



Producción de insectos comestibles: retos, oportunidades y perspectivas para Costa Rica¹

Production of edible insects: challenges, opportunities, and perspectives for Costa Rica

Ileana Maricruz Bermúdez-Serrano^{2,3}, Ana María Quirós-Blanco^{2,3}, Óscar Acosta-Montoya²

¹ Recepción: 7 de noviembre, 2022. Aceptación: 2 de mayo, 2023. Esta revisión se realizó en el marco del proyecto de investigación “Consumo de insectos y su aplicación en matrices alimentarias en Costa Rica: retos y oportunidades de una estrategia potencial para el fortalecimiento de la seguridad alimentaria nacional”, 735-B9-611.

² Universidad de Costa Rica, Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, San José, Costa Rica. Código postal: 11501-2060. ileana.bermudez@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0002-3516-6751>), oscar.acosta@ucr.ac.cr (autor para la correspondencia, <https://orcid.org/0000-0001-8156-6556>).

³ Universidad de Costa Rica, Carrera de Ingeniería de Alimentos, Sede de Guanacaste, Guanacaste, Costa Rica. Código postal: 50101. ana.quirós_b@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0003-0240-5100>).

Resumen

Introducción. Los insectos comestibles se presentan como una fuente alternativa de proteína generada con prácticas de producción sostenibles con el medio ambiente y de alto valor nutricional. La producción de alimentos con insectos ha aumentado en los últimos años a nivel mundial y se estima que continuará en crecimiento. Costa Rica cuenta con un pequeño número de productores de insectos comestibles, lo que ha conllevado un creciente interés de la academia y entidades estatales por fomentar el sector. **Objetivo.** Presentar el mercado actual, las oportunidades, los retos y las perspectivas de la producción, procesamiento y comercialización de insectos comestibles a nivel internacional y en Costa Rica. **Desarrollo.** Se describe el mercado actual de los insectos comestibles a nivel mundial, los principales retos y oportunidades de su producción, procesamiento y comercialización, así como el desarrollo del sector en Costa Rica. **Conclusión.** A nivel mundial, los principales retos relacionados con la producción de alimentos con insectos son la baja aceptación del consumidor, la falta de tecnologías de producción de insectos y un deficiente marco regulatorio. En Costa Rica, debido a los esfuerzos conjuntos de la academia, el sector público y privado, existe un marco regulatorio base que permite la producción de tres especies de insectos para consumo humano. Los costarricenses tienen la disposición de incluir los insectos en su dieta, pero aún es necesario desarrollar mejores métodos de producción para facilitar el crecimiento del sector.

Palabras claves: entomofagia, proteína de insectos, procesamiento de alimentos, innovación, industria alimentaria.

Abstract

Introduction. Edible insects emerge as an alternative source of protein generated with environmentally sustainable production practices and high nutritional value. The production of insect-based food products has



increased globally in recent years and it is expected to continue growing. Costa Rica has a small number of edible insect producers, which has led to growing interest from academia and government entities in promoting the sector.

Objective. To present the current market, opportunities, challenges, and perspectives of edible insect production, processing, and marketing internationally and in Costa Rica. **Development.** The current global market for edible insects is described, the main challenges, and opportunities in their production, processing, and marketing, as well as the sector's development in Costa Rica. **Conclusion.** Globally, key challenges in edible insect production include low consumer acceptance, lack of insect production technologies, and inadequate regulatory framework. In Costa Rica, collaborative efforts from academia, the public, and private sectors have established a basic regulatory framework allowing the production of three insect species for human consumption. Costa Ricans are willing to include insects in their diet, but there is still a need to develop better production methods to facilitate the sector growth.

Keywords: entomophagy, insect protein, food processing, innovation, food industry.

Introducción

La entomofagia es el consumo de insectos por cualquier organismo como parte de su dieta alimenticia (van Huis et al., 2013). La práctica de la entomofagia por parte del ser humano se ha registrado desde la existencia de las primeras civilizaciones en México, China y en el antiguo Egipto (Costa-Neto, 2015; Dunkel & Payne, 2016; Ramos Rostro et al., 2012). En la actualidad, se estima que cientos de millones de personas consumen insectos alrededor del mundo, la mayoría en regiones de Asia, África y Latinoamérica (Pijoan, 2001; van Huis, Halloran et al., 2021).

Los insectos pertenecen al filo Arthropoda, clase Insecta. Aunque se estima que existen 5,5 millones de especies en esta clase, solo un millón han sido nombradas (Rumpold & Schlüter, 2013a; Stork, 2018), de las cuales al menos 1611 son comestibles (Van Itterbeeck & Pelozuelo, 2022). Los principales órdenes en los que se agrupan diferentes especies de insectos comestibles son Coleoptera (escarabajos), Lepidoptera (orugas), Hymenoptera (hormigas), Orthoptera (grillos) y Diptera (moscas) (van Huis et al., 2013).

En el año 2013, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) aseguró que el uso de insectos como fuente de proteína es una de las estrategias para mejorar la seguridad alimentaria del mundo y aumentar la calidad nutricional de las dietas (van Huis et al., 2013). En los últimos años, se ha reportado que es necesario diversificar las fuentes de proteínas y que estas sean producidas de forma sostenible para disminuir su impacto ambiental (Willett et al., 2019). En este contexto, los insectos se presentan como una proteína alternativa, con prácticas de producción más sostenibles con el medio ambiente y alto valor nutricional (Rumpold & Schlüter, 2013a).

A nivel internacional, los insectos son producidos para fines de consumo humano y animal. En Europa y Norteamérica, se han creado empresas con una alta capacidad de producción tales como *Ynsect* y *Aspire Food Group*. En Costa Rica, también existen emprendimientos que han iniciado la producción y procesamiento de insectos para consumo humano (Bermúdez-Serrano et al., 2021). En la legislación nacional se permite la producción industrial de tres especies de insectos comestibles: *Acheta domesticus*, *Tenebrio molitor* y *Zophobas morio* (Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica [PROCOMER], 2021).

A nivel comercial, los insectos comestibles fueron reportados como una de las principales cadenas de valor con potencial exportador en el sector agropecuario de Costa Rica (FUNDES, 2019). PROCOMER identificó los potenciales mercados para comercio internacional de insectos comestibles producidos en el país (Ulloa, 2022). Ante esta información, la producción de insectos comestibles se muestra como una industria con potencial de desarrollo en Costa Rica. Entre las principales razones para promover la producción de insectos en el país, se encuentran su afinidad con las estrategias gubernamentales de desarrollo sostenible, las condiciones climáticas del país son

favorables para la producción y el interés de emprendedores por iniciar y desarrollar esta actividad productiva (Bermúdez-Serrano et al., 2021).

La producción, procesamiento y utilización de insectos como alimento humano, conlleva varios desafíos, tales como: el establecimiento de las tecnologías automatizadas de producción, la aversión de las culturas occidentales al consumo de insectos y el establecimiento del marco regulatorio (Baiano, 2020; Dobermann et al., 2017; van Huis et al., 2013). Se deben desarrollar las medidas de control del proceso de producción y los métodos de preservación para el aseguramiento de la inocuidad y calidad de los productos que contienen insectos (Rumpold & Schlüter, 2013a). Estos desafíos deben ser solventados para asegurar la introducción y permanencia de los insectos comestibles en el mercado internacional.

Con base en las oportunidades y los retos para el desarrollo del sector de insectos comestibles en Costa Rica, resulta importante fortalecer la creación de conocimiento que sirva de base para consumidores, emprendedores, industriales, gobierno y académicos. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue presentar el mercado actual, las oportunidades, los retos y las perspectivas de la producción, procesamiento y comercialización de insectos comestibles a nivel internacional y en Costa Rica.

El mercado de insectos comestibles en el mundo

Diversos estudios demuestran que el mercado de los insectos comestibles está en crecimiento. La firma Global Markets Insights estimó un crecimiento de 47 % interanual entre el 2019 y el 2026, para alcanzar un valor proyectado de USD 1,5 miles de millones en el 2026 (Global Markets Insights Inc. [GMI], 2020). Barclays Investment Bank proyectó un valor cercano a USD 8 mil millones al año 2030 (Verner et al., 2021). Se estima que la demanda de insectos comestibles de Tailandia y China superarán los USD 50 millones y los USD 85 millones, respectivamente, en 2024 (Verner et al., 2021).

Las principales especies de insectos que hasta el momento se han producido con fines comerciales como alimento para humanos son los grillos *A. domesticus*, *Grylloides sigillatus*, *Gryllus assimilis*, *Gryllus bimaculatus*, gusanos de la harina como *T. molitor*, *Alphitobius diaperinus* y *Z. morio* (Cortes Ortiz et al., 2016; van Huis, 2020). De los cuales, el más común es el grillo *A. domesticus* (Cortes-Ortiz et al., 2016; Reverberi, 2020; Shockley, Lesnik et al., 2018).

