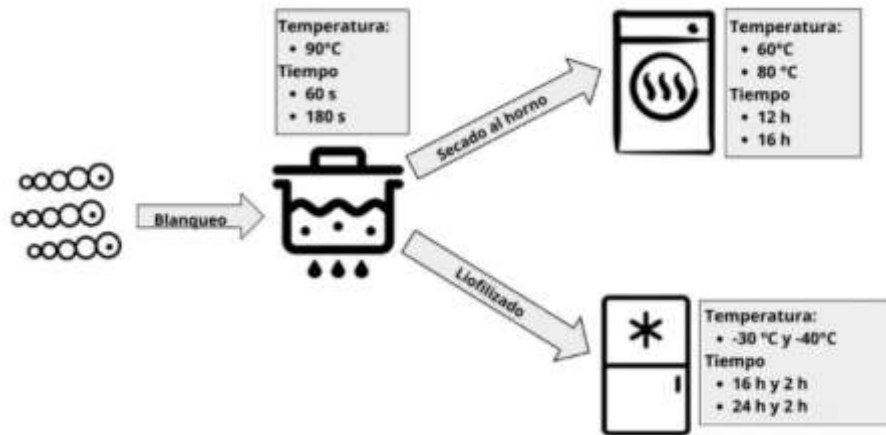
Por otro lado, la liofilización elimina la humedad del material mediante la sublimación de cristales de hielo bajo condiciones de alto vacío y baja temperatura. De esta manera, el color, la forma y el contenido nutricional originales del material pueden conservarse (Wu et al., 2023; Krzyzaniak et al., 2022; Lamberti et al., 2021). Sin embargo, la liofilización tiene una baja eficiencia de secado, alto consumo de energía y capital, y en comparación con otros métodos de secado, el grado de oxidación de lípidos de los insectos después de la liofilización es mayor (Wu et al., 2023; Krzyzaniak et al., 2022; Selaledi & Mabelebele, 2021).

En la Figura 9 muestra el método de pretratamiento de blanqueo y el proceso de secado de larvas de gusano de harina utilizado tanto en el horno como la liofilización.

Otro método es el secado al sol implica el uso de una caja de madera cubierta con plástico transparente y polietileno negro, junto con un marco metálico inclinado para la circulación del aire (Nyangena et al., 2020). Los insectos se secan durante 2-3 días hasta alcanzar un peso constante, con temperaturas internas entre 50 y 60 °C y una humedad relativa del 15 al 25% (Nyangena et al., 2020).

Figura 9

Diagrama de técnicas de presecado y secado a larvas de gusano harina.



Nota. Adaptado de (Krzyzaniak et al., 2022).

Sin embargo, este método puede no eliminar completamente la contaminación microbiana y conlleva el riesgo de nueva contaminación. Además, puede ser más lento y resultar en tiempos de procesamiento prolongados y riesgos de deterioro si no se controla adecuadamente.

Por último, está el secado por microondas, es el método menos empleado en la industria y menos mencionado la literatura. Wu et al., (2023) estudiaron el equipo de secado por microondas de potencia variable (VPM) en larvas de mosca soldado negra. Un método que permite reducir el tiempo de secado, disminuir el consumo energético y garantizar la calidad deseada de los productos secos. Por lo tanto, su propuesta se presenta como una opción prometedora para mejorar los procesos de secado para los insectos comestibles.

En la Tabla 5 se detallan las tecnologías empleadas para el secado, junto con las condiciones operativas y los resultados obtenidos tras el secado en términos de contenido de proteína, fibra, grasa en materia seca (MS) y cenizas para cada especie de insecto.

Tabla 5

Condiciones y composiciones de cada especie de insecto por cada método de secado.

Especie	Método de secado	Temperatura (°C)	Tiempo de secado (h)	Contenido de humedad (%)	Proteína cruda (% MC)	Fibra cruda (% MC)	Grasa cruda (% MC)	Cenizas (g/100g)	Fuente
Larvas de gusano de harina (<i>Tenebrio molitor</i>)	Horno	60	12	4,05	54,5	5,49	30,9	3,52	(Krzyzaniak et al., 2022)
		80	12	3,28	49,4	4,18	38,7	2,8	
Grillo doméstico (<i>Acheta domesticus</i>)	Horno	60	48-72	8,8	53,8	8	17,1	3,5	(Nyangena et al., 2020)
Saltamontes (<i>Ruspolia differens</i>)	Horno	60	48-72	8,3	44,4	4,1	26,7	3,7	(Nyangena et al., 2020)
Mosca soladado negro (<i>Hermetia illucens</i>)	Horno	60	48-72	8,9	37,9	8,5	26,9	3,9	(Nyangena et al., 2020)
Rosquilla negra (<i>Spodoptera littoralis</i>)	Horno	60	48-72	7,2	41,1	6,6	16,9	7,7	(Nyangena et al., 2020)
Gusano de la harina amarillo (<i>Tenebrio molitor</i>)	Horno	120	1	6,33	51,51	6,11	24,63	4,15	(Selaledi & Mabelebele, 2021)
		60	4	8,39	57,0	7,50	27,10	-	(Kröncke et al., 2018)
Larvas de gusano de harina (<i>Tenebrio molitor</i>)	Liofilización	-30	16	5,47	53,3	5,35	39,7	3,55	(Krzyzaniak et al., 2022)
		-40	16	4,79	49,4	5,26	29,5	2,98	
Larvas de gusano de harina (<i>Tenebrio molitor</i>)	Liofilización	-30	24	4,08	47,1	4,05	38,0	2,98	(Krzyzaniak et al., 2022)
		-40	24	4,04	48,1	4,69	37,8	2,89	

Gusano de la harina amarillo <i>(Tenebrio molitor)</i>	Liofilización	-50	24	21,82	51,45	6,04	24,0	4,23	(Selaledi & Mabelebele, 2021)
		-50	24	3,69	53,15	7,75	27,67	-	(Kröncke et al., 2018)
Grillo doméstico <i>(Acheta domesticus)</i>	Solar	50-60	48-72	9,9	53,1	8,1	17,9	3,6	(Nyangena et al., 2020)
Saltamontes <i>(Ruspolia differens)</i>	Solar	50-60	48-72	9,8	42,3	4,2	27,5	3,8	(Nyangena et al., 2020)
Mosca soladado negro <i>(Hermetia illucens)</i>	Solar	50-60	48-72	10,1	37,0	8,5	28,2	3,8	(Nyangena et al., 2020)
Rosquilla negra <i>(Spodoptera littoralis)</i>	Solar	50-60	48-72	9,1	39,7	6,6	17,3	7,6	(Nyangena et al., 2020)
Gusano de la harina amarillo <i>(Tenebrio molitor)</i>	Solar	27-43	24	3,37	50,96	6,20	24,75	4,15	(Selaledi & Mabelebele, 2021)

- Molienda y tamizado.

