

Importancia del uso de insectos para la alimentación humana y su relevancia en la industria y la seguridad alimentaria

S. Cortazar-Moya* y J. I. Morales-Camacho

*Programa de Doctorado en Ciencia de Alimentos
Correos electrónicos: sheila.cortazarma@udlap.mx · jocksan.morales@udlap.mx



RESUMEN

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO/ONU) ha informado que para el año 2050 la población mundial aumentará a más de 9.1 billones de personas. Este hecho implicará una mayor demanda de alimentos, lo cual convertirá la seguridad alimentaria en un desafío gigantesco. Los alimentos ricos en proteínas de alto valor biológico deben ser una prioridad debido a su importancia para el adecuado desarrollo físico y mental de las personas. En este sentido, los insectos como fuente de proteínas están siendo estudiados en todo el mundo. Las principales ventajas de promover la entomofagia como una alternativa para la alimentación humana son su creciente utilización industrial, la nula necesidad de ser alimentados con cereales, y su baja exigencia de tiempo y espacio para su crianza, lo cual hace que sea una opción eficiente y una fuente sustentable de proteína. En la actualidad, los insectos comestibles son comunes y populares en los países en desarrollo, mientras que en los países occidentales no tienen la misma aceptabilidad y su consumo sigue siendo muy bajo. Esta revisión pretende mostrar el origen histórico de la entomofagia en México y el mundo, sus beneficios nutrimentales y el papel tan importante que puede jugar dentro de la industria y la seguridad alimentaria.

Palabras clave: insectos, entomofagia, nutrición, proteína.

ABSTRACT

The Food and Agriculture Organization (FAO) has reported that by 2050 the world population will increase to more than 9.1 billion people. This fact will imply a greater demand for food, turning food security into a gigantic challenge. Foods rich in protein of high biological value should be a priority due to their importance for the proper physical and mental development of people. In this sense, insects as a source of protein are being studied all over the world. The main advantages of promoting entomophagy as an alternative for human consumption are their increasing industrial use, the fact that they don't need to be fed with cereals, and their low time and space requirements for rearing, which makes them an efficient and sustainable source of protein. Nowadays, edible insects, although common and popular in developing countries, do not have the same acceptability in western countries, where the adoption of their consumption is still very low. Thus, this review aims to show the historical origin of entomophagy in Mexico and the world, its nutritional benefits and the important role it can play within food safety and the food industry.

Keywords: insects, entomophagy, nutrition, protein.

INTRODUCCIÓN

El consumo de insectos —también conocido como entomofagia— es parte de la cultura popular en diversas partes del mundo. Los insectos y sus productos son comestibles en cualquiera de sus distintas fases de desarrollo, como huevos, larvas, ninfas, pupas o adultos y pueden ser preparados de distintas maneras: fritos, en almíbar, con chocolate, al mojo de ajo, etcétera (Wilson-Bessa *et al.*, 2020).

Los insectos son un recurso alimenticio natural para muchos grupos étnicos en Asia, África y América del Sur. En México los principales grupos étnicos que los consumen como parte de su dieta son los mixtecos, nahuas, tlapanecos, huastecos, mazahuas, otomíes, huicholes, popolocas, purépechas, tzotziles, entre otros. En estas regiones la entomofagia puede ser sostenible y conlleva beneficios económicos, nutrimentales y ecológicos (Ramos-Elorduy, 2009). En dichas zonas, que en total abarcan 130 países, hasta el momento se ha descrito un consumo de un total de 1,900 especies de insectos. A diferencia de esas poblaciones, en los países desarrollados el consumo de insectos es inusual y muy poco aceptado debido principalmente a la neofobia asociada con su aspecto (Vadivelu-Amarender, 2020).

Gracias a diversas investigaciones ahora se sabe que a futuro los insectos pueden ser una alternativa viable como fuente de proteína de alto valor biológico, la cual es necesaria para evitar desnutrición y deficiencia en el desarrollo del ser humano. Hoy en día se tiene evidencia de que las especies del orden ortóptera (saltamontes, grillos y langostas) y lepidóptera (orugas) son ricas en proteína (tienen hasta un 77 % en base seca), incluso representan una mejor fuente de este macronutriente, en comparación con la carne de res, cerdo, pollo y cordero (Van Huis, 2013).

Por las características nutrimentales antes mencionadas, los insectos pueden ser considerados una alternativa para ayudar con la crisis alimentaria que se acerca. De acuerdo con información publicada por la FAO, la capacidad para alimentar a la población mundial está en peligro, debido principalmente a la creciente demanda de alimentos sobre los recursos naturales y los efectos del cambio climático (FAO, 2013).