Alrededor del mundo existen granjas dedicadas a la producción de insectos comestibles. Tailandia es el país con mayor producción de grillos a nivel mundial. Cuenta con más de 20 000 medianas y pequeñas granjas que producen 7500 toneladas anuales de grillos (Hanboonsong et al., 2013). En Corea del Sur, se contabilizan más de 2500 granjas de insectos, las cuales producen productos para consumo humano y animal, así como productos medicinales, mientras que en África ya existen más de 850 granjas de insectos (Verner et al., 2021). Los productores de la Unión Europea colocaron 500 toneladas de productos a base de insectos en el mercado europeo en el año 2019 (International Platform of Insects as Food and Feed [IPIFF], 2020). En Latinoamérica, Bermúdez-Serrano (2020) identificó veintiséis empresas que producen insectos para consumo humano, de las cuales la mayoría (13) están ubicadas en México.

Algunas empresas productoras de insectos para consumo humano a nivel mundial son Ynsect (Francia), Aspire Food Group (Estados Unidos), Thailand Unique (Tailandia), Entocube (Finlandia), Entomofarms (Canadá), Jimmini's (Francia), SensFood (República Checa y Alemania), BenetoFoods (Alemania), EnGrillo (México), Gricha (México), All Things Bugs (Estados Unidos), Cricket One (Vietnam), entre otros (Engstrom, 2019). Una lista exhaustiva de los productores existentes se puede consultar en el sitio web del blog Bug Burger (www.bugburger.se).

El desarrollo de la industria de los insectos comestibles se ve reflejado en la creación de asociaciones de productores, las cuales fomentan el sector, educan a la población y coordinan esfuerzos para la legalización de los

insectos (IPIFF, n.d.). Uno de los mayores actores es la Plataforma Internacional de Insectos para Consumo Humano y Animal (IPIFF, por sus siglas en inglés), creada en la Unión Europea en el 2012 y que cuenta con 81 miembros. Existen, además, asociaciones en otras regiones del mundo como la Asociación Asiática de Insectos para Consumo Humano y Animal (AFFIA, por sus siglas en inglés), la Coalición Norteamericana para la Agricultura con Insectos (NACIA, por sus siglas en inglés), la Asociación de Proteína de Insectos de Australia (IPAA, por sus siglas en inglés) y la Asociación Brasileña de Criadores de Insectos Comestibles (ASBRACI, por sus siglas en portugués). En el año 2021, se creó la Asociación Latinoamericana de Productores de Insectos (APICAL), la cual cuenta con más de cincuenta miembros.

Un buen indicador del desarrollo del sector de insectos comestibles es el financiamiento recibido, los productores europeos son quienes llevan la delantera. Según reporta la IPIFF (2020), la mayoría (63 %) de los emprendimientos enfocados a consumo humano recibe menos de 500 mil euros de financiamiento, mientras que el 19 % ha recibido de 0,5 a 5 millones de euros. Como ejemplo, la empresa Ynsect recibió USD 372 millones en el año 2020 para ampliar su planta de producción de *T. molitor* en Francia (Ynsect Société par Actions Simplifiée, 2020).

En cuanto a los productos disponibles en el mercado, la IPIFF (2020) reporta que en la Unión Europea la mayor cuota de mercado (cerca del 25 %) en el año 2020 estuvo representada por insectos enteros. Sin embargo, se promueve la utilización de polvos con alto contenido proteico más allá del consumo de insectos enteros. Estos polvos pueden ser incorporados a otro tipo de alimentos, como las barras energéticas, bocadillos, ingredientes alimenticios de especialidad y pastas (IPIFF, 2020; Reverberi, 2020).

Para el 2025, se estima que los ingredientes alimenticios de especialidad cubrirán cerca del 20 % del mercado, con bocadillos y barras energéticas en el segundo y tercer lugar en términos de participación de mercado. A pesar de representar una pequeña porción del mercado actual, se anticipa que los productos denominados “paleo”, alimentos funcionales, productos horneados y productos cárnicos tendrán la mayor tasa de crecimiento (IPIFF, 2020).

Oportunidades y retos de la producción y consumo de alimentos con insectos

Los insectos han sido consumidos en muchos países del mundo, sin embargo, su producción y consumo de forma masiva es considerada una innovación radical, lo que conlleva retos y oportunidades únicos que deben ser considerados para asegurar su aceptación en el mercado. A continuación, se analizan los principales retos y oportunidades relacionados a la producción y consumo de alimentos con insectos en el mundo.

Aspectos nutricionales

Los insectos son fuente de energía, proteína, grasa, vitaminas y minerales (Ramos Rostro et al., 2012; Dobermann et al., 2017). Su valor nutricional varía entre las diferentes especies, el estado de desarrollo, el hábitat en el que se desarrollan y la dieta suministrada en su crecimiento (van Huis et al., 2013).

Ante el creciente interés por el uso de insectos como alimento, Rumpold & Schlüter (2013b) recopilaron la composición nutricional de 236 diferentes especies de insectos comestibles y reportaron su contenido de proteína, grasa, fibra, cenizas, perfil de aminoácidos y ácidos grasos, vitaminas y minerales. Además, se reportó la composición nutricional de 56 insectos comestibles del Estado de México (Ramos-Elorduy et al., 2009).

La proteína se reporta como el principal componente de los insectos, con un rango promedio entre 40 % y un 65 % del total de materia en base seca (Rumpold & Schlüter, 2013b). El porcentaje de proteína en base seca de algunas especies de insectos comestibles son: *A. domesticus* 64,4–70,7 %, *T. molitor* 65,6 %, *Bombyx mori* 48,7–58,0 % (Jantzen da Silva Lucas et al., 2020) y *Gryllus bimaculatus* 58,3 % (Ghosh et al., 2017).

El contenido de proteína cuantificado en los insectos comestibles puede ser sobreestimado, debido a la presencia de otros compuestos, como la quitina, un componente principal del exoesqueleto. Ante esta situación, se recomienda analizar el perfil de aminoácidos como complemento a la cuantificación de proteínas (Janssen et al., 2017; Köhler et al., 2019).

La calidad de las fuentes de proteína está determinada por su digestibilidad y la composición de aminoácidos. Entre un 46 % y 96 % de todos los aminoácidos, están presentes en la proteína de insecto. Se reporta que la puntuación de aminoácidos esenciales es de 0,91 para el grillo *G. assimilis* (Florence Inje et al., 2018). La digestibilidad de la proteína ha sido estimada entre un 77 % y un 98 % para la mayoría de las especies de insectos (Dobermann et al., 2017). En el caso específico de especies de grillos, se ha indicado que su proteína es de mayor calidad que otras proteínas de fuentes vegetales y proteínas de otros insectos. Un estudio demostró que los grillos *A. domesticus* ofrecen una proteína de mayor calidad que la proteína de soya (Dobermann et al., 2017).

La grasa es el segundo componente mayoritario de los insectos. Se ha reportado que el perfil de ácidos grasos insaturados es similar al del pollo y pescado blanco, y que el perfil de los poliinsaturados es mayor que para pollo o res (Dobermann et al., 2017). En el caso específico de las larvas de escarabajos *T. molitor*, la composición de omega-3 y de seis ácidos grasos es comparable con el contenido en pescado y mayor que para carne de res y de cerdo (van Huis et al., 2013).

Sobre el contenido de micronutrientes, varias especies de insectos han mostrado un alto nivel de minerales como cobre, hierro, magnesio, manganeso, fósforo, selenio, zinc y vitaminas como riboflavina, ácido pantoténico, biotina y, en algunos casos, ácido fólico (Rumpold & Schlüter, 2013b). El contenido de hierro de los insectos es mayor que en las fuentes de proteína vegetal. Además, se estima que se encuentra disponible en su forma aminoquelada, la cual es encontrada en fuentes tradicionales de proteína animal y resulta más aprovechable por el ser humano (Dobermann et al., 2017).

Aspectos ambientales

Al abordar el tema de la disminución del impacto ambiental de las fuentes de proteína tradicionales, el uso de insectos se ha considerado como una buena alternativa (Dunkel & Payne, 2016). En comparación con la ganadería, los insectos poseen una mayor eficiencia de conversión de alimento, dado que necesitan menor cantidad de este por kilogramo de masa producida. Además, los insectos tienen mayor tasa de fertilidad, pueden crecer en desecho orgánico, producen menor cantidad de gases de efecto invernadero y requieren menor cantidad de recursos como espacio de producción y agua (Avendaño et al., 2020; Rumpold & Schlüter, 2013a).