El proceso de molienda puede llevarse a cabo en molinos de discos industriales para garantizar el tamaño de partícula y así, lograr una granulometría adecuada para la harina (Cappelli et al., 2020; Niassy et al., 2022). El polvo resultante del proceso de molienda se somete a un tamizado para eliminar cualquier posible impureza, utilizando un tamiz de acero inoxidable con una abertura de 0,1 mm, como se indica en el estudio realizado por Ochieng et al., (2023). Este proceso aseguró la obtención de una harina finamente molida, adecuada para su uso en diversas aplicaciones.

- Envasado y almacenamiento.

El producto obtenido se envasa en condiciones de esterilidad y se empaca al vacío (Machado & Silveira Thys, 2019; Cappelli et al., 2020; Niassy et al., 2022). Posteriormente, se almacena a bajas temperaturas para preservar su calidad y se distribuye para su uso como ingrediente en la producción de alimentos (Machado & Silveira Thys, 2019; Cappelli et al., 2020).

Basándose en lo anteriormente expuesto, las harinas de insectos emergen como una opción con potencial para fortificar productos elaborados a partir de cereales. En la Tabla 7 se detallan los procesos de producción de algunos productos basados en insectos identificados en la revisión de los artículos. Estos productos se distinguen por sus niveles destacados de proteínas, aminoácidos esenciales y perfiles minerales (Ochieng et al., 2023).

Tabla 6

Procesos de producción de productos a partir de insectos.

Producto	Proceso	Caracterización	Fuente
Galletas enriquecidas con harina de insectos de grillo (<i>Ruspolia difereus</i>)	Grillos sometidos a diferentes métodos de presecado. Mezcla de azúcar, sal, harina de trigo y grillo, manteca y levadura. Proteína del 10% según normas de Kenia.	Según la AOAC, se analiza humedad, carbohidratos, proteínas, cenizas, fibra, aminoácidos, ácidos grasos y minerales.	(Ochieng et al., 2023)
Tortilla y chips de tortilla de grillo doméstico (<i>Ancheta domesticus</i>)	Mezcla de grillos con agua, pasteurización a 90°C por 15 min, ajuste de temperatura y pH, calentamiento, centrifugado, liofilización. Los productos contenían un 20% p/p de proteína.	Las tortillas y chips presentaron un contenido de proteínas de 67,4 a 70,6% derivadas de los péptidos del grillo, así como de aminoácidos esenciales, siendo la lisina la más destacada.	(Luna et al., 2021)
Chips de patatas fritas horneadas de grillo	Mezcla de harina de grillo, maíz y tapioca, goma xantana, queso, sal, azúcar, leche, pimentón, levadura, bicarbonato de sodio y aceite. Se tamiza, amasa, fermenta y hornea.	Formuladas con un 10% de polvo de grillo. Alto contenido de hierro y calcio, 15,04% de proteínas.	(Cheng et al., 2022)
Leche a base de larvas (<i>Tenebrio molitor</i>)	Almacenamiento de larvas congeladas, molienda húmeda, separación centrífuga, mezclado, homogeneización, enfriamiento.	La leche contiene 20,1 % de proteína bruta, 9,91 % de lípidos, 1,9 % de hidratos de carbono y 1,9 % de fibra	(Tello et al., 2021)
Biscochos horneados de gusano de harina (<i>Alphitobius diaperinus</i>)	Mezcla de harina de trigo y gusano de harina, agua, masa madre y levadura. Se hornea, enfría, rebana y tosta.	Eficiencia en la producción, contenido proteico de 11% a 59%, aminoácidos esenciales y minerales.	(Roncolini et al., 2020)
Pan sin gluten de polvo de grillo (<i>Gryllus assimilis</i>)	Mezcla de ingredientes, fermentación, horneado.	Enriquecimiento con polvo de grillo mejora propiedades tecnológicas y nutricionales del pan.	(Machado & Silveira Thys, 2019)
Panecillos horneados de polvo de saltamontes (<i>Locusta Migratoria</i>) y gusano de la harina (<i>Tenebrio molitor</i>)	Mezcla de ingredientes (Reemplazo de harina de trigo con polvos de insectos), secos y húmedos, batido, horneado.	Aumento significativo en proteínas del 12, 91% y grasas del 36,56%, reducción de carbohidratos, cambios en estructura y humedad.	(Cabuk, 2021)
Galletas saludables a base de larva de gusano (<i>Tenebrio molitor</i>)	Proceso estándar para preparación de galletas con incorporación de harina de larvas de gusano, secos y húmedos, formación de masa, laminado, corte, horneado.	Enriquecidas con larva de gusano de harina, mayor contenido proteico del 13, 90% de las galletas y cambios en la composición mineral.	(Djouadi et al., 2022)

