

Cría y comercialización de insectos comestibles como fuente alternativa de proteína a nivel global

Worldwide Breeding and Commercialization of Edible Insects as an Alternative Source of Protein

Criação e comercialização de insetos comestíveis como fonte alternativa de proteína em todo o mundo

Wendy Ortiz-Padilla₁
Gabriel Ricardo Campos-Montes₂
Nelson Cala-Moreno₃
Alejandra Caballero-Zamora₄

Recibido: 7 de diciembre de 2023

Aprobado: 16 de mayo de 2024

Publicado: 1 de junio de 2024

Cómo citar este artículo:

Ortiz-Padilla W, Campos-Montes GR, Cala-Moreno N, Caballero-Zamora A. Cría y comercialización de insectos comestibles como fuente alternativa de proteína a nivel global. Spei Domus. 2024;20(1): 1-22.
doi: <https://doi.org/10.16925/2382-4247.2024.01.02>

Artículo de investigación. <https://doi.org/10.16925/2382-4247.2024.01.02>

¹ Doctorado en Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, Ciudad de México, México.

² Departamento El Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, Ciudad de México, México.

³ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Cooperativa de Colombia, Bucaramanga, Santander, Colombia.

⁴ Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, Ciudad de México, México.

Correo electrónico: acaballeroz@correo.xoc.uam.mx



Resumen

El aumento de la población a nivel mundial ha generado una mayor demanda en la producción de alimentos. Con la finalidad de garantizar la seguridad alimentaria a nivel global, se ha generado un consumo acelerado de los recursos disponibles para la producción pecuaria, como la disponibilidad de tierras para uso agrícola y agua, además de impactar negativamente al ambiente a partir de la producción de gases de efecto invernadero. En este contexto, se ha convertido en una prioridad generar alternativas para la producción de proteína, que resulten más sostenibles que los sistemas de producción actuales. Una de las alternativas alimentarias que se propone es la producción y consumo de insectos comestibles, para la nutrición humana y animal. Los insectos comestibles destacan por su alto contenido nutricional, y potencial para generar, en producción controlada, un menor impacto ambiental, en comparación con las producciones ganaderas convencionales. Sin embargo, el desarrollo de las producciones controladas de insectos comestibles requiere todavía dar respuesta a interrogantes sobre la seguridad y salud de sus productos. El objetivo de este ensayo es resumir las condiciones actuales de la producción de insectos comestibles en los ámbitos nutricional, ambiental, económico, legislativo, y de sanidad e inocuidad.

Palabras clave: entomofagia, proteína, seguridad alimentaria, impacto ambiental.

Abstract

The increase in the world population has generated a greater demand for food production. In order to guarantee food security at a global level, an accelerated consumption of available for livestock production has been generated, such as the availability of land for agricultural use and water, in addition to negatively impacting the environment from the production of greenhouse gases. In this context, generating alternatives for protein production that are more sustainable than current production systems have become a priority. One of the proposed food alternatives is producing and consuming edible insects for human and animal nutrition. Edible insects stand out for their high nutritional content and potential to generate a lower environmental in controlled production than conventional livestock production. However, the development of controlled production of edible insects still requires answering questions about the safety and health of their products. This essay aims are to summarize the current conditions of the production of edible insects in the nutritional, environmental, economic, legislative, and health and safety fields.

Keywords: entomophagy, protein, food safety, environmental impact.

Resumo

O incremento da população no mundo gerou uma maior demanda na produção de alimentos. Para garantir a segurança alimentícia a nível global, teve com consequencia, a geração do consumo acelerado dos recursos disponíveis para a produção pecuária, utilizando-se a terra para uso agrícola e água, além d impacto negativo no meio ambiente as quais produzem o efeito estufa.

Neste contexto, tem sido prioritário gerar alternativas de produção de proteína e que sejam sustentáveis nas produções atuais. Por isto, as alternativas produtivas utilizam-se de insetos comestíveis para a produção animal e outra via para a nutrição humana e animal.

Os insetos comestíveis contém alto valor nutricional e potencial para gerar uma produção controlada, com menor impacto em comparação das produções convencionais, como a de gado bovino.

Embora o desenvolvimento destas, requer ainda investigar para ter respostas sobre a segurança alimentar de seus produtos.

O objetivo deste documento é resumir as condições atuais da produção de insetos comestíveis no âmbito nutricional, ambiental, econômico, legislativo, sanitário e inocuidade.

Palavras-chave: entomofagia, proteína, segurança alimentar, impacto ambiental.

Introducción

La búsqueda de nuevas fuentes de proteína y el desarrollo de sistemas de producción animal, que contribuyan a garantizar la seguridad alimentaria de manera sostenible es una prioridad en todo el mundo, debido a que se ha estimado que el incremento de la demanda de alimentos será hasta de un 75% para el 2050 [1,2]. En esta idea, organismos internacionales como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), han promovido, además de nuevas estrategias de operación en el sector pecuario, la generación de alternativas para la obtención de proteína animal, como la producción de insectos comestibles. La inclusión de insectos en la dieta de humanos y especies pecuarias puede generar beneficios económicos, sociales y ambientales [3-5].

El potencial del aporte nutricional de los insectos comestibles en la dieta humana y de animales, así como el bajo impacto ambiental que supone la producción de estos alimentos, han sido elementos claves para la aceptación de esta industria [6-10]. Los insectos son una fuente de nutrientes de alta calidad, principalmente de proteína y grasas. Especies como *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae), *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) y *Acheta domesticus* (Orthoptera: Gryllidae), contienen los aminoácidos esenciales y ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados necesarios para cubrir el requerimiento de estos nutrientes en la dieta humana [6]. Aunado al potencial nutricional, se ha determinado que la cría de insectos requiere de un menor uso de tierra y agua, además de generar una menor cantidad de gases de efecto invernadero en comparación con especies ganaderas convencionales [11].

El interés por establecer sistemas de cría controlada de insectos comestibles se ha promovido en diversas regiones alrededor del mundo, incluidas aquellas que no cuentan con una tradición de entomofagia [12,13]. La industria emergente de insectos comestibles se encuentra en constante crecimiento y abarca la cría controlada, transformación y comercialización de productos derivados de diversas especies [14,15]. Sin embargo, el desarrollo de normatividad y legislación que permita regular las diferentes etapas de la cadena comercial es limitada, inclusive en los principales países productores como Tailandia, China y Vietnam, aun en países como China, donde se cuenta con la experiencia de producción en otras especies de insectos con otros fines zootécnicos [16,17].

El desarrollo a nivel comercial de productos derivados de insectos ha traído consigo la necesidad de generar el conocimiento y tecnologías necesarias para garantizar la inocuidad de los productos ofrecidos al consumidor [18]. Se han estudiado los riesgos potenciales asociados al consumo de insectos, entre estos, los biológicos

y químicos se han atribuido en general, al manejo realizado dentro de las unidades de producción y no a las características propias de las especies cultivadas [19].