El alimento que se utiliza para producir las fuentes de proteína de origen animal tiene un gran impacto en la huella de agua y carbono de estos productos. En el caso de los grillos, se requieren 1,7 kg de alimento para producir 1 kg de los insectos, mientras que para res se requieren 7,7 kg de alimento por kg de carne, para el cerdo 3,6 kg y para el pollo 2,2 kg. Estos valores confirman que la producción de insectos genera menor impacto ambiental que las otras fuentes de proteína de origen animal (Rumpold & Schlüter, 2013a).

El análisis de impacto ambiental de los productos se realiza a través del análisis de ciclo de vida (ACV) (van Huis et al., 2021). El ACV cuantifica el efecto al medio ambiente, directo o indirecto, generado por todo el flujo de materiales en el proceso de obtención de un producto (Halloran et al., 2017). Se indica que las especies de insectos con más estudios de ACV reportados son *Hermetia illucens*, *T. molitor* y *Musca domestica* (Smetana et al., 2021). Un estudio ACV demostró que el mayor aporte al impacto ambiental en la producción de grillos *A. domesticus* proviene de la producción de la soya y el maíz, utilizados como alimento en la cría del insecto (Halloran et al., 2017). Además, mediante un ACV, el polvo de larvas *H. illucens*, reportó un menor impacto ambiental que el suero de leche en polvo (Smetana et al., 2016).

Los insectos pueden generar potenciales modelos de economía circular por su capacidad de alimentarse de residuos orgánicos agroindustriales. Por otro lado, los excrementos generados por los insectos se pueden convertir en abono orgánico. Estas opciones permiten disminuir la huella de carbono reportada en los ACV en la producción industrial de insectos (Halloran et al., 2017; van Huis et al., 2021).

Producción de insectos

A lo largo de la historia, los insectos comestibles han sido recolectados de la naturaleza, pero en la actualidad se fomenta su cría en cautiverio y el desarrollo de granjas industriales. De esta forma, se elimina la dependencia de factores ambientales, se evita la perturbación a los ecosistemas y se asegura un mayor control de los costos de producción y el precio de venta (Costa-Neto, 2015; van Huis & Tomberlin, 2018).

La producción de insectos se puede dividir en dos grandes etapas: la cría y la producción de biomasa (Jensen et al., 2017). La cría se relaciona con el manejo de los individuos adultos y el aseguramiento de su reproducción, con el objetivo de obtener individuos jóvenes que pasarán luego a la segunda etapa, en la que se busca aumentar la biomasa del insecto en el menor tiempo posible.

La cría de insectos se puede realizar por diferentes métodos: a gran escala, como “mini-ganado” o de forma semiartesanal, por medio de la manipulación del entorno natural de los insectos y su posterior cosecha (Van Itterbeeck & van Huis, 2012).

Producir insectos implica el manejo de diversos factores a nivel de biología, alimentación animal e ingeniería, como se indica en el Cuadro 1. Durante la cría, el conocimiento sobre conceptos biológicos y de genética de poblaciones es crítico, mientras que, en la fase de producción de biomasa, entender la interacción de los aspectos ambientales y la alimentación con el crecimiento de los individuos es prioritario (Jensen et al., 2017).

Factores como la temperatura, la humedad, la variación de la luz y la calidad del alimento pueden afectar la productividad y son críticos para asegurar la producción adecuada de huevos de los insectos cosechados (van Huis & Tomberlin, 2018). Además, la selección de los equipos, el desarrollo de sistemas automáticos de alimentación y cuidado de los insectos, así como aspectos de infraestructura, son importantes para asegurar la sostenibilidad productiva de la granja (Kok, 2018).

Los primeros intentos de producir insectos a gran escala en espacios confinados datan de 1988 (Kok et al., 1988), pero esta actividad representa aún uno de los mayores retos de la industria a nivel internacional. La falta de investigación y de desarrollo tecnológico en el tema es la principal causa. Aún no se cuenta con protocolos estandarizados y automatizados por completo, lo que dificulta alcanzar los rendimientos esperados. Esto se debe a que los métodos para producir insectos varían mucho según la biología del insecto, la ubicación y los recursos disponibles (van Huis, 2020).

Aspectos éticos de la producción y consumo de insectos

Han sido identificadas cinco áreas con cuestionamientos éticos relacionados con la producción de insectos para consumo humano o animal: impacto ambiental, salud humana (y animal), aceptabilidad y preferencia de los consumidores, bienestar animal y consideraciones generales de ética animal (Gjerris et al., 2016). En la medida que las condiciones de producción y procesamiento sean adecuadas, las primeras tres áreas (incluidas en aspectos antropocéntricos), por lo general, derivan en efectos positivos o beneficiosos para los seres humanos (Gjerris et al., 2016). En contraste, el tema de bienestar animal relacionado con el uso de insectos para alimentación humana y animal no ha sido reportado con detalle en la literatura científica. La producción a gran escala de insectos (y en menor medida la recolección de insectos silvestres), involucra aspectos relacionados con protección animal, como por ejemplo la crianza y cosecha (Pali-Schöll et al., 2018). El tema es complejo, ya que no se ha alcanzado aún un

Cuadro 1. Principales factores que tomar en cuenta para la cría de insectos comestibles.

Table 1. Main factors to consider for rearing edible insects.

Factor	Aspecto que considerar	Recomendaciones	Ejemplos
Biología del insecto	Especie a cultivar y su ciclo de vida	Seleccionar la especie idónea según los recursos disponibles y el uso previsto. Conocer las diferentes etapas del ciclo de vida de la especie a cultivar y la duración promedio del mismo.	<i>A. domesticus</i> realiza una metamorfosis incompleta, que involucra las etapas de huevo, ninfa y adulto. <i>T. molitor</i> realiza metamorfosis completa (Eilenberg et al., 2021).
	Reproducción y mantenimiento de los huevos	Aspecto crítico para mantener la población. Se debe conocer los factores que afectan la reproducción de los individuos, así como las condiciones adecuadas del ponedero.	Los huevos de <i>A. domesticus</i> necesitan mantenerse húmedos. Se debe evitar la acumulación de agua en el ponedero y este no debe ser muy duro, para que la hembra pueda penetrarlo (Mott, 2018).
	Patologías y depredadores	Conocer los patógenos y enfermedades hereditarias que afectan al insecto. Evitar la presencia de especies invasoras o depredadoras.	Virus del ADN (como los baculovirus y densovirus) y los virus del ARN (como los discitrovirus e iflavivirus). Depredadores como aves, arañas y reptiles (Eilenberg et al., 2021).
Condiciones ambientales	Temperatura y humedad	Se debe conocer la temperatura y humedad óptimas en cada fase del ciclo de vida.	El <i>A. domesticus</i> se desarrolla de forma óptima a 28 °C y una humedad relativa de 50-60 % (Mott, 2018).
	Luz	Cada especie requiere una cantidad de luz diferente en cada etapa de su ciclo de vida.	Los grillos aceptan ciclos de 12 horas de luz, seguidos de 12 horas de oscuridad (Mott, 2018).
Alimento (sustrato)	Necesidades nutricionales de la especie a cultivar	Se debe evaluar cuál es el mejor alimento para el insecto escogido, con respecto a su contenido nutricional, así como la calidad requerida del mismo.	Concentrados para animales. Frutas, verduras y cereales. Productos y subproductos de origen animal. Desperdicios de alimentos y subproductos industriales (Pinotti & Ottoboni, 2021).
Infraestructura	Instalaciones y equipamiento	Los insectos deben estar en un área cerrada, que permita la limpieza. Seleccionar el diseño adecuado de los contenedores de cría.	Se pueden utilizar bandejas plásticas (<i>T. molitor</i> , <i>A. domesticus</i>) o piscinas de concreto (<i>A. domesticus</i>) (Mott, 2018).
	Métodos de procesamiento	Decidir los métodos a utilizar para cada etapa del proceso, acorde a los recursos disponibles.	El sacrificio se puede realizar por medio de congelación o calentamiento con agua o vapor (Eilenberg et al., 2021).

Elaboración propia a partir de: / Own elaboration based on: Eilenberg et al. (2021); Jensen et al. (2017); Kok (2018).

consenso sobre la capacidad de los insectos de experimentar sentimientos y sensaciones, así como su percepción de dolor (Adamo, 2016).

La evaluación específica de bienestar no debe considerar solo aspectos del insecto y su ambiente, sino también el contexto del sistema productivo (Gjerris et al., 2016). Se ha establecido que la aplicación del principio precautorio es favorable en este caso y por lo general, se recomienda minimizar el sufrimiento de los insectos. Por ejemplo, al procurar que los métodos para producir la muerte sean rápidos y efectivos (van Huis, 2019). Con

respecto a las consideraciones generales de ética animal, es posible analizar aspectos relacionados con la integridad de los insectos y su muerte, además del posible uso de biotecnologías, por ejemplo, la modificación genética para mejorar la producción intensiva o la obtención de un componente nutricional específico (Gjerris et al., 2016).