4.3.3. Calidad nutricional

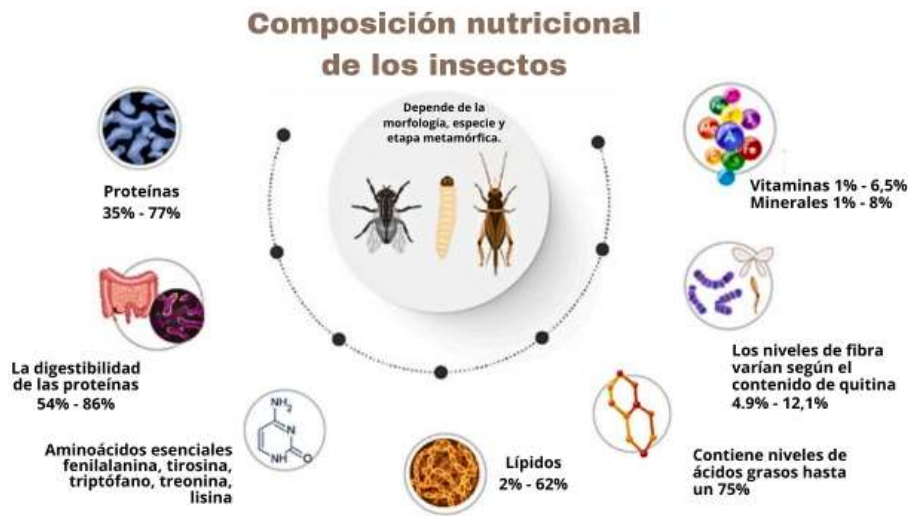
Evaluar la calidad nutricional de los insectos como fuentes potenciales de proteína es crucial para determinar su idoneidad para el consumo humano. Proporciona información esencial sobre su capacidad para satisfacer los requerimientos nutricionales de manera equilibrada y sostenible (Ivanisova et al., 2023; Miron et al., 2023; Ortola et al., 2022).

Además de considerar la cantidad de proteína que ofrecen, es fundamental evaluar otros aspectos nutricionales como la digestibilidad, el perfil de aminoácidos y el contenido de vitaminas y minerales (Ivanisova et al., 2023; Miron et al., 2023; Ortola et al., 2022; Brogan et al., 2021; Kurecka et al., 2021; Orkusz, 2021; Koehler et al., 2019; Soares Araujo et al., 2019; Adamkova et al., 2017). Este análisis no solo se centra en la cantidad de proteína o nutrientes que los insectos pueden ofrecer, sino también en cómo su composición nutricional se compara con otras fuentes de alimentos tradicionales (Ivanisova et al., 2023; Kamau et al., 2018). Por lo tanto, entender la importancia de la calidad nutricional en la evaluación de los insectos como alimento es fundamental para explorar su potencial como una alternativa de alto valor nutricional, que a su vez resulta ambientalmente sostenible en la dieta humana y que contribuye con la seguridad y la soberanía alimentaria (Koehler et al., 2019, Soares Araujo et al., 2019).

La composición nutricional de los insectos puede variar, dependiendo de la especie, estado metamórfico, la etapa del ciclo de vida, la alimentación, condiciones ambientales, el manejo y la cría de los insectos (Ivanisova et al., 2023; Rivas-Navia et al., 2023; Ortola et al., 2022; Kurecka et al., 2021; Brogan et al., 2021). Los parámetros generales que determinan la calidad nutricional de los insectos se presentan en la Figura 10.

Figura 10

Composición nutricional de los insectos.



Nota. Adaptado de (Rivas-Navia et al., 2023).

- Contenido proteico.

Los insectos comestibles son considerados una prometedora fuente de proteínas para la industria alimentaria debido a su alto valor nutricional, con valores que oscilan entre 20 y el 75% en materia seca (Adamkova et al., 2017; Soares Araujo et al., 2019), lo que es comparable al contenido de materia cruda en productos comunes de origen animal (Adamkova et al., 2017).

En La Tabla 7 muestra la composición de proteínas en diferentes especies de insectos encontradas en la literatura, destacando que el grillo contiene la mayor cantidad de proteínas en comparación con otras especies de insectos.

Tabla 7

Contenido de proteína cruda de diferentes especies de insectos.

Especie de insecto	Contenido de proteína cruda (%)	Fuente
Grillos domésticos (<i>Acheta domestica</i>)	≥70	(Ivanisova et al., 2023; Adamkova et al., 2017; Brogan et al., 2021; Brogan et al., 2023; Mwangi et al., 2018)
Langosta (<i>Locusta migratoria</i>)	71,20	(Brogan et al., 2023)

Pupas de escarabajo (<i>Alphitobius diaperinus</i>)	70	(Kurecka et al., 2021)
Grillo doméstico tropical (<i>Gryllus assimilis</i>)	65,52	(Soares Araujo et al., 2019; Mwangi et al., 2018)
Larvas de escarabajo (<i>Alphitobius diaperinus</i>)	63,5	(Kurecka et al., 2021)
Gusano de seda (<i>Bombyx mori</i>)	53,07	(Brogan et al., 2023)
Larva de gusano de harina (<i>Tenebrio molitor</i>)	52	(Adamkova et al., 2017)
Larva de gusano de harina (<i>Zophobas morio</i>)	46,80	(Soares Araujo et al., 2019)
Larva de gusano gigante (<i>Zophobas morio</i>)	46	(Adamkova et al., 2017)
Termita (<i>Macrotermes subhyalinu</i>)	48,8	(Mwangi et al., 2018)
Gusano de la palmera (<i>Rhynchophorus palmarum</i>)	28	(Mwangi et al., 2018)
Gusano de la harina amarillo (<i>Tenebrio molitor</i>)	51,7	(Mwangi et al., 2018)

- Evaluación de la digestibilidad y comparación con otras fuentes de proteína.

La digestibilidad de las proteínas de los insectos se refiere a la facilidad con la que el cuerpo humano puede descomponer y absorber estas proteínas (Adamkova et al., 2017). Diferentes especies de insectos pueden tener diferentes niveles de digestibilidad debido a factores como su composición nutricional, la forma en que se preparan y procesan, y la presencia de nutrientes (Adamkova et al., 2017; Kurecka et al., 2021; Brogan et al., 2021; Koehler et al., 2019). Un estudio ha demostrado que la digestibilidad de las proteínas de los insectos alcanza entre el 86% y el 89%, lo que significa que el cuerpo puede aprovechar eficientemente los nutrientes que proporcionan (Adamkova et al., 2017).

Los insectos comestibles representan actualmente una prometedora fuente de proteína para la industria alimentaria debido a su valor nutricional destacado. En comparación directa con las proteínas convencionales, se ha demostrado que los insectos son más sostenibles, ya que requieren considerablemente menos recursos para su producción (Ivanisova et al., 2023; Kurecka et al., 2021). De hecho, Ivanisova et al., (2023), indican que los insectos necesitan hasta 10 veces menos alimento que el ganado para generar la misma cantidad de proteína. Además, la producción de harina de insecto no solo se utiliza como ingrediente principal en

productos alimenticios, sino también como fortificante, complementando y reemplazando alimentos para proporcionar un aporte adicional de nutrientes, especialmente de proteínas (Ortola et al., 2022; Ivanisova et al., 2023).