La producción industrial de insectos comestibles en el mundo ha tenido un crecimiento sostenido, sin embargo, requiere del desarrollo de conocimientos en diversas áreas zootécnicas para generar estrategias y tecnologías que permitan ofrecer productos seguros y de alta calidad. Por lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo resumir las condiciones actuales de la producción de insectos comestibles en los ámbitos nutricional, ambiental, económico, legislativo, y de sanidad e inocuidad.

Aporte nutricional de los insectos comestibles

El potencial aporte nutricional de los insectos, se presenta como una oportunidad para el beneficio de comunidades donde el porcentaje de desnutrición es alto y las fuentes de alimento son pobres en nutrientes [20,21]. Los grupos de insectos que se consumen más comúnmente son escarabajos, avispas, abejas, hormigas, saltamontes, langostas, grillos, cigarras, termitas, libélulas y moscas [22]. Las familias Tenebrionidae y Gryllidae se consideran más adecuadas para el consumo y el procesamiento, por lo que el análisis de la composición nutricional disponible en la literatura se ha enfocado, principalmente, en organismos como el *T. molitor*, *H. illucens* y *A. domesticus* [22,23].

En la tabla 1 se presenta una recopilación de estudios acerca del contenido nutricional de las especies de insectos comestibles más cultivadas a nivel mundial. De manera general se ha concluido que estas especies tienen la capacidad de ofrecer proteína de alta calidad, lípidos, vitaminas, minerales (como calcio, hierro y zinc) y fibra, necesarios para el desarrollo del organismo humano [22-33]. Es importante resaltar que a pesar de que en diversos estudios se ha constatado el alto aporte nutricional de los insectos comestibles, los resultados no deben generalizarse entre especies, ya que la composición nutricional de estos animales varía considerablemente entre ellas y está influenciada por el tipo de dieta que se les ofrece, el ambiente en el que se desarrollan, el estadio en el que se encuentran al realizar el análisis químico proximal y el método de procesamiento utilizado antes de su consumo [1,34-36].

Tabla 1. Composición nutricional de diferentes especies de insectos comestibles

| Orden | Familia | Especie | Energía (kcal) | Proteína (%) | Grasa (%) | Fibra (%) | Fuente |
|------------|----------------|--------------------------------|----------------|--------------|-----------|-----------|--------|
| Orthoptera | Gryllidae | <i>A. domesticus</i> | 153 | 15.6 | 4.56 | - | [3] |
| Orthoptera | Gryllidae | <i>Grylloides sigillatus</i> | 452 | 70 | 18.23 | 3.65 | [37] |
| Orthoptera | Pyrgomorphidae | <i>Sphenarium purpurascens</i> | 404 | 61.33 | 11.7 | - | [11] |
| Coleoptera | Tenebrionidae | <i>T. molitor</i> | 306 | 20.9 | 14.7 | - | [3] |
| Coleoptera | Tenebrionidae | <i>T. molitor</i> | 444 | 52.35 | 24.7 | 1.97 | [37] |
| Coleoptera | Tenebrionidae | <i>T. molitor</i> | - | 53 | 35 | 6 | [38] |
| Coleoptera | Tenebrionidae | <i>T. molitor</i> | - | 49 | 43 | 7 | [39] |
| Coleoptera | Tenebrionidae | <i>T. molitor</i> | - | 44.72 | 42.48 | - | [40] |
| Coleoptera | Tenebrionidae | <i>Zophobas morio</i> | - | 46 | 35 | - | [41] |
| Diptera | Stratiomyidae | <i>H. illucens</i> | 199 | 17.5 | 14 | - | [3] |
| Diptera | Stratiomyidae | <i>H. illucens</i> | - | 56 | 15.18 | - | [42] |
| Diptera | Stratiomyidae | <i>H. illucens</i> | 5410 | 57.5 | 20.7 | 7.44 | [43] |

Fuente: elaboración propia.

La proteína obtenida de insectos comestibles contiene la mayoría de los aminoácidos esenciales para el correcto desarrollo del organismo humano, de acuerdo con lo recomendado por organismos como la FAO y la Organización Mundial de la Salud (OMS) [21,37,38,44]. Se ha cuestionado que la presencia y digestibilidad de la quitina del exoesqueleto de las especies de insectos, podría alterar el valor real del contenido en proteína en estos animales, sin embargo, se ha determinado de manera general, que este compuesto constituye solo del 5% al 20% de la biomasa de un insecto, dependiendo de la especie y, además, la digestibilidad de la proteína de insecto en el humano podría ser considerablemente alta, entre el 78 y el 99%, según lo observado en experimentos *in vitro* [21,44-46].

Impacto ambiental de la producción de insectos comestibles

La proteína de origen animal es un elemento fundamental en la nutrición humana, sin embargo, su producción ha generado deterioro en el ambiente, al reducir la cantidad de tierras para uso agrícola, la cantidad de agua disponible, así como el incremento en la producción de gases de efecto invernadero (GEI) como el dióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso [47,48]. De no haber cambios en las prácticas de producción de especies como bovinos, porcinos y aves de corral, se prevé que el impacto negativo en el ambiente continúe incrementándose en las próximas décadas [49-51].

A partir de ensayos de laboratorio, diversos estudios han concluido que en general la producción de algunos insectos comestibles tiene una emisión considerablemente menor de GEI que la producción de especies pecuarias convencionales [1,27,52-54]. Por ejemplo, al producir 1 kg de masa viva de res se generan más de 2500 g/kg de GEI, mientras que para el ganado porcino la producción de GEI es de entre 1000 g/kg y 1500 g/kg y al menos 100 mg/día/kg de NH_4 , en tanto producir *T. molitor* o *A. domesticus* no genera más de 100 g/kg de GEI, y no más de 150 mg/día/kg de NH_4 [55].

Alrededor del 70% de las tierras agrícolas disponibles en el mundo son utilizadas para pastoreo y producción de alimento para animales de consumo, por lo que es fundamental generar estrategias para producir estos alimentos utilizando el menor espacio posible [11,27,53,56]. Además del espacio utilizado para la crianza de los animales, debe sumarse el uso de tierra para el cultivo de los alimentos destinados a la ganadería, por lo que una mayor ingesta de alimento para la producción de carne resulta en sistemas menos eficientes, por ejemplo, se necesitan 12.7, 5.9 y 1.7 kg de alimento seco para producir 1 kg de peso vivo en ganado vacuno, cerdos y pollos, respectivamente, en comparación con los 1.3 kg para *A. domesticus* [55].