Inocuidad de los insectos

Como cualquier otro tipo de alimento, los insectos comestibles pueden representar un riesgo para el consumidor si no se producen y procesan de forma adecuada. Se han publicado reportes exhaustivos sobre el tema, en los cuales se identifican los siguientes peligros potenciales:

-Microbiológicos: a pesar de que el riesgo de transmisión de enfermedades zoonóticas es muy bajo, debido a las grandes diferencias genéticas entre los insectos y los humanos, los insectos pueden ser vectores de microorganismos patógenos, tales como bacterias, virus, hongos y parásitos (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2021). Los riesgos asociados a virus y parásitos han sido poco estudiados. Las principales bacterias identificadas en insectos son *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus* y *Clostridium* spp. Se ha reportado presencia de mohos en el microbiota de algunos insectos tales como *Aspergillus*, *Alternaria*, *Fusarium* y *Penicillium* (Eilenberg et al., 2021). Sin embargo, los niveles de microorganismos pueden disminuir de forma significativa al incluir una etapa de escaldado, lavado o calentamiento durante el procesamiento (Dobermann et al., 2017).

-Físicos: los insectos deshidratados que se consumen enteros pueden presentar peligros físicos, debido a las partes duras de los insectos, como las patas, las alas y las espinas que pueden causar obstrucciones físicas. Los consumidores deben ser informados de la presencia de estas partes de insectos en los productos alimenticios (French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety [ANSES], 2015). En el caso de polvos a base de insectos es importante tomar en cuenta los posibles peligros físicos como piedras y trozos de metal. Estos pueden estar presentes en el sustrato, así como provenir de la maquinaria y deben ser removidos durante el procesamiento.

-Químicos: los insectos criados pueden estar expuestos a micotoxinas, pesticidas y otros peligros químicos como metales tóxicos y dioxinas (FAO, 2021). La posible transferencia y acumulación de estos contaminantes en los insectos aún debe ser estudiada. Sin embargo, se ha demostrado que los insectos metabolizan las micotoxinas, por lo que aun cuando los sustratos tengan niveles preocupantes, estas no parecen acumularse en el insecto (FAO, 2021).

Las buenas prácticas de manufactura y la implementación de un análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP, por sus siglas en inglés), son necesarias para identificar, prevenir y controlar los posibles peligros mencionados y así asegurar la inocuidad de los insectos y los productos alimenticios a base de estos.

Alergenicidad

Existe el riesgo de que los insectos comestibles causen reacciones alérgicas a personas con alergias a otros organismos artrópodos como camarones y otros crustáceos y ácaros (de Gier & Verhoeckx, 2018; Garino et al., 2020; Pali-Schöll, Verhoeckx et al., 2019). Se ha estudiado que pacientes con alergia al camarón o ácaros, presentan reactividad cruzada al ingerir insectos como saltamontes, grillo campestre *G. bimaculatus*, larvas de *T. molitor*, grillo doméstico *A. domesticus* y langosta del desierto *Schistocerca gregaria* (Pali-Schöll, Meinlschmidt et al., 2019).

La alergia alimentaria relacionada con el consumo de insectos es mediada por la inmunoglobulina IgE, la cual desencadena una reacción adversa ante proteínas específicas que contienen los alimentos (de Gier & Verhoeckx, 2018). Los síntomas de estas reacciones alérgicas se pueden reflejar con efectos en la piel, gastrointestinales y respiratorios. La gravedad puede ser desde muy baja hasta generar problemas clínicos severos incluida la anafilaxis (de Gier & Verhoeckx, 2018). Ante estos reportes, algunas organizaciones como IPIFF han recomendado que los

productos que contienen insectos incluyan en su etiqueta la indicación de que “personas alérgicas a los moluscos, crustáceos y/o ácaros pueden tener una reacción alérgica al consumir insectos” (IPIFF, 2019).

Procesamiento de insectos

Los objetivos fundamentales del procesamiento de alimentos corresponden al aseguramiento de la inocuidad, calidad y disponibilidad de alimentos (MacDonald & Reitmeier, 2017). Después de ser cosechados, los insectos se sacrifican y, en una etapa posterior, pueden ser procesados y consumidos de tres maneras principales: como insectos enteros, molidos o en pasta y como un extracto de proteína (van Huis et al., 2013).

A nivel culinario existen técnicas de cocción tradicionales aplicadas a insectos comestibles, tales como escaldado, tostado, ahumado, frito, estofado y curado. Cada técnica produce alimentos con propiedades sensoriales y nutricionales diferentes (Melgar-Lalanne et al., 2019). A nivel industrial, es posible aplicar una amplia gama de operaciones unitarias, las cuales se seleccionan en función del proceso. El proceso a su vez se establece a partir de las propiedades de la materia prima empleada y el producto final que se desea desarrollar.

Por lo general, el procesamiento de insectos involucra una operación de escaldado para producir la muerte del insecto. Esta operación permite, además, reducir la carga microbiana e inactivar enzimas. También es usual aplicar una operación de deshidratación con el objetivo de reducir la actividad de agua del material. Es posible llevar a cabo operaciones de remoción de partes no comestibles, extracción o reducción de tamaño (Liceaga, 2021; Melgar-Lalanne et al., 2019; Ojha et al., 2021). En cualquier proceso que se desarrolle, debe asegurarse la inocuidad del alimento, por lo general, mediante una combinación de tratamiento térmico y reducción de actividad del agua o bien control de la temperatura de almacenamiento.

Están disponibles en el mercado mundial varios alimentos procesados que han sido desarrollados con insectos como materia prima. Estos incluyen insectos deshidratados enteros listos para consumir (saborizados o no) e insectos deshidratados en polvo (para uso como ingrediente alimentario). También hay disponibilidad de barras energéticas, chips, pastas, galletas, panes, harinas, granolas, así como dulces, chocolates, helados y otros bocadillos dulces y salados, mantequillas, aceites, especias y sazónadores (Melgar-Lalanne et al., 2019; Ponce-Reyes & Lessard, 2021).

Aspectos de percepción del consumidor

Uno de los grandes retos a los que se enfrentan los insectos comestibles es el posible rechazo de los consumidores. En las regiones donde la entomofagia es común, los insectos son considerados como una fuente valiosa de alimento. Sin embargo, en países donde la práctica es desconocida, los insectos generan reacciones negativas, asociándose con conceptos como “suciedad, asco y peligro” (Dobermann et al., 2017). Estas diferentes reacciones tienen un trasfondo cultural y se pueden dar dentro de un mismo país, como es el caso de Brasil, donde se encontró una fuerte asociación entre la región de origen y la percepción hacia los insectos (Bisconsin-Junior et al., 2019).

Se han identificado tres principales detonantes para el rechazo de los insectos basado en el asco: la expectativa de un sabor negativo, un desconocimiento de la consistencia y la incertidumbre en cuanto al origen del alimento (Hartmann & Siegrist, 2017). Un estudio demostró que hacer creer a los participantes que un pan contenía 10 % de polvo de insectos disminuyó su nivel de agrado, aunque este no contuviera insectos (Barsics et al., 2017).

La incorporación de los insectos en forma de polvo a otros alimentos es una de las principales estrategias para vencer el rechazo. Se ha demostrado que los consumidores prefieren estas preparaciones sobre el consumo de insectos enteros (Caparros Megido et al., 2016; Ruby et al., 2015). En este caso, se debe tomar en cuenta el

porcentaje de adición de insectos en la formulación y sus posibles efectos en la aceptación. Por ejemplo, se obtuvo un menor nivel de agrado para un pan con 30 % de polvo de grillos que para el pan con 10 % (Osimani et al., 2018).

Las campañas de educación al público son vitales para la difusión del consumo de insectos y facilitar que los consumidores se familiaricen con sus beneficios y características sensoriales (Schockley, Allen et al., 2018). En un estudio realizado en Dinamarca e Italia, se demostró que al presentar información sobre los beneficios del consumo de insectos aumentó la disposición de los consumidores por consumirlos (Dobermann et al., 2017). Las degustaciones en escuelas han demostrado la reducción de la neofobia (rechazo al consumo de alimentos novedosos) y han aumentado la disposición a probar alimentos desconocidos (Park & Cho, 2016).

Se ha recomendado que las campañas de mercadeo de los productos a base de insectos refuercen las asociaciones positivas, con el fin de disminuir la percepción negativa que existe hacia estos. Por ejemplo, al aludir no solo a la sostenibilidad, sino a que los insectos son “deliciosos”, “nutritivos” y una “opción saludable” para el consumidor (Hartmann & Siegrist, 2017; Shelomi, 2016).