- Lípidos y ácidos grasos.

Los lípidos son elementos primordiales al evaluar la composición nutricional de los insectos, ya que desempeñan un papel fundamental en la dieta humana al servir como una fuente esencial de energía y cumplir funciones cruciales tanto estructurales como metabólicas en el organismo (Brogan et al., 2023; Orkusz, 2021). El valor nutricional de los lípidos está determinado por la composición cuantitativa y cualitativa de los ácidos grasos, hasta un 75% de esta grasa consiste en ácidos grasos insaturados, principalmente ácidos poliinsaturados omega-3, fundamentales para estimular el crecimiento, el desarrollo y la protección contra enfermedades cardíacas (Orkusz, 2021). Además, estos insectos contienen una variedad completa de ácidos grasos, que incluyen ácidos poliinsaturados como el ácido linoleico y linolénico (ácidos grasos omega-6 y omega-3, respectivamente), así como ácidos grasos saturados (Rivas-Navia et al., 2023).

- Vitaminas y minerales.

Las vitaminas y minerales son nutrientes esenciales que influyen en la calidad nutricional de los insectos, estos componentes tienen una función reguladora en el organismo, que influyen en el desarrollo y rendimiento del cuerpo humano (Orkusz, 2021).

Los insectos son ricos en una amplia gama de minerales, que incluyen sodio, potasio, calcio, fósforo, magnesio, hierro, zinc, cobre, manganeso y yodo, así como en vitaminas como la A, E, B1, B2, B3, B6, B12 y C (Orkusz, 2021). La presencia de vitaminas y minerales en los insectos puede variar según la especie, la alimentación y otros factores ambientales. Entre los micronutrientes más importantes se encuentran el hierro, el zinc, la vitamina A y el yodo (Martin N. Mwangi; Orkusz, 2021).

- Perfil de aminoácidos.

Además de su alto contenido proteico, los insectos también ofrecen un perfil completo de aminoácidos. Algunos estudios han confirmado que los insectos comestibles contienen una amplia gama de aminoácidos esenciales en proporciones adecuadas para satisfacer las necesidades nutricionales humanas (Ivanisova et al., 2023; Adamkova et al., 2017; Kurecka et al., 2021; Brogan et al., 2021; Koehler et al., 2019). Los aminoácidos esenciales destacados incluyen Histidina, Leucina, Isoleucina, Lisina, Metionina + cistina, Fenilalanina + tirosina, Treonina, Valina y Triptófano, se presentan en la tabla 9; por otro lado, en la tabla 10 se presentan los ácidos no esenciales como Alanina, Arginina, Ácido aspártico, Ácido glutámico, Glicina, Prolina y Serina, según señala (Miron et al., 2023; Koehler et al., 2019).

El alto contenido de ácido glutámico y tirosina en todas las especies de insectos analizadas resalta su valor nutricional como fuente de proteínas, debido a su importancia para funciones como el sistema nervioso y la síntesis de neurotransmisores. (Koehler et al., 2019; Kurecka et al., 2021; Brogan et al., 2021).

Además de su alto contenido proteico, los insectos también ofrecen un perfil completo de aminoácidos. Algunos estudios han confirmado que los insectos comestibles contienen una amplia gama de aminoácidos esenciales en proporciones adecuadas para satisfacer las necesidades nutricionales humanas (Ivanisova et al., 2023; Adamkova et al., 2017; Kurecka et al., 2021; Brogan et al., 2021; Koehler et al., 2019).

En la Tabla 8 se detallan los aminoácidos esenciales contenidos en los insectos, donde cumplen o superan los valores recomendados por la FAO, la WHO y la UNU para adultos en la mayoría de los aminoácidos esenciales, con algunas excepciones menores. Sin embargo, para los bebés, algunos aminoácidos no alcanzan los valores recomendados, como la metionina y el triptófano, por lo que puede ser necesario complementar su dieta con otras fuentes de proteínas

para asegurar una ingesta adecuada de todos los aminoácidos esenciales (Brogan et al., 2021; Joint, F.A.O., 1985).

Por otro lado, en la Tabla 9 se presentan los ácidos no esenciales entre los que se encuentran Alanina, Arginina, Ácido aspártico, Ácido glutámico, Glicina, Prolina y Serina, según señala (Miron et al., 2023; Koehler et al., 2019). Aunque no se considerados esenciales en la dieta humana debido a que el cuerpo humano puede sintetizarlos a partir de otras fuentes, siguen siendo fundamentales para el funcionamiento del sistema nervioso y la síntesis de neurotransmisores, lo que destaca el potencial valor nutricional de los insectos como una fuente de proteínas (Koehler et al., 2019; Kurecka et al., 2021; Brogan et al., 2021).

Tabla 8

Contenido de aminoácidos esenciales por 100 g de muestra de insecto.

Aminoácidos esenciales (g/100g proteína)	Grillo doméstico (<i>Acheta domesticus</i>)	Langosta (<i>Locusta migratoria</i>)	Gusano de seda (<i>Bombyx mori</i>)	Grillo doméstico tropical (<i>Gryllus assimilis</i>)	Pupas de escarabajo (<i>Alphitobius diaperinus</i>)	Larvas de escarabajo (<i>Alphitobius diaperinus</i>)	FAO/WHO/UNU	
							Adultos	Bebes
Fenilalanina	2,34	2,03	2,68	1,94	5,1	4,6	1,9	7,2
Histidina	1,52	1,56	1,69	1,17	-	-	1,6	2,6
Isoleucina	2,91	2,92	2,35	2,08	3,8	4,0	1,3	4,6
Leucina	4,83	5,04	3,70	4,08	5,9	6,1	1,9	9,3
Lisina	3,90	3,64	3,68	3,01	5,9	6,2	1,6	6,6
Metionina	1,10	0,90	1,49	0,82	1,8	1,9	1,7	4,2
Treonina	2,54	2,33	2,27	2,14	3,9	3,9	0,9	4,3
Triptófano	0,68	0,52	0,90	0,53	-	-	0,5	1,7
Valina	3,84	4,18	2,13	3,45	5,1	5,1	1,3	5,5
Fuente	(Brogan et al., 2021)	(Brogan et al., 2021)	(Brogan et al., 2021)	(Koehler et al., 2019)	(Kurecka et al., 2021)	(Kurecka et al., 2021)	(Joint, F.A.O., 1985)	

Tabla 9

Contenido de aminoácidos no esenciales por 100 g de muestra de insecto.