La huella hídrica es otro factor importante para determinar la sostenibilidad de las nuevas fuentes de alimentación, en un estudio realizado por Miglietta et al. [57] se determinó la huella hídrica de la producción de *T. molitor*, tomando en cuenta el agua necesaria para la producción de alimento, cubrir requerimientos de la especie y limpieza de las granjas, se observó una reducción de alrededor del 50% en este recurso en comparación con la carne de res y cerdo y del 15% en comparación con el pollo. Sin embargo, dado que los sistemas de producción de insectos son muy diversos, resulta complejo establecer un estándar de huella hídrica, incluso en la misma especie, por ejemplo, se ha determinado que la huella hídrica media anual es de 631 $\text{m}^3/\text{año}/\text{animal}$ para ganado vacuno, 521 para cerdos, 26 para aves de engorde y 0.003 para *T. molitor* [58]. Aunque el cálculo de la huella hídrica entre los sistemas de producción de insectos frente a especies de ganadería convencional resulta variable, la mayoría de los estudios coinciden en la reducción del uso de agua en la producción de insectos.

Situación global de la producción industrial de insectos comestibles

El mercado mundial de insectos comestibles se encuentra dirigido principalmente al consumo humano, seguido por la inclusión en la dieta del ganado y, en menor medida, a los cosméticos y fármacos [59,60]. Se estima que del total de insectos

consumidos alrededor del mundo, solo el 2% provienen de granjas, mientras que el 6% de la semi-domesticación y el 92% es obtenido de recolección silvestre [61]. La obtención de insectos a través de la recolección en vida silvestre, aunado a las prácticas para la agricultura, han generado situaciones que ponen en riesgo a las poblaciones silvestres, además de causar daños ecológicos al generar cambios en la cadena trófica [62]. Por lo anterior, el establecimiento de sistemas de producción de insectos comestibles contribuiría a garantizar la seguridad alimentaria y la conservación de poblaciones silvestres.

Los diferentes sectores que conforman la industria de insectos comestibles se encuentran en constante desarrollo, la cadena productiva va desde la cría controlada en granjas tecnificadas hasta la transformación y comercialización de los productos [12,14]. En 2018, el valor de la industria de insectos comestibles a nivel mundial fue de 406 millones de dólares [63], mientras que en 2021 alcanzó un valor de 771 millones de dólares [15]. Gracias a la tecnificación de los sistemas de producción, en 2020 se produjeron alrededor de 200 000 toneladas de biomasa en todo el mundo [64]. Durante 2019, la región Asia-Pacífico lideró el mercado de producción de insectos con una participación del 41 %, seguido de Europa con el 22 %, América Latina con 21 %, América del Norte con 13 % y África con 3 % [12].

América tiene una larga tradición de entomofagia, principalmente en el Centro y Sur. Estas regiones cuentan con una gran diversidad de especies consideradas aptas para consumo [65,66], además las condiciones ambientales que ofrecen los países tropicales de América generan un contexto favorable para que la producción de insectos a gran escala sea factible en estas regiones [67]. Lo anterior ha motivado a que países como Estados Unidos, México, Chile, Perú, y Argentina hayan desarrollado unidades de producción de insectos en condiciones controladas y a consumir productos derivados de diferentes especies de insectos, alcanzando para 2018 un valor de mercado de 92.2 millones de dólares, con una producción anual de alrededor de 6000 toneladas [56].

La domesticación de especies de insectos de importancia económica en Asia, entre los que se destaca *Bombyx mori* (Lepidoptera: Bombycidae) ha dotado a esta región del mundo del desarrollo tecnológico necesario para la cría controlada de especies animales poco convencionales, este conocimiento previo se ve reflejado en la eficiencia de los sistemas de producción de insectos comestibles [68]. La región Asia-Pacífico liderada por Tailandia, China y Vietnam domina la producción de insectos comestibles en el mundo [12]. Tan solo en Tailandia hasta el 2020 se tenían registradas 20 000 granjas que producen alrededor de 7500 toneladas de insectos anualmente

[59]. El valor de la industria asiática de insectos fue de 142.5 millones de dólares en 2021 y se ha proyectado supere los 270 millones de dólares para 2024 [59,69].

Aunque el consumo de insectos continúa siendo poco usual para los consumidores europeos, la Unión Europea se ha interesado por la producción a gran escala basada únicamente en tres especies de insectos: *T. molitor*, *Patanga succincta* (Orthoptera: Acrididae) y *A. domesticus* [70]. En 2019, se produjeron un total de 500 toneladas de alimentos derivados de insectos y se ha estimado que para 2030 la producción supere las 260 mil toneladas [12]. La industria de insectos europea encabezada por el Reino Unido, los Países Bajos y Francia se valoró en 82.1 millones de dólares en 2018, con una proyección de crecimiento de hasta 261.5 millones de dólares al concluir 2023 [12,64].

La industrialización de la cría de insectos comestibles ha sido bien recibida en África, se estima que en la zona Oriente del continente hasta el 75% de los productores agropecuarios están dispuestos a incursionar en la cría controlada de insectos o a integrar harinas derivadas de estos animales en las dietas del ganado [71-73]. El gran número de especies cultivadas y la gran variabilidad del rendimiento productivo de las mismas, dificulta contar con datos precisos acerca de la producción en masa y de las ganancias económicas generadas por este sector, sin embargo, se han documentado casos como el de Kenia, donde la producción de *H. illucens* alcanza las 3000 toneladas anuales, mismas que se incluyen en la dieta del ganado en sustitución de la harina de pescado [63], también se reporta el caso de la producción de orugas de la especie *Gonimbrasia belina* (Lepidoptera: Saturniidae) cuyo valor comercial anual alcanza alrededor de 85 millones de dólares en el sur de África [74]. En 2021, se contabilizaron alrededor de 1000 granjas de *A. domesticus* y *H. illucens*, el 95% de estas granjas operan como microempresas, los productores y gobiernos locales se han centrado en generar estrategias que permitan automatizar la producción en favor de la expansión de esta industria emergente en el continente africano [71].

Legislación de la producción industrializada de insectos comestibles

Con el desarrollo de la producción de insectos a nivel industrial, la preocupación por garantizar la salud de los consumidores ha impulsado a los diferentes gobiernos en donde se desempeña esta industria emergente, a promover e incluir legislación que permita regular la producción y comercialización de insectos y sus productos derivados [16,17,75].

En América, la región norte se destaca por su amplia normatividad y legislación acerca de la producción y uso de insectos. En Estados Unidos, la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés), es la encargada de supervisar los diferentes procedimientos dentro de la cadena de producción de insectos, en tanto en Canadá esta tarea se encuentra a cargo de la Agencia Canadiense de Inspección de Alimentos (CFIA, por sus siglas en inglés) [41]. La legislación en Estados Unidos se ha enfocado en el consumo humano y en ganadería, mientras que en Canadá únicamente se ha contemplado el uso de insectos como piensos [56]. Por su parte, aunque en América Latina se cuenta con una amplia tradición de entomofagia y la industria de insectos es cada vez más extensa [75]. En los diferentes países que conforman esta región no se ha incentivado la generación de normatividad y legislación que favorezca el desarrollo de la industria, debido principalmente a que los órganos gubernamentales aun consideran a los insectos principalmente como plagas o vectores de enfermedades [66,76].