Aspectos regulatorios

En países como México, China, Tailandia y Australia, los insectos se han recolectado y consumido de forma tradicional sin un marco regulatorio específico. Sin embargo, debido al interés de otros países de producir insectos a gran escala y promover su consumo, se ha generado una necesidad de articular los requisitos regulatorios (Lähteenmäki-Uutela et al., 2021). Por ejemplo, a raíz de las oportunidades de exportación, Tailandia elaboró en el año 2017 la Guía de Buenas Prácticas Agrícolas para el cultivo de grillos y ya ha certificado a algunos productores (Reverberi, 2020).

En México, a pesar de que los insectos no están reconocidos como alimentos en las Normas Oficiales Mexicanas, sí están mencionados en la Ley de Productos Orgánicos implementada en abril del 2017. Se incluye al gusano de maguey, las larvas de escarabajos, los escamoles y los huevos de hormigas (Lähteenmäki-Uutela et al., 2021). Bajo esta normativa, se debe demostrar que la recolección, cultivo, captura, limitación y procesamiento de insectos no altera ni influye en el ecosistema, en caso de que se quieran comercializar como productos orgánicos.

En Estados Unidos, la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés) reconoce a los insectos como alimentos bajo el Acta de Alimentos, Drogas y Cosméticos (Código de Estados Unidos, Título 21) (Lähteenmäki-Uutela et al., 2021). Según esta regulación, los insectos deben ser inocuos y haber sido producidos, empacados, almacenados y transportados bajo condiciones higiénicas y estar etiquetados. Cabe destacar que los insectos recolectados de la naturaleza no pueden usarse como alimento.

En el caso de la Unión Europea, la Regulación de Alimentos Novedosos (Novel Food Regulation 2015/2283) solicita desde enero del 2018 una aprobación previa a la comercialización de insectos comestibles en la región. Esta autorización se concede tras la presentación de una solicitud a la Comisión Europea, la evaluación de la seguridad del insecto por parte de la Autoridad Europea de Inocuidad de Alimentos (EFSA) y el voto favorable de los Estados miembros de la Unión Europea (IPIFF, 2021).

Hasta el momento, se han aprobado cuatro solicitudes para producción y venta de insectos en la Unión Europea: gusano de la harina *T. molitor* deshidratado (entero y en polvo), *Locusta migratoria* congelada y deshidratada, grillo *A. domesticus* deshidratado, molido y congelado y el gusano de la harina congelado, deshidratado y en polvo (IPIFF, 2022). Una vez aprobados como “novel foods”, los insectos comercializados deben cumplir con todas las regulaciones europeas existentes para la producción inocua de alimentos.

Aún no se cuenta con un código de normas internacionales (Codex Alimentarius) que incluya las bases para la producción inocua de insectos a nivel mundial. Estas normas podrían facilitar la aprobación de los insectos como alimentos a nivel global, al armonizar requisitos sanitarios para la cría y procesamiento (Lähteenmäki-Uutela et al., 2021). El impacto iría más allá de asegurar la inocuidad de los productos, al permitir, además, el comercio

internacional, fomentar la producción e impactar las actitudes y comportamientos de consumo (Lähteenmäki-Uutela et al., 2021; Wilderspin & Halloran, 2018).

Aspectos económicos

La producción de insectos tiene implicaciones económicas importantes tanto a nivel tradicional como industrial. En México, sectores vulnerables de la población han convertido la venta de insectos en una actividad económica importante (Ramos-Elorduy, 2005). En Tailandia, la cría de grillos se ha convertido en la principal fuente de ingreso de miles de familias (Reverberi, 2020), mientras que, en la Unión Europea, la IPIFF (2020) estima la creación de quinientos empleos directos y mil empleos indirectos para el creciente sector de insectos comestibles.

Los principales aspectos que generan costos operacionales de una granja de insectos son: agua, electricidad, mano de obra, alimento y gas (Niyonsaba et al., 2021). Los costos de producción de *A. domesticus* a gran escala pueden ser altos, debido más que todo a las técnicas de producción primitivas utilizadas, lo que involucra una gran cantidad de mano de obra (Morales-Ramos et al., 2020). Además, se requiere la utilización de concentrados animales comerciales, lo que encarece los costos de producción (Niyonsaba et al., 2021), los cuales pueden rondar los 5914 euros por tonelada (Morales-Ramos et al., 2020).

Los precios de venta de *A. domesticus* varían entre 18 182 y 84 590 euros por tonelada de producto. Los precios más bajos se encuentran en Tailandia, donde el mercado está más desarrollado (Niyonsaba et al., 2021). En cuanto al polvo de grillos, Bermúdez-Serrano et al. (2021) reportaron un precio promedio de USD 50-60 por kilogramo en el mercado europeo. El precio de venta del *T. molitor* es más bajo que el de *A. domesticus*, con una variación de 5727 a 97 000 euros por tonelada. Los menores precios se consiguen en China, donde el mercado es más maduro (Niyonsaba et al., 2021).

La ganancia anual de un criador de grillos en Tailandia ronda los USD 2000, si se considera una granja de ocho corrales con 8,5 ciclos de crecimiento por año y un precio de venta de USD 0,44 por kilogramo de grillo fresco (Verner et al., 2021). Se reporta de USD 1650 a 2500 por cosecha con una ganancia del 50 % (Reverberi, 2020). En Corea del Sur, se estima una ganancia anual de USD 20 500 para una granja de grillos con una capacidad productiva de 3000 kg por año. En el caso de los gusanos de harina, la ganancia se estima en USD 100 000 para una producción de 3500 kg por año (Verner et al., 2021).

En general, los estudios de la rentabilidad de una granja de insectos son escasos. La variabilidad de costos de producción y precio de venta según especie y mercado dificultan los análisis financieros (Niyonsaba et al., 2021; van Huis, 2020).

Producción y consumo de alimentos con insectos en Costa Rica

La producción y consumo de alimentos con insectos es una oportunidad para generar cadenas agroalimentarias sostenibles en Costa Rica, que permitan aumentar la seguridad alimentaria y contribuyan al desarrollo económico del país. A continuación, se analiza el desarrollo del sector de insectos comestibles, los aspectos regulatorios y la aceptación del consumidor a nivel local.

El desarrollo del sector de insectos comestibles en Costa Rica

En Costa Rica, se ha observado un incremento en el interés por la producción y comercialización de insectos como alimento. En el ámbito académico, desde el año 2009, el Museo de Insectos de la Universidad de Costa Rica (UCR) genera y difunde información sobre la cría y el consumo de insectos a través de actividades con

estudiantes universitarios y en medios de comunicación nacional (O'neal Coto, 2019). Además, en el año 2019 el Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA), inició una investigación en desarrollo de nuevos productos con insectos comestibles, caracterización nutricional de nuevas especies, evaluación de la percepción del consumidor costarricense y mapeo del mercado nacional de insectos.

Se reportan al menos siete empresas relacionadas con la producción de insectos para consumo humano en Costa Rica en el año 2019: Costa Rica Come Insectos, Insectario Orgánico Juicy Ant, Cricket House, KTL Pro, Costa Rican Insect Company, Grillos en Costa Rica y Gusanos de Harina & Grillos-Costa Rica (Quirós-Blanco, 2022). En el mismo año, PROCOMER y FUNDES seleccionaron a los insectos comestibles como una de las cadenas de valor con potencial exportador en Costa Rica, como parte del programa interinstitucional denominado “Descubre” (FUNDES, 2019).

Una investigación realizada en el 2020, exploró las condiciones requeridas para producir polvo de grillos *A. domesticus* en Costa Rica (Bermúdez-Serrano et al., 2021). Según los resultados obtenidos, a pesar de que existen emprendedores que producen estos insectos, la producción nacional aún es incipiente y no se cuenta con una producción sostenida durante todo el año. La capacidad productiva actual oscila entre 3 y 15 kg de grillos frescos por mes, en el caso de los productores artesanales y 1,5 toneladas en la producción industrial. El estudio concluye que se deben mejorar los sistemas de producción actuales para aumentar el volumen de producción y reducir el precio, ya que el alto precio de los grillos es otra de las principales barreras para su comercialización (Bermúdez-Serrano et al., 2021).

Como parte del desarrollo del ecosistema emprendedor, en el año 2020 se realizó el primer taller de trabajo que reunió a los actores clave del sector de insectos comestibles en Costa Rica con representantes de la academia, el sector productivo e instituciones gubernamentales. Este taller tuvo la finalidad de explorar en conjunto los retos y oportunidades de la producción y exportación de polvo de grillos y sentó las bases para el inicio de la discusión a nivel país sobre el desarrollo del sector (Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 2020; O'neal Coto, 2020).

Un estudio de PROCOMER reportó a Estados Unidos como el principal mercado potencial para Costa Rica, según su demanda y crecimiento (Ulloa, 2022). Además, se analizaron los cuellos de botella y brechas de la cadena productiva de insectos. Se concluyó que en el país se requiere de: 1) claridad regulatoria, 2) procedimientos de cumplimiento de las normativas a nivel nacional, 3) disponibilidad de pie de cría para reproducción, 4) incorporación de nuevas especies que puedan comercializarse en el país, 5) desarrollo de cultura de consumo a nivel nacional, 6) capacitación técnica de los productores y 7) mejoras tecnológicas para el manejo de los insectos que puedan incrementar la trazabilidad, escalamiento y estandarización de la producción (Ulloa, 2022).