Aminoácidos no esenciales (g/100g proteína)	Grillo doméstico (<i>Acheta domestica</i>)	Langosta (<i>Locusta migratoria</i>)	Gusano de seda (<i>Bombyx mori</i>)	Grillo doméstico tropical (<i>Gryllus assimilis</i>)	Pupas de escarabajo (<i>Alphitobius diaperinus</i>)	Larvas de escarabajo (<i>Alphitobius diaperinus</i>)
Ácido aspártico	5,66	4,74	5,22	5,58	8,1	7,9
Ácido glutámico	6,48	6,20	4,99	5,11	10,0	10,5
Alanina	5,89	7,56	2,46	4,45	6,3	7,0
Arginina	4,04	3,84	2,76	3,47	5,0	5,0
Cisteína	0,55	0,47	0,72	0,49	1,7	2,1
Glicina	3,50	3,94	2,35	2,59	3,8	4,0
Histidina	-	-	-	-	4,1	3,8
Prolina	3,54	4,31	1,96	2,74	5,9	6,1
Serina	2,87	2,22	1,98	3,20	3,8	3,1
Tirosina	3,18	3,63	3,19	5,16	9,1	7,1
Fuente	(Brogan et al., 2021)	(Brogan et al., 2021)	(Brogan et al., 2021)	(Kurecka et al., 2021)	(Kurecka et al., 2021)	(Kurecka et al., 2021)

Finalmente, los insectos poseen una composición nutricional altamente beneficiosa, destacando por su alto contenido de proteínas, digestibilidad, presencia de aminoácidos esenciales, vitaminas, minerales, niveles adecuados de fibra, ácidos grasos y lípidos (Thrastardottir et al., 2021). En contraste, existen dos tipos de proteína: la proteína animal, derivada de carnes, pescado, huevos, productos lácteos y otros animales no convencionales conocida comúnmente como la proteína no tradicional; y la proteína de origen vegetal encontrada en granos, legumbres, frutos secos y semillas (Cárdenas, 2023). Por lo anterior, para obtener una mejor comprensión de las distintas fuentes de proteína y para ayudar en la elección que mejor se adapte a cada una de las necesidades, la Tabla 10 presenta una comparativa entre las diferentes opciones, permitiendo así identificar las diferencias entre las diversas fuentes de proteínas disponibles.

Tabla 10.

Comparación de fuentes de proteína.

Aspecto	Proteína Animal Convencional	Proteína Vegetal	Proteína Animal no tradicional (insectos)
Origen	Generalmente de animales (ganado, aves, peces, etc.).	De plantas (soja, guisantes, lentejas, etc.).	De insectos (grillos, saltamontes, gusanos de la harina, etc.).
Calidad Proteica	Contenido proteico de 20-30 %. Completa, contiene todos los aminoácidos esenciales.	Contenido proteico de 10-30 %. Puede ser completa o incompleta, dependiendo de la fuente.	Contenido proteico de 50-70 %. Completa, contiene todos los aminoácidos esenciales.
Digestibilidad	Alta, fácilmente digerida por el cuerpo humano.	Varía según la fuente y el procesamiento, generalmente buena.	Alta, algunas fuentes pueden ser más digeribles que otras.
Contenido de Grasa	Varía según el tipo de carne, algunas pueden ser altas en grasas saturadas.	Bajo en grasas saturadas, generalmente contiene grasas saludables.	Bajo en grasas saturadas, algunas fuentes pueden contener grasas saludables.
Contenido de Fibra	Ninguna.	Alta, puede ser una buena fuente de fibra dietética.	Depende según el contenido de quitina.
Contenido de vitaminas	Dependiendo de los factores como la dieta del animal o procesamiento.	Depende el suelo en el que se cultivan las plantas o procesamiento.	Depende de los métodos utilizados durante la cría o transformación.

Continuación tabla...

Aspecto	Proteína Animal Convencional	Proteína Vegetal	Proteína Animal no tradicional (insectos)
Contenido de minerales	Varía según el tipo de carne, algunas son buenas fuentes de minerales.	Puede ser una buena fuente de minerales, pero la biodisponibilidad puede ser menor que en la carne.	Buena fuente de minerales, algunas fuentes pueden ser más biodisponibles que otras.
Sostenibilidad	Varía según las prácticas de producción, puede tener un impacto ambiental significativo.	Generalmente más sostenible en términos de uso de recursos naturales y emisiones de gases de efecto invernadero.	Considerada más sostenible que la carne convencional debido a su menor impacto ambiental y requerimientos de recursos.
Alérgenos	Puede causar alergias alimentarias en algunas personas.	Menos propenso a causar alergias alimentarias que la carne.	Puede causar alergias en algunas personas, pero es menos común que con otros alimentos.
Fuente	Soares Araujo et al., 2019; Koehler et al., 2019; Ivanisova et al., 2023; Adamkova et al., 2017; Ortola et al., 2022; Ravagli, 2021	Soares Araujo et al., 2019; Ortola et al., 2022; Brogan et al., 2021; Ravagli, 2021	Soares Araujo et al., 2019; Koehler et al., 2019; Ivanisova et al., 2023; Adamkova et al., 2017; Ortola et al., 2022; Kurecka et al., 2021; Brogan et al., 2021; Ravagli, 2021

5. Conclusiones

Se seleccionó la información relevante mediante análisis sistemático utilizando la metodología PRISMA. Este enfoque permitió identificar 22.443 documentos. A partir de un proceso de filtrado por título, resumen y contenido, se obtuvieron 101 trabajos de investigación que se centraron en la producción o transformación, cría, calidad nutricional, seguridad alimentaria, sostenibilidad, tipo de insecto, percepción y aceptación de proteínas provenientes de insectos para el consumo humano.