Aunque en Asia se ha desarrollado la tradición de cría de insectos a nivel industrial, particularmente en China con la cría de *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) y *B. mori*, la legislación en torno a los insectos con fines comestibles es insuficiente [77-79]. En China, únicamente se ha autorizado el uso de la pupa de *B. mori* y el polvo de algunas especies de larvas para el consumo humano [16]. En tanto en Corea del Sur, desde el 2015, se aprobaron cuatro especies de insectos para su uso en la alimentación humana: larva de *Mausoleopsis amabilis* (Coleoptera:Cetoniidae), *T. molitor* y larvas de *Oryctes rhinoceros* (Coleoptera: Scarabaeidae), además de dos especies reguladas con anterioridad (*A. domesticus* y *B. mori*) [14]. Por su parte, Tailandia es el mayor productor de grillos a nivel mundial, por lo que la normatividad y regulación en la producción se ha centrado en esta especie, a través de la aplicación del “Estándar de cultivo de grillos”, cabe señalar que la legislación contempla el uso de grillos y otras especies solo en la dieta de animales [16].

Algunos de los países pertenecientes a la Unión Europea (UE), son probablemente las regiones del mundo en donde más se ha regulado a la industria de insectos comestibles. La Plataforma Internacional de Insectos para Alimentos y Piensos, en la Unión Europea (IPIFF), ha promovido la generación de legislación que permita la inclusión de insectos en las dietas de mascotas y especies productivas en acuicultura, aves y cerdos, en 2017 se gestionó la regulación de la inclusión de harinas de insectos en toda la UE, sin embargo, solo para dietas de especies acuícolas, incluyendo a pocas especies de insectos como *H. illucens*, *T. molitor* y *A. domesticus* [80]. Bélgica y Suiza son casos destacables, ya que fueron los primeros países en regular la venta de insectos para su inclusión en la alimentación humana en 2015 y 2017, respectivamente

[21]. Fue en 2018 cuando se autorizó la producción y elaboración de productos para consumo humano en toda la UE, esta regulación entró en función a partir del 1 de enero de 2018, a través del Reglamento (UE) N°2015/2283, que incluye a los insectos como “nuevos alimentos” [81]. Dentro de las especies de insectos más utilizadas y, por ello incluidas dentro de la regulación, están *T. molitor*, *A. domesticus*, *Blattodea* (Blattodea: Blattidae) y *Locusta migrans* (Orthoptera: Acrididae) [82]. En 2018, el gobierno de República Checa, mediante su Ministerio de Agricultura publicó un conjunto de principios y requisitos para la producción de insectos comestibles, que contemplan especies en particular, como *T. molitor* y *A. domesticus* [83].

Hasta el momento en el que el presente documento fue redactado, ningún país africano ha incluido en su legislación normas claras para la producción de insectos comestibles a nivel industrial [74], sin embargo, en países como Sudáfrica el uso de insectos en la alimentación del ganado es regulada por la Ley de Fertilizantes, Alimentos para Granjas, Remedios Agrícolas y Remedios para Ganado de 1947 [16], además, varios países han desarrollado bases legales para el consumo de insectos provenientes de la captura silvestre [84].

Inocuidad y calidad de los productos derivados de insectos comestibles

El creciente desarrollo de la industria de insectos comestibles y su potencial comercialización a nivel mundial, ha generado cuestionamientos acerca de la inocuidad y la calidad de los productos derivados de estos animales [45,85-88]. En esta idea, el interés de investigadores y productores ha crecido y son cada vez más los estudios que exploran los posibles riesgos biológicos, químicos, físicos y alergénicos [19,20,89], además se ha impulsado el desarrollo de tecnologías apropiadas para la conservación de los productos derivados de insectos [90-94].

En 2015, la Unión Europea comisionó a la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) para realizar una revisión de los posibles peligros asociados con la producción y consumo de insectos comestibles [19,95,96]. En cuanto a peligros biológicos se encontró la presencia de bacterias patógenas (*Salmonella*, *Campylobacter* y *Escherichia coli*) en insectos no procesados, siendo el sustrato utilizado una posible entrada y fuente de contaminación; esto último, concuerda con lo encontrado en el estudio realizado por Wynants et al. [97], donde se encontró la presencia de *Salmonella* en el salvado de trigo utilizado como sustrato. Por otra parte, Garofalo et al. [98], reportaron la presencia de bacterias patógenas de los grupos *Proteobacterias*, *Firmicutes*

y *Bacteroidetes*, en muestras de grillos doméstico, tanto en animales frescos como procesados.

El reporte de la EFSA documenta la incapacidad de los priones mamíferos para replicarse en insectos, por lo que no fueron considerados como posibles vectores, los insectos producidos con sustrato proveniente de fuentes no humanas o ruminantes no deberían presentar un peligro adicional en este sentido. Finalmente, los virus patógenos encontrados en insectos se consideraron específicos de dichas especies y no representan un peligro para humanos o animales de producción [19].

En tanto, los peligros químicos, como metales pesados, micotoxinas, residuos de fármacos veterinarios entre otras sustancias identificadas por la EFSA provienen comúnmente del tipo de sustrato y el manejo que se da en cada unidad de producción [19,99,100]. De Paepe et al. [101] realizaron un estudio que consistió en determinar la presencia de contaminantes químicos en muestras de insectos en diferentes estadios, provenientes de diversas unidades de producción y se encontró la presencia de algunas de estas sustancias, sin embargo, ninguna excedió los niveles máximos de residuos establecidos por la UE.

El mayor peligro físico asociado directamente a los insectos es la asfixia, el cuerpo de los insectos no es homogéneo, presenta diferentes apéndices que, además resulta en una textura extraña para consumidores poco familiarizados, por lo que se considera más seguro su consumo como harina o incluidos en otros alimentos [22].

Otro de los peligros considerados de importancia, es la capacidad alergénica de los alimentos. Pese a que la información epidemiológica es escasa en países donde la entomofagia es una práctica común, se ha informado de posibles casos de anafilaxia por la ingesta de diferentes especies de insectos, por ejemplo, en regiones del sudeste asiático, incluso se han reportado casos que involucran de 27 a 118 pacientes [18]. En la literatura no se informa sobre la alergia en animales domésticos y de granja [19].

En cuanto a tecnologías para la conservación de los productos basados en insectos comestibles, se han investigado desde métodos tradicionales como la cocción al vapor, asado, ahumado o fritura hasta los más innovadores, por ejemplo; secado por congelación, secado al horno, secado en lecho fluidizado, extracción asistida por ultrasonido, plasma de presión atmosférica fría y fraccionamiento en seco, entre otros [85]. La conservación de productos alimenticios a través de la congelación es un método ampliamente utilizado en la mayoría de las industrias. En el caso de los insectos comestibles, este método es poco utilizado debido a que, usualmente, son consumidos frescos [102]. Sin embargo, dada la búsqueda de tecnificación de los establecimientos dedicados a la transformación, se han realizado esfuerzos para conocer el efecto del almacenamiento en congelación, Wessels et al. [103] reportan

como principal problema la desnaturalización de proteínas en muestras de larvas de *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae), mantenidas a -20°C en un periodo de una semana, además se observó un oscurecimiento del producto.