Aspectos regulatorios en Costa Rica

El establecimiento del marco regulatorio que aplica a la producción, procesamiento y consumo de insectos en Costa Rica ha sido objeto de análisis, discusión y construcción en los últimos años. El país permite producir tres especies de insectos con fines de consumo humano, las cuales son *A. domesticus*, *T. molitor* y *Zophobas morio* (PROCOMER, 2021). Estas especies autorizadas fueron incluidas en la “lista de especies exóticas ornamentales”. Según como establece el Reglamento a la Ley de Conservación de la Vida Silvestre (LCVS) N° 7317, y el decreto N° 40548-MINAE (Presidencia de la República & Ministerio de Ambiente y Energía, 2017), las especies incluidas en esta lista se excluyen de la aplicación de la LCVS y se traslada su regulación a competencia del Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA).

La inclusión de las tres especies en esta lista fue posible gracias al esfuerzo del sector privado con el apoyo de la academia y las instituciones gubernamentales vinculadas (PROCOMER, 2021). Ante este panorama, las

empresas productoras de las especies permitidas deben solicitar el permiso de certificado veterinario de operación (CVO), otorgado por SENASA para poder funcionar. Por último, deben solicitar el registro sanitario del producto ante el Ministerio de Salud.

En Costa Rica, ya existen productos alimenticios a base de insectos que cuentan con registro sanitario, tal es el caso de un polvo de grillo *A. domesticus* y de barras de proteína elaboradas con polvo de grillo (Ministerio de Salud de Costa Rica, s.f.).

Aceptación del consumidor en Costa Rica

El único estudio publicado en el país sobre la percepción de los consumidores hacia los insectos fue realizado por la Escuela de Estadística de la Universidad de Costa Rica (UCR). La Encuesta Actualidades 2019 (Escuela de Estadística [EEs], 2019), reveló que la experiencia con el consumo de insectos es baja en el país. Solo un 10,6 % de los encuestados había consumido insectos o alimentos que los contengan. Sin embargo, la disposición a convertirlos en parte de su dieta es alta (45,2 %), si se compara con otros países no entomofágicos. Por ejemplo, en Hungría y Bélgica, solo el 16 % y el 19 % de los encuestados estaba dispuesto a incluir los insectos como sustitutos de carne en su dieta (Gere et al., 2017; Verbeke, 2015).

De las personas que habían consumido insectos o que estaban dispuestas a consumirlos, la mayoría fueron hombres con educación universitaria. Este resultado concuerda con los resultados de Hartmann & Siegrist (2017), quienes identificaron una mayor aceptación por parte de los hombres en comparación con las mujeres. En general, la disposición al consumo de insectos procesados alcanzó 31,4 %, mientras que para el consumo de insectos enteros fue 16,1 % (EEs, 2019). Esto va de la mano con otros estudios donde se comprueba que las personas que no tienen la tradición de consumir insectos preferirían que estos se incorporen en forma de polvos a alimentos procesados (Megido, 2016; Ruby et al., 2015). Los encuestados que no mostraron disposición a consumir insectos indicaron como principal razón el asco o desagrado (73,6 %). Sin embargo, un 61,3 % de los participantes estuvo de acuerdo con que el consumo de insectos aumentará en Costa Rica en el futuro (EEs, 2019).

Conclusiones

La producción de alimentos con insectos ha aumentado en los últimos años a nivel mundial y se estima que crecerá de forma sostenida. Los insectos aportan un alto contenido proteico y cuentan con un perfil de aminoácidos completo. Su producción es más sostenible al compararla con la ganadería y a nivel económico representan una fuente alternativa de empleo. No obstante, la producción de alimentos con insectos se enfrenta a retos importantes, como la falta de tecnologías de producción, la baja disposición de los consumidores hacia el consumo de insectos y la falta de un marco regulatorio.

En Costa Rica, el consumo de insectos y alimentos con estos, se promociona por parte de la academia y los consumidores costarricenses están dispuestos a incorporarlos en su dieta. Además, ya se cuenta con un marco regulatorio base que permite la producción de tres especies de insectos para consumo humano, pero la producción actual es deficiente.

Es necesario desarrollar mejores técnicas de producción y procesamiento de insectos para bajar los altos precios de estos productos en el país. Para ello, se requiere promover programas de investigación básica en las diferentes áreas relacionadas al consumo de insectos, así como el apoyo de todos los actores del ecosistema emprendedor.

Referencias

- Adamo, S. A. (2016). Do insects feel pain? A question at the intersection of animal behaviour, philosophy and robotics. *Animal Behaviour*, *118*, 75–79. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2016.05.005>
- Avendaño, C., Sánchez, M., & Valenzuela, C. (2020). Insectos: son realmente una alternativa para la alimentación de animales y humanos. *Revista Chilena de Nutrición*, *47*(6), 1029–1037. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182020000601029>
- Baiano, A. (2020). Edible insects: An overview on nutritional characteristics, safety, farming, production technologies, regulatory framework, and socio-economic and ethical implications. *Trends in Food Science and Technology*, *100*, 35–50. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.040>
- Barsics, F., Caparros Megido, R., Brostaux, Y., Barsics, C., Blecker, C., Haubruge, E., & Francis, F. (2017). Could new information influence attitudes to foods supplemented with edible insects? *British Food Journal*, *119*(9), 2027–2039. <https://doi.org/10.1108/BFJ-11-2016-0541>
- Bermúdez-Serrano, I. M. (2020). Challenges and opportunities for the development of an edible insect food industry in Latin America. *Journal of Insects as Food and Feed*, *6*(5), 537–556. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0009>
- Bermúdez-Serrano, I. M., Quirós, A. M., & Dornberger, U. (2021). Production and export potential of cricket powder in Costa Rica: an exploratory study. *Journal of Insects as Food and Feed*, *8*(6), 645–657. <https://doi.org/10.3920/jiff2021.0139>
- Bisconsin-Junior, A., Rodrigues, H., Behrens, J. H., Lima, V. S., da Silva, M. A. A. P., de Oliveira, M. S. R., Janeiro, L. A., Deliza, R., Netto, F. M., & Mariutti, L. R. B. (2019). Examining the role of regional culture and geographical distances on the representation of unfamiliar foods in a continental-size country. *Food Quality and Preference*, *79*, Article 103779. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103779>
- Caparros Megido, R., Gierts, C., Blecker, C., Brostaux, Y., Haubruge, É., Alabi, T., & Francis, F. (2016). Consumer acceptance of insect-based alternative meat products in Western countries. *Food Quality and Preference*, *52*, 237–243. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.05.004>
- Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. (2020). *Memoria taller de co-creación. Explorando los retos y oportunidades para la producción y exportación de polvo de grillos en Costa Rica*. Universidad de Costa Rica. <https://bit.ly/3fLX9M6>
- Cortes Ortiz, J. A., Ruiz, A. T., Morales-Ramos, J. A., Thomas, M., Rojas, M. G., Tomberlin, J. K., Yi, L., Han, R., Giroud, L., & Jullien, R. L. (2016). Chapter 6 - Insect mass production technologies. In A. T. Dossey, J. A. Morales-Ramos, & M. G. Rojas (Eds.), *Insects as sustainable food ingredients* (pp. 153–201). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802856-8.00006-5>
- Costa-Neto, E. M. (2015). Anthro-entomophagy in Latin America: an overview of the importance of edible insects to local communities. *Journal of Insects as Food and Feed*, *1*(1), 17–23. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0015>
- de Gier, S., & Verhoeckx, K. (2018). Insect (food) allergy and allergens. *Molecular Immunology*, *100*, 82–106. <https://doi.org/10.1016/j.molimm.2018.03.015>
- Dobermann, D., Swift, J. A., & Field, L. M. (2017). Opportunities and hurdles of edible insects for food and feed. *British Nutrition Foundation Nutrition Bulletin*, *42*(4), 293–308. <https://doi.org/10.1111/mbu.12291>