Los aspectos socioeconómicos, los actuales problemas ambientales y las características nutrimentales de los insectos los convierten en una opción viable para resolver la seguridad alimentaria mundial. Por ello, esta revisión explorará los orígenes de la entomofagia en México y el mundo, así como los aspectos nutrimentales y el papel que juegan los insectos en la industria y la seguridad alimentaria.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. La entomofagia

Los insectos son la especie más abundante y con mayor diversidad en el mundo. Desempeñan roles de importancia en los ecosistemas, como remoción y aireación del suelo, control de plagas, polinización, y son el alimento de muchas otras especies de la vida silvestre. Además, se sabe que han sido una fuente primaria de alimentación para los humanos desde la antigüedad, principalmente en épocas donde la caza y la recolección aún no eran posibles por la falta de herramientas, por lo que una porción de la raza humana ha sobrevivido y evolucionado comiendo insectos (Bernard y Womeni, 2017; Hazarika, *et al.*, 2020).

El consumo de insectos por parte de la humanidad se ha podido evidenciar mediante el análisis de coprolitos —heces fosilizadas de pueblos antiguos—, que contenían diversas especies, incluyendo hormigas, larvas de escarabajos, piojos, garrapatas y ácaros (Govorushko, 2019). De acuerdo con la FAO, se tiene registro de más de 1,900 especies de insectos comestibles en el mundo y la gran mayoría se encuentran en países tropicales (Van Huis *et al.*, 2013; Batat y Peter, 2020).

Bodenheimer (1951) rastreó el origen de la entomofagia y la dividió en tres etapas: la Antigüedad, la Edad Media y la entomofagia moderna. En la Antigüedad, el consumo de ciertos insectos —como los grillos— era considerado un manjar y formaban parte de banquetes reales en Roma, Oriente Medio y Grecia. Hacia la Edad Media, se les dio un uso medicinal, principalmente en China durante la dinastía Ming. Finalmente, la entomofagia moderna se refiere al redescubrimiento de esta práctica en la cul-

tura occidental a partir del siglo XIX, por parte de exploradores en regiones tropicales de África del Norte y Central, y en tribus indígenas de América del Sur (Batat y Peter, 2020).

En la época moderna, los insectos parecen ser un alimento nuevo y aún falta mucha información acerca de su inocuidad y valor nutricional, debido a que son una especie con una variedad muy amplia y diversa (Rumpold y Schlüter, 2013).

1.1. Entomofagia en el mundo

En algunas partes del mundo, como África, Asia y América Latina, los insectos desempeñan un papel importante en la nutrición de la población. Hay 524 especies consumidas en África, 349 en Asia, 679 en América, 41 en Europa y 152 en Australia (Kelemu *et al.*, 2015; Raheem *et al.*, 2019).

La especie de insectos de mayor consumo a nivel mundial es el escarabajo (coleóptera) con 31 %. Este orden posee aproximadamente el 40 % de todas las especies de insectos conocidas. En África subsahariana los insectos comestibles más populares son las orugas (lepidóptera), en América Latina las abejas, avispas y hormigas (himenópteros) seguidos por los saltamontes, langostas y grillos (ortóptera) (Van Huis *et al.*, 2013). Los lepidópteros se consumen como orugas y los himenópteros se recolectan y comen en sus estadios larvarios o pupales (Cerritos, 2009; Kelemu *et al.*, 2015).

Así como en África, los insectos forman parte de la alimentación en Asia, pero en este caso, además de su recolección en la naturaleza, se están llevando a cabo acciones de semidomesticación para su consumo, que es cada vez más común en esa región. En mayor medida, se crían saltamontes (*Locust migratoria*), dentro de los cuales encontramos a los grillos comunes (*Gryllus brimaculatus*) y grillos domésticos (*Acheta domesticus*) (Raheem *et al.*, 2018).

En China se han estudiado y desarrollado bebidas con alto contenido de proteínas y aminoácidos a partir del polvo de insectos comestibles (Feng *et al.*, 2018). En Japón son consumidos en las zonas montañosas, donde se recolectan saltamontes en los arrozales y se elaboran productos alimenticios a base de larvas de avispas, los cuales son manjares populares; también se comen pupas y hembras adultas de *Bombyx mori*, y se utiliza como me-

dicina tradicional a las larvas de mosca dobson (*Protohermes grandis*) (Nonaka, 2009; Raheem *et al.*, 2018). Otro país del continente asiático que consume insectos es Tailandia, pues se tienen registradas 194 especies de insectos comestibles. Entre ellas, escarabajos (61 especies); lepidópteros (47 especies); grillos y saltamontes (22 especies); abejas, avispas y hormigas (16 especies); cigarras, insectos y chinches (once especies); insectos chupadores (once especies); y libélulas (cuatro especies) (Raheem *et al.*, 2019). Aproximadamente más de la mitad de la población de este país habita en zonas rurales del norte y noreste, donde se consumen los insectos como fuente de proteína debido a las limitaciones socioculturales y económicas para acceder a la carne de cerdo, res, pollo, leche, etcétera (Yhoung-Aree 2010; Raheem *et al.*, 2018).