Conclusiones

Los insectos comestibles contienen la mayoría de los micronutrientes y macronutrientes necesarios para la nutrición humana y animal, por lo que se presenta como una fuente alternativa de alimentación con la capacidad para contribuir a garantizar la seguridad alimentaria.

Los sistemas de producción de insectos tienen un menor impacto ambiental en comparación con la ganadería tradicional, requieren de una menor demanda de recursos naturales, además de producir una menor cantidad de gases de efecto invernadero.

La industria de insectos comestibles ha comenzado a tomar relevancia en el mercado de producción de alimentos, generando ganancias económicas sustanciales para los principales países productores, las regiones de América Latina y África destacan por su potencial de crecimiento al contar con una gran cantidad de especies.

El desarrollo de la legislación y normatividad en torno a la producción de insectos comestibles y sus productos derivados no está en sincronía con el crecimiento de la industria, se requiere de una regulación adecuada en toda la cadena comercial con el fin de ofrecer alimentos seguros a los consumidores.

Para garantizar la sanidad e inocuidad de los insectos comestibles y sus productos derivados resulta fundamental la implementación y estandarización de prácticas idóneas para el manejo y procesamiento de los productos, esto permitiría minimizar los principales riesgos sanitarios asociados a la entomofagia

Referencias

- [1] van Huis A, Van Itterbeeck J, Klunder H, Mertens E, Halloran A, Muir G, Vantomme P. Edible insects. Future prospects for food and feed security. Roma: FAO; 2013. <https://www.fao.org/fsnforum/resources/reports-and-briefs/edible-insects-future-prospects-food-and-feed-security>
- [2] Mintah B, He R, Agyekum A, Dabbour M, Golly M, Ma H. Edible insect protein for food applications: Extraction, composition, and functional properties. J Food Process Eng. 2020; e13362: 1-12. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13362>

- [3] Payne C, Scarborough P, Rayner M, Nonaka K. A systematic review of nutrient composition data available for twelve commercially available edible insects, and comparison with reference values. *Trends Food Sci Technol.* 2016; 47: 69-77. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.10.012>
- [4] Payne C. Can edible insects really reduce our ecological footprint and save wild species? *The Ecological Citizen.* 2018; 2(1): 13-14. <https://www.ecologicalcitizen.net/article.php?t=can-edible-insects-reduce-ecological-footprint-save-wild-species>
- [5] Olivadese M, Dindo M. Edible Insects: A Historical and Cultural Perspective on Entomophagy with a Focus on Western Societies. *Insects.* 2023; 14(8). <https://doi.org/10.3390/insects14080690>
- [6] Riekkinen K, Väkeväinen K, Korhonen J. The Effect of Substrate on the Nutrient Content and Fatty Acid Composition of Edible Insects. *Insects.* 2022; 13(7): 1-17. <https://doi.org/10.3390/insects13070590>
- [7] van Huis A. Edible insects: Challenges and prospects. *Entomol Res.* 2022; 52: 161–177. <https://doi.org/10.1111/1748-5967.12582>
- [8] Szulc K. Edible Insects: A Study of the Availability of Insect-Based Food in Poland. *Sustainability.* 2023; 15(23). <https://doi.org/10.3390/su152014964>
- [9] Sanchez-Estrada M, Aguirre-Becerra H, Feregrino-Pérez A. Bioactive compounds and biological activity in edible insects: A review. *Heliyon.* 2024; 10. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24045>
- [10] Hancz C, Sultana S, Nagy Z, Biró J. The Role of Insects in Sustainable Animal Feed Production for Environmentally Friendly Agriculture: A Review. *Animals.* 2024; 14(7). <https://doi.org/10.3390/ani14071009>
- [11] Dobermann D, Swift J, Field L. Opportunities and hurdles of edible insects for food and feed. *Nutr Bull.* 2017; 42: 293–308. <https://doi.org/10.1111/nbu.12291>
- [12] Mancini S, Sogari G, Espinosa Diaz S, Menozzi D, Paci G, Moruzzo R. Exploring the Future of Edible Insects in Europe. *Foods.* 2022; 11(3): 1-12. <https://doi.org/10.3390/foods11030455>
- [13] Leipertz M, Hogeveen H, Saatkamp H. Economic supply chain modelling of industrial insect production in the Netherlands. *J Insects Food Feed.* 2024. <https://doi.org/10.1163/23524588-00001036>

- [14] Han R, Shin J, Kim J, Choi Y, Kim Y. An overview of the South Korean edible insect food industry: challenges and future pricing/promotion strategies. *Entomol Res.* 2017; 47: 141–51. <https://doi.org/10.1111/1748-5967.12230>
- [15] Vinci G, Prencipe S, Masiello L, Zaki M. The Application of Life Cycle Assessment to Evaluate the Environmental Impacts of Edible Insects as a Protein Source. *Earth.* 2022; 3(3): 925-938. <https://doi.org/10.3390/earth3030054>
- [16] Lähteenmäki-Uutela A, Marimuthu S, Meijer N. Regulations on insects as food and feed: a global comparison. *J Insects Food Feed.* 2021; 7(5): 849-856. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0066>
- [17] Zhou Y, Wang D, Zhou S, Duan H, Guo J, Yan W. Nutritional Composition, Health Benefits, and Application Value of Edible Insects: A Review. *Foods.* 2022; 11(24): 1-46. <https://doi.org/10.3390/foods11243961>
- [18] Chomchai S, Laoraksa P, Virojvatanakul P, Boonratana P, Chomchai C. Prevalence and cluster effect of self-reported allergic reactions among insect consumers. *Asian Pac J Allergy Immunol.* 2020; 38: 40-6. <https://doi.org/10.12932/AP-220218-0271>
- [19] Finke M, Rojo S, Roos N, van Huis A, Yen A. The European Food Safety Authority scientific opinion on a risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *J Insects Food Feed.* 2015; 1(4): 245-47. <https://doi.org/10.3920/JIFF2015.x006>
- [20] Rivas-Navia D, Dueñas-Rivadeneira A, Dueñas-Rivadeneira J, Aransiola S, Maddela N, Prasad R. Bioactive compounds of insects for food use: Potentialities and risks. *J Agric Food Res.* 2023; 14. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100807>
- [21] Bessa L, Pieterse E, Sigge G, Hoffman L. Insects as human food; from farm to fork. *J Sci Food Agric.* 2020; 100(14):5017-22. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8860>
- [22] Cappelli A, Cini E, Lorini C, Oliva N, Bonaccorsi G. Insects as food: A review on risks assessments of Tenebrionidae and Gryllidae in relation to a first machines and plants development. *Food Control.* 2020; 108: 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106877>
- [23] Malla N, Nørgaard J, Roos N. Protein quality of edible insects in the view of current assessment methods. *Animal Frontiers.* 2023; 13(4): 50–63. <https://doi.org/10.1093/af/vfad015>
- [24] Das J, Hazarika A. Quantitative Analysis of Mineral Content of Six Edible terrestrial Insects Commonly Consumed by ethnic people in Baksa District, Assam, India. *The Clarion.* 2017; 6(2): 41-6. <https://doi.org/10.5958/2277-937X.2017.00026.0>