- Dunkel, F. V., & Payne, C. (2016). Chapter 1 - Introduction to edible insects. In A. T. Dossey, J. A. Morales-Ramos, & M. G. Rojas (Eds.), *Insects as sustainable food ingredients* (pp. 1–27). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802856-8.00001-6>
- Eilenberg, J., Haenen, O. L. M., van der Fles-Kerl, H. J., Van Campenhout, L., van Oers, M. M., & Schoelitsz, B. (2021). Management of pathogens and other unwanted organisms in insect production. In T. Veldkamp, J., Claeys, O. L. M. Haenen, J. J. A. van Loon, & T. Spranghers (Eds.), *The basics of edible insect rearing-handbook for the production chain* (pp. 205–227). Wageningen Academic Publishers.
- Engstrom, A. (2019, February 4). *The eating insect startups: here is the list of entopreneurs around the world! Bug Burger*. <https://bit.ly/3DLdRDo>
- Escuela de Estadística. (2019). *Encuesta Actualidades 2019*. Universidad de Costa Rica. <https://bit.ly/3fNOJUj>
- Florence Inje, O., Helmina Olufunmilayo, A., Ali Audu, J., Abubakar Ndaman, S., & Evans Chidi, E. (2018). Protein quality of four indigenous edible insect species in Nigeria. *Food Science and Human Wellness*, 7(2), 175–183. <https://doi.org/10.1016/J.FSHW.2018.05.003>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). *Looking at edible insects from a food safety perspective. Challenges and opportunities for the sector*. <https://www.fao.org/3/cb4094en/cb4094en.pdf>
- French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety. (2015, February 12). *Opinion of the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety on “the use of insects as food and feed and the review of scientific knowledge on the health risks related to the consumption of insects”*. <https://www.anses.fr/en/system/files/BIORISK2014sa0153EN.pdf>
- FUNDES. (2019). *Descubre, productos potenciales y sus cadenas de valor: Cadena de Valor Insectos*. Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. <https://bit.ly/3tc2e3r>
- Garino, C., Mielke, H., Knüppel, S., Selhorst, T., Broll, H., & Braeuning, A. (2020). Quantitative allergenicity risk assessment of food products containing yellow mealworm (*Tenebrio molitor*). *Food and Chemical Toxicology*, 142, Article 111460. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111460>
- Gere, A., Székely, G., Kovács, S., Kókai, Z., & Sipos, L. (2017). Readiness to adopt insects in Hungary: A case study. *Food Quality and Preference*, 59, 81–86. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.02.005>
- Ghosh, S., Lee, S. -M., Jung, C., & Meyer-Rochow, V. B. (2017). Nutritional composition of five commercial edible insects in South Korea. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 20(2), 686–694. <https://doi.org/10.1016/J.ASPEN.2017.04.003>
- Gjerris, M., Gamborg, C., & Röcklinsberg, H. (2016). Ethical aspects of insect production for food and feed. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2(2), 101–110. <https://doi.org/10.3920/JIFF2015.0097>
- Global Markets Insights Inc. (2020). *Edible insects market*. <https://www.gminsights.com/industry-analysis/edible-insects-market>
- Halloran, A., Hanboonsong, Y., Roos, N., & Bruun, S. (2017). Life cycle assessment of cricket farming in north-eastern Thailand. *Journal of Cleaner Production*, 156, 83–94. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.017>
- Hanboonsong, Y., Jamjanya, T., & Durst, P. B. (2013). *Six-legged livestock: edible insect farming, collection and marketing in Thailand*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/docrep/017/i3246e/i3246e.pdf>
- Hartmann, C., & Siegrist, M. (2017). Insects as food: perception and acceptance. Findings from current research. *Ernährungs Umschau*, 64(3), 44–50. <https://doi.org/10.4455/eu.2017.010>

- International Platform of Insects for Food and Feed. (n.d.). *About IPIFF*. Retrieved November, 2022 from <https://ipiff.org/about-ipiff/>
- International Platform of Insects for Food and Feed. (2019). *Guidance: the provision of food information to consumers, edible insect-based products*. <https://ipiff.org/wp-content/uploads/2019/09/FIC-doc.pdf>
- International Platform of Insects for Food and Feed. (2020). *Edible insects on the European market*. <https://bit.ly/3Uyla7X>
- International Platform of Insects for Food and Feed. (2021). *Frequently asked questions. Commercialisation of edible insects in the EU*. <https://bit.ly/3G3av10>
- Janssen, R. H., Vincken, J. -P., van den Broek, L. A. M., Fogliano, V., & Lakemond, C. M. M. (2017). Nitrogen-to-protein conversion factors for three edible insects: *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, and *Hermetia illucens*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(11), 2275–2278. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00471>
- Jantzen da Silva Lucas, A., Menegon de Oliveira, L., da Rocha, M., & Prentice, C. (2020). Edible insects: An alternative of nutritional, functional and bioactive compounds. *Food Chemistry*, 311, Article 126022. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.126022>
- Jensen, K., Kristensen, T. N., Heckmann, L-H., & Sørensen, J. G. (2017). Breeding and maintaining high-quality insects. In A. van Huis, & J. K. Tomberlin (Eds.), *Insects as food and feed: From production to consumption* (pp. 175–198). Wageningen Academic Publishers.
- Köhler, 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. <https://doi.org/10.1016/J.ASPEN.2019.02.002>
- Kok, R. (2018). Insect production and facility design. In A. Van Huis, & J. K., Tomberlin (Eds.), *Insects as food and feed: from production to consumption* (pp. 142–172). Wageningen Academic Publishers.
- Kok, R., Lomaliza, K., & Schivahare, U. S. (1988). The design and performance of an insect/farm chemical reactor for human food production. *Canadian Agricultural Engineering*, 30, 307–317. https://library.csbe-segab.ca/docs/journal/30/30_2_307_ocr.pdf
- Lähteenmäki-Uutela, A., Marimuthu, S. B., & Meijer, N. (2021). Regulations on insects as food and feed: a global comparison. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(5), 849–856. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0066>
- Liceaga, A. M. (2021). Processing insects for use in the food and feed industry. *Current Opinion in Insect Science*, 48, 32–36. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.08.002>
- MacDonald, R., & Reitmeier, C. (2017). Chapter 6 - Food processing. In R. MacDonald & C. Reitmeier (Eds.), *Understanding food systems. Agriculture, food science, and nutrition in the United States* (pp. 179–225). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804445-2.00006-5>
- Megido, R. C., Gierts, C., Blecker, C., Brostaux, Y., Haubruge, E., Alabi, T., & Francis, F. (2016). Consumer acceptance of insect-based alternative meat products in Western countries. *Food Quality and Preference*, 52, 237–243. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.05.004>
- Melgar-Lalanne, G., Hernández-Álvarez, A. -J., & Salinas-Castro, A. (2019). Edible insects processing: Traditional and innovative technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4), 1166–1191. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12463>

- Ministerio de Salud de Costa Rica. (s.f.). *Regístrelo. Consulta pública*. Recuperado mayo 11, 2022 de <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/decretos-y-directrices-institucionales/24-consulta-publica>
- Morales-Ramos, J. A., Rojas, M. G., Dossey, A. T., & Berhow, M. (2020). Self-selection of food ingredients and agricultural by-products by the house cricket, *Acheta domestica* (Orthoptera: Gryllidae): A holistic approach to develop optimized diets. *PLoS One*, *15*(1), Article e0227400. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227400>
- Mott, G. (2018). Operational and biological considerations for the commercial production of crickets. In A. Van Huis, & J. K., Tomberlin (Eds.), *Insects as food and feed from production to consumption* (pp. 270–287). Wageningen Academic Publishers.
- Niyonsaba, H. H., Höhler, J., Kooistra, J., Van der Fels-Klerx, H. J., & Meuwissen, M. P. M. (2021). Profitability of insect farms. *Journal of Insects as Food and Feed*, *7*(5), 923–934. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0087>
- O’neal Coto, K. (2019, octubre 23). *Museo de insectos UCR: vivo y con buen sabor*. Universidad de Costa Rica. <https://bit.ly/3hoe5IP>
- O’neal Coto, K. (2020, febrero 5). *CITA-UCR apoya a emprendedores para producir y exportar polvo de grillo*. Universidad de Costa Rica. <https://bit.ly/citaurapoyaemprendedores>
- Ojha, S., Bekhit, A. E. -D., Grune, T., & Schlüter, O. K. (2021). Bioavailability of nutrients from edible insects. *Current Opinion in Food Science*, *41*, 240–248. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.08.003>
- Osimani, A., Milanović, V., Cardinali, F., Roncolini, A., Garofalo, C., Clementi, F., Pasquini, M., Mozzon, M., Foligni, R., Raffaelli, N., Zamporlini, F., & Aquilanti, L. (2018). Bread enriched with cricket powder (*Acheta domestica*): A technological, microbiological and nutritional evaluation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *48*, 150–163. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2018.06.007>
- Pali-Schöll, I., Binder, R., Moens, Y., Polesny, F., & Monsó, S. (2018). Edible insects – defining knowledge gaps in biological and ethical considerations of entomophagy. *Critical Reviews in Good Science and Nutrition*, *59*(17), 2760–2771. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1468731>
- Pali-Schöll, I., Meinschmidt, P., Larenas-Linnemann, D., Purschke, B., Hofstetter, G., Rodríguez-Monroy, F. A., Einhorn, L., Mothes-Luksch, N., Jensen-Jarolim, E., & Jäger, H. (2019). Edible insects: Cross-recognition of IgE from crustacean and house dust mite allergic patients, and reduction of allergenicity by food processing. *World Allergy Organization Journal*, *12*(1), Article 100006. <https://doi.org/10.1016/j.waojou.2018.10.001>
- Pali-Schöll, I., Verhoeckx, K., Mafra, I., Bavaro, S. L., Clare Mills, E. N., & Monaci, L. (2019). Allergenic and novel food proteins: State of the art and challenges in the allergenicity assessment. *Trends in Food Science and Technology*, *84*, 45–48. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.007>
- Park, B. -K., & Cho, M. -S. (2016). Taste education reduces food neophobia and increases willingness to try novel foods in school children. *Nutrition Research and Practice*, *10*(2), 221–228. <https://doi.org/10.4162/nrp.2016.10.2.221>
- Pijoan, M. (2001). El consumo de insectos, entre la necesidad y el placer gastronómico. *Offarm*, *20*(9), 150–161. <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-el-consumo-insectos-entre-necesidad-13019959>
- Pinotti, I., & Ottoboni, M. (2021). Substrate as insect feed for bio-mass production. *Journal of Insects as Food and Feed*, *7*(5), 585–596. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0110>