1.2. Entomofagia en México

México es uno de los países que ha conservado las costumbres precolombinas de consumo de insectos y arácnidos. Su consumo se remonta a los aztecas, quienes se alimentaban con 91 géneros de insectos (Estolano-Macedo *et al.*, 2017; Molina-Nery *et al.*, 2017). Actualmente se han reportado 525 especies comestibles en México, 83 % pertenecientes a insectos terrestres y 17 % a ecosistemas acuáticos. De este total, el 55.79 % se consume en estado inmaduro (huevos, larvas, pupas, ninfas) y el 44.21 % en estado adulto, aunque algunas especies pueden ser ingeridas en cualquier estado de desarrollo (Ramos-Elorduy, 2009; Yen, 2015).

Los estados en que se comen en mayor cantidad son Oaxaca, Guerrero, Morelos, Puebla, Hidalgo, Tlaxcala y Querétaro. En Oaxaca se consumen los saltamontes, la chinche de agua llamada *axayacatl*, las pupas de mosca de agua *poxi*, los huevos de chinche *ahuahutle* y las larvas de mosca (Figuroa-Rodríguez *et al.*, 2002; Ramos-Elorduy, Pino-Moreno y Concoci, 2006; Ramos-Elorduy *et al.*, 2007; Pino-Moreno *et al.*, 2016). Del mismo modo, los huevos de hormiga (comúnmente conocidos como escamoles) se venden en grandes cantidades en Hidalgo y Estado de México (Ramos-Elorduy *et al.*, 1997; Ramos-Elorduy y Pino-Moreno, 2001).

Los gusanos del magüey rojo (*Comadia redtembacheri*) son uno de los insectos comestibles más buscados en áreas rurales, mercados, tianguis y restaurantes de Oaxaca; incluso se utilizan

durante la destilación del mezcal que es exportado a Estados Unidos. Además, la grana cochinilla (*Dactylopius coccus*) es apreciada como una fuente de ácido carmínico, utilizado en la industria farmacéutica y alimenticia, en dulces, refrescos y productos lácteos (Ramos-Elorduy *et al.*, 1997).

En Morelos se comercializan en mercados y tianguis un total de ocho especies de insectos, ortóptera (dos especies), hemiptera-heteróptera (cuatro especies) y lepidóptera (dos especies) (Pino-Moreno y Reyes-Huerta, 2020).

Los adultos mayores prefieren los saltamontes, ya que consideran su sabor más agradable. En las comunidades rurales el costo de un kilo de saltamontes va desde 240 pesos mexicanos, si bien en localidades semiurbanas el precio por kilogramo puede alcanzar hasta 300 pesos, y en localidades urbanas el costo asciende a 417 pesos; también se pueden comercializar en envases o porciones de diversos tamaños, como pequeñas ollas de barro o en latas de atún o sardina (Hernández *et al.*, 2020; Pino-Moreno y Reyes-Huerta, 2020).

2. Contenido nutrimental de los insectos

Debido a la gran cantidad de especies de insectos que existen, el valor nutrimental de cada uno es muy diverso, incluso en aquellos que pertenecen a un mismo orden. Este valor nutrimental dependerá de factores como el origen, etapa de vida, alimentación, entre otros. Dentro de los componentes nutrimentales en insectos se pueden encontrar concentraciones elevadas de proteína, la cual ocupa el mayor porcentaje dentro de su perfil de nutrientes, aunque también tienen cantidades importantes de lípidos, vitaminas y minerales. Los que pueden tener más cantidad de proteína son los pertenecientes a la orden ortóptera (saltamontes, grillos y langostas) con hasta 77 g/100 g de materia seca; los más ricos en contenido de lípidos son las mariposas y polillas de la orden lepidóptera; y finalmente el contenido de hidratos de carbono puede alcanzar cantidades de hasta 94 g/100 g en insectos como las abejas, avispas y hormigas. Esta información permite a la industria alimentaria seleccionar los insectos correctos para diferentes fines, por ejemplo, utilizar aquellos con mayor contenido de proteína como fuente de biopéptidos con posibles beneficios sobre la salud de las personas, o a los insectos con una mayor cantidad de lípidos para

suplementos energéticos o para enriquecer productos alimenticios (tabla I) (Rumpold y Schlüter, 2015; Soares de Castro, 2018; Lamsal *et al.*, 2018).