La información seleccionada fue documentada y organizada, y reveló que el 20% de los artículos estaban relacionados con la producción o transformación de proteínas a partir de insectos, destacando el grillo doméstico (*Acheta domesticus*) como la especie más estudiada, seguida del gusano de harina (*Tenebrio molitor*) y, un poco más lejos, las larvas de gusano (*Tenebrio molitor*). La mayoría de los artículos identificados se publicaron entre el 2021 y 2023 resaltando el creciente interés sobre el tema. Además, se destaca el liderazgo de Europa en el campo de investigación, sobresaliendo con un 48%.

El análisis realizado con la información recopilada sobre el aprovechamiento de insectos para la producción de proteína enseña un panorama prometedor, donde se evidenció el potencial de los insectos como fuente de proteína en tres áreas: cría, producción de harina y calidad nutricional. La cría implica varias etapas, se realiza en condiciones controladas y se destaca su bajo impacto ambiental. La producción de harina involucra desvitalización, secado, molienda y tamizado, con énfasis en técnicas eficientes y seguridad del producto. La harina resultante se utiliza en diversos productos, que pueden contener entre un 12% y 70% de proteína. La calidad nutricional en la producción de proteína a partir de insectos resalta la importancia de los insectos como una valiosa fuente de nutrientes esenciales, como proteínas, lípidos, vitaminas, minerales, fibra, aminoácidos y ácidos grasos esenciales. Esta diversidad

nutricional los convierte en una alternativa prometedora para mejorar la seguridad y la soberanía alimentaria, así como la sostenibilidad ambiental a partir de productos derivados de insectos.

6. Recomendaciones

Se recomienda explorar más a fondo las áreas de percepción y aceptación, seguridad alimentaria y sostenibilidad con el propósito de comprender mejor las necesidades y demandas de los consumidores, así como para asegurar la integridad y seguridad de los alimentos. Además, esta investigación ayudaría a promover prácticas más sostenibles en la industria alimentaria, lo que contribuiría a una producción más responsable y respetuosa con el medio ambiente.

Dado el creciente interés en el tema en Colombia, se recomienda continuar con la línea de investigación en la entomofagia. Este campo no es recurrente en las investigaciones actuales, lo que brinda una oportunidad única para contribuir al conocimiento científico y explorar nuevas perspectivas en este campo poco explorado en el país.

Referencias Bibliográficas

Adamkova, A., Mlcek, J., Kourimska, L., Borkovcova, M., Busina, T., Adamek, M., Bednarova, M., & Krajsa, J. (2017). Nutritional Potential of Selected Insect Species Reared on the Island of Sumatra. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(5), 521. [10.3390/ijerph14050521](https://doi.org/10.3390/ijerph14050521)

Arango Gutiérrez, G. P. (2005). Los insectos: una materia prima alimenticia. *Revista Lasallista de Investigación*, 33-37.

Arévalo Arévalo, H., Vernot, D., & Barragán-Fonseca, K. (2022). Perspectivas de uso sostenible del grillo doméstico tropical (*Gryllobates sigillatus*) para la alimentación humana en Colombia. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 69(3), 310-324. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v69n3.98890>

Beltrán, J. S. (2019). Caracterización nutricional de las especies de hormiga culona (*Atta laevigata*) el gusano mojoy (Anthonomus grandis) y la de grillo común (*Acheta domestica*), en el departamento de Santander, para su implementación en preparaciones gastronómicas. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12749/11816>

Blanco Gómez, David & Rubio, Eva & Marin, Marta & Agustina, B.. (2021). Propuesta metodológica para revisión sistemática en el ámbito de la ingeniería basada en PRISMA.

Brogan, E. N., Park, Y., Matak, K. E., & Jaczynski, J. (2021). Characterization of protein in cricket (*Acheta domestica*), locust (*Locusta migratoria*), and silk worm pupae (*Bombyx mori*) insect powders. *Lwt-Food Science and Technology*, 152, 112314. [10.1016/j.lwt.2021.112314](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112314)

Brogan, E. N., Park, Y., Shen, C., Matak, K. E., & Jaczynski, J. (2023). *Characterization of lipids in insect powders*. Elsevier BV. [10.1016/j.lwt.2023.115040](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115040)

Cabuk, B. (2021). Influence of grasshopper (*Locusta Migratoria*) and mealworm (*Tenebrio molitor*) powders on the quality characteristics of protein rich muffins: nutritional, physicochemical, textural and sensory aspects. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(4), 3862-3872. 10.1007/s11694-021-00967-x

Cadinu, L. A., Barra, P., Torre, F., Delogu, F., & Madau, F. A. (2020). Insect Rearing: Potential, Challenges, and Circularity. *Sustainability*, 12, 4567. <https://doi.org/10.3390/su12114567>

Cappelli, A., Oliva, N., Bonaccorsi, G., Lorini, C., & Cini, E. (2020). Assessment of the rheological properties and bread characteristics obtained by innovative protein sources (*Cicer arietinum*, *Acheta domesticus*, *Tenebrio molitor*): Novel food or potential improvers for wheat flour? *Lwt-Food Science and Technology*, 118, 108867. 10.1016/j.lwt.2019.108867

Cheng, K. M., Leong, K. N., & Chan, S. W. (2022). Cricket as an alternative source of protein in the development of nutritious baked chips. *Rynnye Lyan Resources*. 10.26656/fr.2017.6(s2).018

Damasceno, B. C., Nakajima, M., Taarji, N., Kobayashi, I., Ichikawa, S., & Neves, M. A. (2023). Improvements in Visual Aspects and Chemical, Techno-Functional and Rheological Characteristics of Cricket Powder (*Gryllus bimaculatus*) by Solvent Treatment for Food Utilization. *Foods*, 12(7), 1422. 10.3390/foods12071422

Djouadi, A., Sales, J. R., Carvalho, M. O., & Raymundo, A. (2022). Development of Healthy Protein-Rich Crackers Using *Tenebrio molitor* Flour. *Foods*, 11(5), 702. 10.3390/foods11050702

Dreyer, M., Hörtenhuber, S., Zollitsch, W., Jäger, H., Schaden, L., Gronauer, A., & Kral, I. (2021). Environmental life cycle assessment of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) production for human consumption in Austria – a comparison of mealworm and broiler as protein source. Springer Science and Business Media LLC. 10.1007/s11367-021-01980-4