- Ponce-Reyes, R., & Lessard, B. D. (2021). *Edible insects. A roadmap for the strategic growth of an emerging Australian industry*. CSIRO. <https://research.csiro.au/edibleinsects/wp-content/uploads/sites/347/2021/04/CSIRO-Edible-Insect-Roadmap.pdf>
- Presidencia de la República, & Ministerio de Ambiente y Energía. (2017). *Decreto N° 40548-MINAE. Reglamento a la Ley de Conservación de la Vida Silvestre N° 7317*. Sistema Costarricense de Información Jurídica. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjEi_yKwMGCAxV6fDABHTxwBiYQFnoECBIQAAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.pgrweb.go.cr%2Fscij%2FBusqueda%2FNormativa%2FNormas%2Fnm_texto_completo.aspx%3Fparam1%3DNRTC%26nValor1%3D1%26nValor2%3D84592%26nValor3%3D109223&usg=AOvVaw2nIISJkWOVNPTX1sBdvwGs&opi=89978449
- Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica. (2021, agosto 25). *Industria de insectos con potencial de comercialización ya está habilitada en el país*. <https://bit.ly/industriadeinsectoscr>
- Quirós-Blanco, A. M. (2022). Análisis del sector de los insectos comestibles en Costa Rica. *La Alimentación Latinoamericana*, 361, 54–60. <https://publitec.com/analisis-del-sector-de-los-insectos-comestibles-en-costa-rica/>
- Ramos-Elorduy, J. (2005). Insects: a hopeful food source. In M.G Paoletti (Ed.), *Ecological implications of minilivestock: Potential of insects, rodents and snails* (pp. 263–291). Science Publishers, Inc.
- Ramos-Elorduy, J., Pino Moreno, J. M., & Cuevas Correa, S. (2009). Insectos comestibles del Estado de México y determinación de su valor nutritivo. *Anales Del Instituto de Biología Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología*, 69(1), 63–104. <https://www.revistas.unam.mx/index.php/zoo/article/view/7201>
- Ramos Rostro, A., Quintero Salazar, B., Ramos-Elorduy, J., Pino Moreno, J. M., Ángeles Campos, S. C., García Pérez, A., & Barrera García, V. D. (2012). Análisis químico y nutricional de tres insectos comestibles de interés comercial en la zona arqueológica del municipio de San Juan Teotihuacán y en Otumba, en el Estado de México. *Interciencia*, 37(12), 914–920. <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/01/914-c-PINO-7.pdf>
- Reverberi, M. (2020). Edible insects: cricket farming and processing as an emerging market. *Journal of Insects as Food and Feed*, 6(2), 211–220. <https://doi.org/10.3920/JIFF2019.0052>
- Ruby, M.B., Rozin, P., & Chan, C. (2015). Determinants of willingness to eat insects in the USA and India. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1, 215–225. <https://doi.org/10.3920/JIFF2015.0029>
- Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013a). Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 17(1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.11.005>
- Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013b). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research*, 57(5), 802–823. <https://doi.org/10.1002/MNFR.201200735>
- Schockley, M., Allen, N. R., & Gracer, D. (2018). Product development and promotion. In A. Van Huis, & J. K., Tomberlin (Eds.), *Insects as food and feed: from production to consumption* (pp. 398–419). Wageningen Academic Publishers.
- Schockley, M., Lesnik, J., Nathan Allen, R., & Fonseca Muñoz, A. (2018). Edible insects and their uses in North America; past, present and future. In A. Halloran, R. Flore, P. Vantomme, N. Roos (Eds.), *Edible insects in sustainable food systems* (pp. 55–79). Springer Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74011-9_4
- Shelomi, M. (2016). The meat of affliction: insects and the future of food as seen in expo 2015. *Trends in Food Science & Technology*, 56, 175–179. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.08.004>
- Smetana, S., Palanisamy, M., Mathys, A., & Heinz, V. (2016). Sustainability of insect use for feed and food: Life Cycle Assessment perspective. *Journal of Cleaner Production*, 137, 741–751. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.148>

- Smetana, S., Spykman, R., & Heinz, V. (2021). Environmental aspects of insect mass production. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(5), 553–571. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0116>
- Stork, N. E. (2018). How many species of insects and other terrestrial arthropods are there on earth? *Annual Reviews of Entomology*, 63, 31–45. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-043348>
- Ulloa, E. (2022). *Mercado internacional de insectos comestibles*. Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica. <https://bit.ly/insectosprocomer>
- van Huis, A. (2019). Welfare of farmed insects. *Journal of Insects as Food and Feed*, 5(3), 159–162. <https://doi.org/10.3920/JIFF2019.x004>
- van Huis, A. (2020). Insects as food and feed, a new emerging agricultural sector: a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 6(1), 27–44. <https://doi.org/10.3920/JIFF2019.0017>
- van Huis, A., Halloran, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., & Vantomme, P. (2022). How many people on our planet eat insects: 2 billion? *Journal of Insects as Food Feed*, 8(1), 1–4. <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.x010>
- van Huis, A., Rumpold, B. A., van der Fels-Klerx, H. J., & Tomberlin, J. K. (2021). Advancing edible insects as food and feed in a circular economy. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(5), 935–948. <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.x005>
- van Huis, A., & Tomberlin, J. K. (2018). The potential of insects as food and feed. In A. Van Huis, & J. K., Tomberlin (Eds.), *Insects as food and feed: from production to consumption* (pp. 25–58). Wageningen Academic Publishers.
- van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. (2013). *Edible insects. Future prospects for food and feed security* (FAO Forestry Paper 171). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/i3253e/i3253e.pdf>
- Van Itterbeeck, J., & Pelozuelo, L. (2022). How many edible insect species are there? A not so simple question. *Diversity*, 14(2), Article 143. <https://doi.org/10.3390/d14020143>
- Van Itterbeeck, J., & van Huis, A. 2012. Environmental manipulation for edible insect procurement: a historical perspective. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 8, Article 3. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-8-3>
- Verbeke, W. (2015). Profiling consumers who are ready to adopt insects as a meat substitute in a western society. *Food Quality Preference*, 39, 147–155. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.07.008>
- Verner, D., Ross, N., Halloran, A., Surabian, G., Tebaldi, E., Ashwill, M., Vellani, S., & Konishi, Y. (2021). *Insect and hydroponic farming in Africa. The new circular food economy*. World Bank Group. <http://hdl.handle.net/10986/36401>
- Wilderspin, D. E., & Halloran, A. (2018). The effects of regulation, legislation and policy on consumption of edible insects in the global south. In A. Halloran, R. Flore, P. Vantomme, & N. Roos (Eds.), *Edible insects in sustainable food systems* (pp. 443–455). Springer International Publishing.
- Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., Garnett, T., Tilman, D., DeClerck, F., Wood, A., Jonell, M., Clark, M., Gordon, L. J., Fanzo, J., Hawkes, C., Zurayk, R., Rivera, J. A., De Vries, W., Majele Sibanda, L., ... Murray, C. J. L. (2019). Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet Commissions*, 393(10170), 447–492. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)
- Ynsect Société par Actions Simplifiée. (2020, October 09). *Agtech startup Ynsect extends its Series C to \$372 million to improve global food security and sustainability with the first carbon negative and largest vertical farm in the world*. <https://www.ynsect.com/2020/10/06/agtech-startup-ynsect-extends-its-series-c-to-372-million-to-improve-global-food-security-and-sustainability-with-the-first-carbon-negative-and-largest-vertical-farm-in-the-world/>