- [25] Gravel A, Doyen A. The use of edible insect proteins in food: Challenges and issues related to their functional properties. *Innov Food Sci Emerg Technol*. 2020; 59; 102272. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102272>
- [26] Lange K, Nakamura Y. Edible insects as a source of food bioactives and their potential health effects. *J. Food Bioact*. 2021; 14: 4–9. <https://doi.org/10.31665/JFB.2021.14264>
- [27] Aiello D, Barbera M, Bongiorno D, Cammarata M, Censi V, Indelicato S, Saiano F. Edible Insects an Alternative Nutritional Source of Bioactive Compounds: A Review. *Molecules*. 2023; 28(2). <https://doi.org/10.3390/molecules28020699>
- [28] Teixeira C, Villa C, Costa J, Ferreira I, Mafra I. Edible Insects as a Novel Source of Bioactive Peptides: A Systematic Review. *Foods*. 2023; 12(10).
- [29] Mabelebele M, Kolobe S, Malematja E, Sebola N, Manyelo T. A Comprehensive Review of the Importance of Selected Trace Elements Present in Edible Insects. *Biol Trace Elem Res*. 2023; 201: 3520–3527. <https://doi.org/10.1007/s12011-022-03423-z>
- [30] Malla N, Roos N. Are insects a good source of protein for humans? *J Insects Food Feed*. 2023; 9(7): 841-844. <https://doi.org/10.3920/JIFF2023.x003>
- [31] Lu M, Zhu C, Smetana S, Zhao M, Zhang H, Zhang F, Du Y. Minerals in edible insects: A review of content and potential for sustainable sourcing. *Food Sci Hum Wellness*. 2024; 13(1): 65-74. <https://doi.org/10.26599/FSHW.2022.9250005>
- [32] Sanchez-Estrada M, Aguirre-Becerra H, Feregrino-Pérez A. Bioactive compounds and biological activity in edible insects: A review. *Heliyon*, 2024; 10. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24045>
- [33] Cunha N, Andrade V, Ruivo P, Pinto P. Effects of Insect Consumption on Human Health: A Systematic Review of Human Studies. *Nutrients*. 2023; 15(14). <https://doi.org/10.3390/nu15143076>
- [34] Kolobe S, Manyelo T, Malematja E, Sebola N, Mabelebele M. Fats and major fatty acids present in edible insects utilised as food and livestock feed. *Vet Anim Sci*. 2023; 22. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2023.100312>
- [35] Khalifah A, Abdalla S, Rageb M, Maruccio L, Ciani F, El-Sabroun K. Could Insect Products Provide a Safe and Sustainable Feed Alternative for the Poultry Industry? A Comprehensive Review. *Animals*. 2023; 13. <https://doi.org/10.3390/ani13091534>

- [36] Li M, Mao C, Li X, Jiang L, Zhang W, Li M, Hou X. Edible Insects: A New Sustainable Nutritional Resource Worth Promoting. *Foods*. 2023; 12(22). <https://doi.org/10.3390/foods12224073>
- [37] Zielińska E, Baraniak B, Karaś M, Rybczyńska K, Jakubczyk A. Selected species of edible insects as a source of nutrient composition. *Food Res Int*. 2015; 77: 460–66. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.09.008>
- [38] Ghosh S, Lee S, Jung C, Meyer-Rochow V. Nutritional composition of five commercial edible insects in South Korea. *J Asia Pac Entomol*. 2017; 20: 686–94. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2017.04.003>
- [39] Yong-Su S, Min-Woo K, Chaeyeong M, Dong-Jun S, Yeon Soo H, Yong Hun J, Woo-Jin J. Extraction of chitin and chitosan from larval exuvium and whole body of edible mealworm, *Tenebrio molitor*. *Entomol Res*. 2018; 48: 227-33. <https://doi.org/10.1111/1748-5967.12304>
- [40] Siemianowska E, Kosewska A, Aljewicz M, Skibniewska K, Polak-Juszczak L, Jarocki A, Jędras M. Larvae of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as European novel food. *Agricultural Sciences*. 2013; 4(6): 287-91. <https://doi.org/10.4236/as.2013.46041>
- [41] Adámková A, Mlcek J, Kourimská L, Borkovcová M, Bušina T, Adámek M, Krajsa J. Nutritional Potential of Selected Insect Species Reared on the Island of Sumatra. *Int J Environ Res Public Health*. 2017; 14: 1-10. <https://doi.org/10.3390/ijerph14050521>
- [42] Liu X, Chen X, Wang H, Yang Q, Rehman K, Li W, Cai M, Li Q, Mazza L, Zhang J, Yu Z, Zheng L. Dynamic changes of nutrient composition throughout the entire life cycle of black soldier fly. *PLoS ONE*. 2017; 12(8): e0182601. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182601>
- [43] Matin N, Utterback P, Parsons CM. True metabolizable energy and amino acid digestibility in black soldier fly larvae meals, cricket meal, and mealworms using a precision-fed rooster assay. *Poultry Science*. 2021; 100(7): 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101146>
- [44] Kipkoech C. Beyond Proteins—Edible Insects as a Source of Dietary Fiber. *Polysaccharides*. 2023; 4(2): 116-128. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides4020009>
- [45] Papastavropoulou K, Xiao J, Proestos C. Edible insects: Tendency or necessity (a review). *eFood*. 2022; 4(1): 1-17. <https://doi.org/10.1002/efd2.58>
- [46] da Silva Lucas A, Quadro E, Gouveia H, Martín H, Dias Medeiros Saad C, Prentice C. Extraction, physicochemical characterization, and morphological properties of chitin and chitosan from cuticles of edible insects. *Food Chemistry*. 2021; 343. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128550>