Fombong, F. T., Van Der Borgh, M., & Vanden Broeck, J. (2017). Influence of Freeze-Drying and Oven-Drying Post Blanching on the Nutrient Composition of the Edible Insect *Ruspolia differens*. MDPI AG. 10.3390/insects8030102

Grispoldi, L., Karama, M., El-Ashram, S., Saraiva, C. M., Garcia-Diez, J., Chalias, A., Barbera, S., & Cenci-Goga, B. T. (2021). Hygienic Characteristics and Detection of Antibiotic Resistance Genes in Crickets (*Acheta domesticus*) Breed for Flour Production. *Microbiology Research*, 12(2), 503-512. 10.3390/microbiolres12020034

Guiné, R. P. F., Florença, S. G., Costa, C. A., Correia, P. M. R., Ferreira, M., Cardoso, A. P., Campos, S., Anjos, O., Chuck-Hernández, C., Sarić, M. M., Djekic, I., Papageorgiou, M., Baro, J. M. F., Korzeniowska, M., Černelič-Bizjak, M., Bartkiene, E., Tarcea, M., Boustani, N. M., Klava, D., & Damarli, E. (2022). Investigation of the Level of Knowledge in Different Countries about Edible Insects: Cluster Segmentation. MDPI AG. 10.3390/su15010450

Joint, F. A. O., (1985). Energy and protein requirements: Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation. No. 724). In Technical report series (WHO). World Health Organization.

Hill, R. W., & Wyse, G. A. (2006). *Fisiología Animal*. (pp. 107-108) Madrid: Médica Panamericana S.A.

Huis, A. v., Itterbeeck, J. V., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. (2013). Edible insects: future prospects for food and feed security. FAO, 20-30.

Ivanisova, E., Rajnoha, M., Harangozo, L., Kunecova, D., Cech, M., Gabriny, L., Galik, B., Banach, J. K., Kowalczewski, P. L., & Pietrzak-Fiecko, R. (2023). Physicochemical, Nutritional, Antioxidant, and Sensory Properties of Crackers Supplemented with Edible Insects. *Applied Sciences-Basel*, 13(21), 11911. 10.3390/app132111911

Kamau, E., Mutungi, C., Kinyuru, J., Imathiu, S., Tanga, C., Affognon, H., Ekesi, S., Nakimbugwe, D., & Fiaboe, K. K. M. (2018). *Moisture adsorption properties and shelf-life estimation of dried and pulverised edible house cricket *Acheta domesticus* (L.) and black soldier fly larvae *Hermetia illucens* (L.)*. Elsevier BV. 10.1016/j.foodres.2018.01.012

Koehler, R., Kariuki, L., Lambert, C., & Biesalski, H. K. (2019). Protein, amino acid and mineral composition of some edible insects from Thailand. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 22(1), 372-378. 10.1016/j.aspen.2019.02.002

Kröncke, N., Bösch, V., Woyzichowski, J., Demtröder, S., & Benning, R. (2018). Comparison of suitable drying processes for mealworms (*Tenebrio molitor*). Elsevier BV. 10.1016/j.ifset.2018.10.009

Krzyzaniak, M., Aljewicz, M., Bordiean, A., & Stolarski, M. J. (2022). Yellow Mealworm Composition after Convective and Freeze Drying-Preliminary Results. *Agriculture-Basel*, 12(2), 149. 10.3390/agriculture12020149

Kurecka, M., Kulma, M., Petrickova, D., Plachy, V., & Kourimska, L. (2021). Larvae and pupae of *Alphitobius diaperinus* as promising protein alternatives. *European Food Research and Technology*, 247(10), 2527-2532. 10.1007/s00217-021-03807-w

Lamberti, C., Nebbia, S., Cirrincione, S., Brussino, L., Giorgis, V., Romito, A., Marchese, C., Manfredi, M., Marengo, E., Giuffrida, M. G., Rolla, G., & Cavallarin, L. (2021). Thermal processing of insect allergens and IgE cross-recognition in Italian patients allergic to shrimp, house dust mite and mealworm. *Food Research International*, 148, 110567. 10.1016/j.foodres.2021.110567

Lienhard, A., Rehorska, R., Poellinger-Zierler, B., Mayer, C., Grasser, M., & Berner, S. (2023). Future Proteins: Sustainable Diets for *Tenebrio molitor* Rearing Composed of Food By-Products. *Foods*, 12(22), 4092. 10.3390/foods12224092

Luna, G. C., Martin-Gonzalez, F. S., Mauer, L. J., & Liceaga, A. M. (2021). Cricket (*Acheta domesticus*) protein hydrolysates' impact on the physicochemical, structural and sensory properties of tortillas and tortilla chips. Brill. 10.3920/jiff2020.0010

Machado, C. d. R., & Silveira Thys, R. C. (2019). Cricket powder (*Gryllus assimilis*) as a new alternative protein source for gluten-free breads. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 56, 102180. 10.1016/j.ifset.2019.102180

Manrique López, D.D., & Paternina Chavarriaga M.J. (2023). "Revisión sistemática del estado del arte de la biodegradación de polietileno de baja densidad y tereftalato de polietileno," Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.

Manterola, C., Astudillo, P., Arias, E., & Claros, N. (2013). Revisión sistemática de la literatura. Qué se debe saber acerca de ellas. *ELSERVIER*, 91(3), 149-155.

Melo Ruiz, V., & Cuamatzi Tapia, Ó. (2007). *Bioquímica de los procesos metabólicos* (2 ed., pp. 75-100). Editorial Reverté, S.A.

Miron, L., Montevecchi, G., Bruggeman, G., Macavei, L. I., Maistrello, L., Antonelli, A., & Thomas, M. (2023). Functional properties and essential amino acid composition of proteins extracted from black soldier fly larvae reared on canteen leftovers. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 87, 103407. 10.1016/j.ifset.2023.103407

Mwangi, M. N., Oonincx, D. G. A. B., Stouten, T., Veenenbos, M., Melse-Boonstra, A., Dicke, M., & Van Loon, J. J. A. (2018). *Insects as sources of iron and zinc in human nutrition*. Cambridge University Press (CUP). 10.1017/s0954422418000094

Niassy, S., Omuse, E. R., Roos, N., Halloran, A., Eilenberg, J., Egonyu, J. P., Tanga, C., Meutchieye, F., Mwangi, R., Subramanian, S., Musundire, R., Nkunika, P. O. Y., Anankware, J. P., Kinyuru, J., Yusuf, A., & Ekesi, S. (2022). Safety, regulatory and environmental issues related to breeding and international trade of edible insects in

Africa. *Revue Scientifique Et Technique-Office International Des Epizooties*, 41(1), 117-131.

10.20506/rst.41.1.3309

Nyangena, D. N., Mutungi, C., Imathiu, S., Kinyuru, J., Affognon, H., Ekesi, S., Nakimbugwe, D., & Fiaboe, K. K. M. (2020). Effects of Traditional Processing Techniques on the Nutritional and Microbiological Quality of Four Edible Insect Species Used for Food and Feed in East Africa. *Foods*, 9(5), 574. 10.3390/foods9050574

Ocampo Cadena, J. A. (2020). Percepciones sobre el consumo de insectos como sustituto de las fuentes de proteínas tradicionales en los consumidores hispanohablantes. *Kavilando*, 12(2), 413-428.

Ochieng, B. O., Anyango, J. O., Khamis, F. M., Ekesi, S., Egonyu, J. P., Subramanian, S., Nduko, J. M., Nakimbugwe, D., Cheseto, X., & Tanga, C. M. (2023). Nutritional characteristics, microbial loads and consumer acceptability of cookies enriched with insect (*Ruspolia differens*) meal. Elsevier BV. 10.1016/j.lwt.2023.115012

Oibiokpa, F. I., Akanya, H. O., Jigam, A. A., Saidu, A. N., & Egwim, E. C. (2018). Protein quality of four indigenous edible insect species in Nigeria. *Food Science and Human Wellness*, 7(2), 175-183. 10.1016/j.fshw.2018.05.003

Orkusz, A. (2021). Edible Insects versus Meat-Nutritional Comparison: Knowledge of Their Composition Is the Key to Good Health. *Nutrients*, 13(4), 1207. 10.3390/nu13041207

Ortola, M. D., Martinez-Catala, M., Yuste Del Carmen, A., & Castello, M. L. (2022). Physicochemical and sensory properties of biscuits formulated with *Tenebrio molitor* and *Alphitobius diaperinus* flours. *Journal of Texture Studies*, 53(4), 540-549. 10.1111/jtxs.12692

Pertuz Charris, A. (2021). Análisis ambiental de las fuentes generadoras de pollinaza, porquinaza y bovinaza objeto de control y seguimiento ambiental por parte de la Corporación Autónoma Regional del Atlántico -CRA. Corporación Universidad de la Costa.

Psarianos, M., Dimopoulos, G., Ojha, S., Cavini, A. C. M., Bußler, S., Taoukis, P., & Schlüter, O. K. (2021). Effect of pulsed electric fields on cricket (*Acheta domesticus*) flour: Extraction yield (protein, fat and chitin) and techno-functional properties. Elsevier BV. 10.1016/j.ifset.2021.102908

Ravagli, A. C. (2021). Prospección de los Insectos Comestibles como fuente de proteína animal para el consumo humano. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10654/38939>.

Ravi, H. K., Degrou, A., Costil, J., Trespeuch, C., Chemat, F., & Vian, M. A. (2020). Effect of devitalization techniques on the lipid, protein, antioxidant, and chitin fractions of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. Springer Science and Business Media LLC. 10.1007/s00217-020-03596-8

Riaz, K., Iqbal, T., Khan, S., Usman, A., Al-Ghamdi, M. S., Shami, A., El Hadi Mohamed, R. A., Almadiy, A. A., Al Galil, F. M. A., Alfuhaid, N. A., Ahmed, N., & Alam, P. (2023). Growth Optimization and Rearing of Mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as a Sustainable Food Source. MDPI AG. 10.3390/foods12091891

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*. Elsevier BV. 10.1016/j.jafr.2023.100807

Rodríguez, A. M. (2020). Propuesta de alternativas de producción de proteína para alimentación animal a partir de insectos en Colombia.. [Monografía]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/36259>

Roncolini, A., Milanović, V., Aquilanti, L., Cardinali, F., Garofalo, C., Sabbatini, R., Clementi, F., Belleggia, L., Pasquini, M., Mozzon, M., Foligni, R., Federica Trombetta, M., Haouet, M. N., Serena Altissimi, M., Di Bella, S., Piersanti, A., Griffoni, F., Reale, A., Niro, S., & Osimani, A. (2020). Lesser mealworm (*Alphitobius diaperinus*) powder as a novel baking

ingredient for manufacturing high-protein, mineral-dense snacks. Elsevier BV. 10.1016/j.foodres.2020.109031

Selaledi, L., & Mabelebele, M. (2021). The Influence of Drying Methods on the Chemical Composition and Body Color of Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor* L.). MDPI AG. 10.3390/insects12040333

Soares Araujo, R. R., Ribeiro dos Santos Benfica, T. A., Ferraz, V. P., & Santos, E. M. (2019). Nutritional composition of insects *Gryllus assimilis* and *Zophobas morio*: Potential foods harvested in Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis*, 76, 22-26. 10.1016/j.jfca.2018.11.005

Tello, A., Aganovic, K., Parniakov, O., Carter, A., Heinz, V., & Smetana, S. (2021). Product development and environmental impact of an insect-based milk alternative. Elsevier BV. 10.1016/j.fufo.2021.100080

Thrastardottir, R., Olafsdottir, H. T., & Thorarinsdottir, R. I. (2021). Yellow Mealworm and Black Soldier Fly Larvae for Feed and Food Production in Europe, with Emphasis on Iceland. MDPI AG. 10.3390/foods10112744

Vargas Narváez, A.M., and Moreno Arguello M.C., (2023) “Revisión del estado del arte sobre el efecto de la fermentación dirigida y el secado en la calidad de los granos de cacao” (*Theobroma cacao* L.), Bucaramanga

Wu, X., Zhao, W., Wang, X., Bai, Z., & Ma, L. (2023). A novel variable power microwave (VPM) drying technology for lowering energy consumption and improving the in vitro protein digestibility of black soldier fly larvae. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 89, 103470. 10.1016/j.ifset.2023.103470

- b) Dentro de los 20 términos se encuentran: "edible insects", "animals", "chemistry", "nonhuman", "proteins" y "controlled study".