- [47] Flachowsky G, Meyer U, Südekum K. Invited review: Resource inputs and land, water and carbon footprints from the production of edible protein of animal origin. *Arch. Anim. Breed.* 2018; 61: 17–36. <https://doi.org/10.5194/aab-61-17-2018>
- [48] Cámara-Ruiz M, Sánchez-Venegas A, Blasco-Lavilla N, Hernández M, Sánchez-Liarte F, Fernández-Gutiérrez D, Lara-Guillén A. Comparative Assessment of Insect Processing Technologies for Sustainable Insect Protein Production. *Sustainability.* 2023; 15(18). <https://doi.org/10.3390/su151813735>
- [49] Weindl I, Ost M, Wiedmer P, Schreiner M, Neugart S, Klopsch R, Klaus S. Sustainable food protein supply reconciling human and ecosystem health: A Leibniz Position. *Global Food Security.* 2020; 25: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100367>
- [50] Lange K, Nakamura Y. Potential contribution of edible insects to sustainable consumption and production. *Front. Sustain.* 2023; 4. <https://doi.org/10.3389/frsus.2023.1112950>
- [51] Smetana S. Circularity and environmental impact of edible insects. *J Insects Food Feed.* 2023; 9(9): 1111-1114. <https://doi.org/10.3920/JIFF2023.x004>
- [52] Nadeau L, Nadeau I, Franklin F, Dunkel F. The potential for entomophagy to address under-nutrition. *Ecol Food Nutr.* 2015; 54: 200-208. <https://doi.org/10.1080/03670244.2014.930032>
- [53] Nikkhah A, Van Haute S, Jovanovic V, Jung H, Dewulf J, Velickovic T, Ghnimi S. Life cycle assessment of edible insects (*Protaetia brevitarsis seulensis* larvae) as a future protein and fat source. *Scientific Reports.* 2021; 11. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93284-8>
- [54] Smetana S, Mathys A, Knoch A, Heinz V. Meat alternatives: life cycle assessment of most known meat substitutes. *Int J Life Cycle Assess.* 2015; 20: 1254–1267. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0931-6>
- [55] Gahukar R. Edible Insects Farming: Efficiency and Impact on Family Livelihood, Food Security, and Environment Compared With Livestock and Crops. En A. Dossey, J. Morales-Ramos, M. Rojas, *Insects as Sustainable Food Ingredients: Production, Processing and Food Applications.* San Diego, United States: Academic Press: 2016: 85-111. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802856-8.00004-1>
- [56] Abril S, Pinzón M, Hernández-Carrión M, Sánchez-Camargo A. Edible Insects in Latin America: A Sustainable Alternative for Our Food Security. *Front. Nutr.* 2022; 9: 904812. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.904812>

- [57] Miglietta P, De Leo F, Ruberti M, Massari S. Mealworms for food: A water footprint perspective. *Water*. 2015; 7:6190–6203. <https://doi.org/10.3390/w7116190>
- [58] Ordoñez-Araque R, Quishpillo-Miranda N, Ramos-Guerrero L. Edible Insects for Humans and Animals: Nutritional Composition and an Option for Mitigating Environmental Damage. *Insects*. 2022; 13(10): 1-13. <https://doi.org/10.3390/insects13100944>
- [59] Baiano, A. Edible insects: An overview on nutritional characteristics, safety, farming, production technologies, regulatory framework, and socio-economic and ethical implications. *Trends Food Sci Technol*. 2020; 100: 35-50. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.040>
- [60] Siddiqui S, Osei-Owusu J, Yunusa B, Rahayu T, Fernando I, Shah M. Prospects of edible insects as sustainable protein for food and feed – a review. *J Insects Food Feed*. 2023; 10(2): 191–217. <https://doi.org/10.1163/23524588-20230042>
- [61] Govorushko S. Global status of insects as food and feed source: A review. *Trends Food Sci Technol*. 2019; 91; 436–445. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.032>
- [62] Ramos-Elorduy J. Threatened edible insects in Hidalgo, Mexico and some measures to preserve them. *J Ethnobiol Ethnomed*. 2006; 2(51): 1-10. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-2-51>
- [63] Park S, Kim K, Baik M, Koh Y. Sericulture and the edible-insect industry can help humanity survive: insects are more than just bugs, food, or feed. *Food Sci Biotechnol*. 2022; 31(6): 657–68. <https://doi.org/10.1007/s10068-022-01090-3>
- [64] Tavares P, dos Santos Lima M, Pessoa L, de Andrade Bulos R, de Oliveira T, da Silva Cruz L, de Souza C. Innovation in Alternative Food Sources: A Review of a Technological State-of-the-Art of Insects in Food Products. *Foods*. 2022; 11(23): 1-29. <https://doi.org/10.3390/foods11233792>
- [65] Gahukar , R. Edible insects collected from forests for family livelihood and wellness of rural communities: A review. *Global Food Security*. 2020; 25: 100348. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100348>
- [66] Costa-Neto E. Anthro-entomophagy in Latin America: an. *J Insects Food Feed*. 2015; 1(1): 17-23. <https://doi.org/10.3920/jiff2014.0015>
- [67] Pérez-Grisales M, Uribe S. Insects as sources of food and bioproducts: a review from Colombia. *JoBAZ*. 2022; 83(56): 1-21. <https://doi.org/10.1186/s41936-022-00319-1>
- [68] Feng Y, Chen X, Zhao M, He Z, Sun L, Wang C, Ding W. Edible insects in China: Utilization and prospects. *Insect Science*. 2018; 25(2): 184-198. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12449>

- [69] Boukid F, Sogari G, Rosell C. Edible insects as foods: mapping scientific publications and product launches in the global market (1996-2021). *J Insects Food Feed*. 2022; 9(3): 353 - 368. <https://doi.org/10.3920/JIFF2022.0060>
- [70] Mina G, Peira G, Bonadonna A. The Potential Future of Insects in the European Food System: A Systematic Review Based on the Consumer Point of View. *Foods*. 2023; 12(3): 1-21. <https://doi.org/10.3390/foods12030646>
- [71] Tanga C, Egonyu J, Beesigamukama D, Niassy S, Emily K, Magara H, Ekesi S. Edible insect farming as an emerging and profitable enterprise in East Africa. *Curr Opin Insect Sci*. 2021; 48: 64-71. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.09.007>
- [72] Kolobe S, Manyelo T, Sebola N, Malematja E, Monnye M. Prospects of rearing selected southern African swarming insects for animal feed: a review on insect farming and the economic value of edible insects. *Agric Food Secur*. 2024; 13. <https://doi.org/10.1186/s40066-023-00457-x>
- [73] Donkor E, Mbeche R, Mithöfer D. Strategic business decisions of retailers in the edible insect value chain in Uganda. *International Food and Agribusiness Management Review*. 2023; 26(2): 267 - 285. <https://doi.org/10.22434/IFAMR2021.0125>
- [74] Grabowski N, Tchibozo S, Abdulmawjood A, Acheuk F, M'Saad Guerfali M, Sayed W, Plötz M. Edible Insects in Africa in Terms of Food, Wildlife Resource, and Pest Management Legislation. *Foods*. 2020; 9(502): 1-43. <https://doi.org/10.3390/foods9040502>
- [75] Ramos-Elorduy J. Energy supplied by edible insects from Mexico and their nutritional and ecological importance. *Ecol Food Nutr*. 2008; 47: 297-280. <https://doi.org/10.1080/03670240701805074>
- [76] Bermúdez-Serrano I. Challenges and opportunities for the development of an edible insect food industry in Latin America. *J Insects Food Feed*. 2020; 6(5): 537 -56. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0009>
- [77] Chen X, Chen H, Zhao M, Yang Z, Feng Y. Insect industrialization and prospect in commerce: A case of China. *Entomol Res*. 2022; 52: 178-194. <https://doi.org/10.1111/1748-5967.12576>
- [78] Mariod, A. The Legislative Status of Edible Insects in the World. En A. Mariod, *African Edible Insects As Alternative Source of Food, Oil, Protein and Bioactive Components* Cham: Springer; 2020, p. 141-148. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32952-5_9

- [79] Lin X, Wang F, Lu Y, Wang J, Chen J, Yu Y, Peng Y. A review on edible insects in China: Nutritional supply, environmental benefits, and potential applications. *Curr Res Food Sci.* 2023; 7. <https://doi.org/10.1016/j.crf.2023.100596>
- [80] DiGiacomo K, Leury B. Review: Insect meal: a future source of protein feed for pigs? *Animal.* 2019; 1-9. <https://doi.org/10.1017/S1751731119001873>
- [81] Beaumont P, Courtois J, Van der Brempt X, Tollenaere S. Food-induced anaphylaxis to *Tenebrio molitor* and allergens implicated. *Revue française d'allergologie.* 2019; 59: 389–93. <https://doi.org/10.1016/j.reval.2019.06.001>
- [82] Gałęcki R, Sokół R. A parasitological evaluation of edible insects and their role in the transmission of parasitic diseases to humans and animals. *PLoS ONE.* 2019; 14(7): 1-19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219303>
- [83] Grmelová N. Cross-compliance Criteria for Farming and Processing Edible Insects. *European Food and Feed Law Review.* 2019; 14: 61-5. <https://effl.lexxion.eu/article/EFFL/2019/1/11>
- [84] Žuk-Gołaszewska K, Gałęcki R, Obremski K, Smetana S, Figiel S, Gołaszewski J. Edible Insect Farming in the Context of the EU Regulations and Marketing—An Overview. *Insects.* 2022; 13(5): 1-19. <https://doi.org/10.3390/insects13050446>
- [85] Melgar-Lalanne G, Hernández-Álvarez A, Salinas-Castro A. Edible Insects Processing: Traditional and Innovative Technologies. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2019; 18: 1166-91. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12463>
- [86] Chomchai S, Laoraksa P, Virojvatanakul P, Boonratana P, Chomchai C. Prevalence and cluster effect of self-reported allergic reactions among insect consumers. *Asian Pac J Allergy Immunol.* 2020; 38: 40-6. <https://doi.org/10.12932/AP-220218-0271>
- [87] Belluco S, Losasso C, Maggioletti M, Alonzi C, Paoletti M, Ricci A. Edible Insects in a Food Safety and Nutritional Perspective: A Critical Review. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2013; 12: 296-313. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12014>
- [88] Ayensu J, Annan R. Beyond nutrients, health effects of entomophagy: a systematic review. *Nutrition & Food Science.* 2019; 49(1): 2-17. <https://doi.org/10.1108/NFS-02-2018-0046>
- [89] Gałęcki R, Bakula T, Gołaszewski J. Foodborne Diseases in the Edible Insect Industry in Europe—New Challenges and Old Problems. *Foods.* 2023; 12(4). <https://doi.org/10.3390/foods12040770>

- [90] Borremans A, Lenaerts S, Crauwels S, Lievens B, Van Campenhout L. Marination and fermentation of yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*). *Food Control*. 2018; 92: 47-52. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.04.036>
- [91] Eswaran U, Karunanithi S, Gupta R, Rout S, Srivastav P. Edible insects as emerging food products—processing and product development perspective. *Sci Technol*. 2023; 60: 2105–2120. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05489-y>
- [92] Liang Z, Zhu Y, Leonard W, Fang Z. Recent advances in edible insect processing technologies. *Food Res Int*. 2024; 182. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114137>
- [93] Kozlu A, Ngasakul N, Klojdová I, Baigts-Allende D. Edible insect-processing techniques: a strategy to develop nutritional food products and novelty food analogs. *Eur Food Res Technol*. 2024; 250: 1253–1267. <https://doi.org/10.1007/s00217-024-04474-3>
- [94] Yan X, Laurent S, Federighi M, Boué G, Jury V. Processing edible insects into powders: a review of available processes and potential microbial inactivation methods. *J Insects Food Feed*. 2022; 9(3): 325 - 338. <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0203>
- [95] Delgado L, Garino C, Moreno F, Zagon J, Broll H. Sustainable Food Systems: EU Regulatory Framework and Contribution of Insects to the Farm-To-Fork Strategy. *Food Reviews International*. 2023; 39(9): 6955-6976. <https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2130354>
- [96] Quintieri L, Nitride C, De Angelis E, Lamonaca A, Pilolli R, Russo F, Monaci L. Alternative Protein Sources and Novel Foods: Benefits, Food Applications and Safety Issues. *Nutrients*. 2023; 15(6). <https://doi.org/10.3390/nu15061509>
- [97] Wynants E, Froominckx L, Van Miert S, Geeraerd A, Claes J, Van Campenhout L. Risks related to the presence of *Salmonella* sp. during rearing of mealworms (*Tenebrio molitor*) for food or feed: Survival in the substrate and transmission to the larvae. *Food Control*. 2019; 100: 227–234. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.01.026>
- [98] Garofalo C, Osimani A, Milanovic V, Taccari M, Cardinali F, Aquilanti L, Clementi F. The microbiota of marketed processed edible insects as revealed by high-throughput sequencing. *Food Microbiol*. 2017; 62: 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.09.012>
- [99] Baigts-Allende D, Stathopoulos C. Overcoming obstacles in insect utilization. *Eur Food Res Technol*. 2023; 249: 849–860. <https://doi.org/10.1007/s00217-022-04196-4>
- [100] Belluco S, Bertola M, Montarsi F, Di Martino G, Granato A, Stella R, Mutinelli F. Insects and Public Health: An Overview. *Insects*. 2023; 14(3). <https://doi.org/10.3390/insects14030240>

- [101] De Paepe E, Wauters J, Van Der Borght M, Claes J, Huysman S, Croubels S, Vanhaecke L. Ultra-high-performance liquid chromatography coupled to quadrupole orbitrap high-resolution mass spectrometry for multi-residue screening of pesticides, (veterinary) drugs and mycotoxins in edible insects. *Food Chemistry*. 2019; 293: 187–196. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.082>
- [102] Ramos-Elorduy J. Anthropo-entomophagy: Cultures, evolution and sustainability. *Entomol Res*. 2009; 39: 271–88. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5967.2009.00238.x>
- [103] Wessels M, Azzollini D, Fogliano V. Frozen storage of lesser mealworm larvae (*Alphitobius diaperinus*) changes chemical properties and functionalities of the derived ingredients. *Food Chemistry*. 2020; 320: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126649>