2.1. Macromoléculas: proteínas, lípidos e hidratos de carbono

Los aminoácidos son los bloques esenciales que forman las proteínas, y estas son uno de los tres macronutrientes de vital importancia debido a que un aporte suficiente garantiza un adecuado crecimiento y desarrollo del cuerpo (Vadivelu-Amarendar *et al.*, 2020).

En los insectos comestibles entre el 30 y 77 % de materia seca corresponde a proteína. La calidad de esta proteína puede ser medida en función de su digestibilidad y de su composición de aminoácidos. Podemos encontrar del 46 al 96 % del total de aminoácidos existentes en las proteínas procedentes de insectos, aunque con cantidades limitadas de algunos aminoácidos esenciales, como triptófano y lisina. En cuanto a la digestibilidad, se estima un promedio que va de un 77 a un 98 %, lo cual es mayor incluso que otras proteínas ya conocidas de alimentos, como algunas leguminosas y carne animal (Rahemm *et al.*, 2019; Belluco *et al.*, 2017; Doberman *et al.*, 2017). De hecho, algunas investigaciones recientes reportan que el consumo de 50 g de las especies *Eulepida mashona* (escarabajo) y *Henicus whellani* (grillo) pueden aportar a las personas un 30 % de la proteína diaria recomendada, lo que sitúa a los insectos como una buena fuente de proteína para los humanos (Manditsera *et al.*, 2019).

Como se mencionó anteriormente, el contenido de aminoácidos esenciales de los insectos puede presentar algunas limitantes, pero se han descrito especies que contienen los esenciales, mayoritariamente metionina, treonina y lisina; dos de estas especies son el *Rhynchophorus phoenicis* y *Rhynchophorus bilineatus*, que habitan en Nigeria. En esta población de África se alimentan principalmente de cereales y tubérculos, conocidos por su insuficiencia en lisina, lo cual a menudo produce una deficiencia de este aminoácido. Así, es evidente que estas especies podrían ser la solución a la problemática de esta región específica pero, así como en dicha zona particular, los insectos podrían solucionar algunas deficiencias nutrimentales en otras regiones del mundo (Raheem *et al.*, 2018).

Tabla 1. Contenido nutrimental de insectos más consumidos a nivel mundial

| Insecto | Orden | Proteína (g/100 g) | Lípidos (g/100 g) | Hidratos de carbono (g/100 g) | Energía total (kcal/100 g) |
|----------------------------------|-------------|--------------------|-------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Escarabajos | Coleoptera | 3.7-54 | 3.7-52 | 12-34 | 126-574 |
| Moscas | Hemiptero | 17.5-67 | 4.2-31 | 8.38-23 | 199-460 |
| Abejas, avispas y hormigas | Hymenoptera | 1-81 | 1.3-62 | 5-94 | 234-593 |
| Mariposas y polillas | Lepidoptera | 13.2-69.6 | 7-77 | 3-41 | 126-762 |
| Saltamontes, grillos y langostas | Orthoptera | 13-77 | 2-27 | 16-30 | 117-436 |

Adaptada de Soares de Castro, *et al.* (2018).

La grasa es el segundo componente con mayor presencia en los insectos. Se pueden encontrar valores que oscilan entre 7 y 77 %, y las larvas tienen el contenido más alto (Ramos-Elorduy *et al.*, 1997). Su perfil de ácidos grasos insaturados es parecido al de algunas aves de corral y pescados blancos, pero tienen un mayor contenido de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA). En función del orden, los insectos pueden contener poca o ninguna traza del ácido eicosapentaenoico (EPA) y ácido docosahexaenoico (DHA), pero contienen ácido linoleico (C18: 2) y ácido linolénico (C18: 3), utilizados en el organismo humano para sintetizar ácido araquidónico (C20: 4) y EPA (Rumpold y Schlüter, 2013).

Un aspecto importante que influye en el contenido de grasa en los insectos es su alimentación, pues estudios han reportado que los niveles de EPA y DHA pueden aumentar en las moscas (*Hermetia illucens*) cuando son alimentadas con residuos de pescado (St-Hilaire *et al.*, 2007), aunque aún se necesitan más investigaciones que respalden esta afirmación. El estado de madurez también puede influir en el contenido total de grasa. Se ha encontrado que las larvas generalmente tienen un contenido más alto que los adultos y los insectos con cuerpo blando, como las termitas; también tienen niveles más altos de grasa que los insectos con un exoesqueleto duro, como los grillos y saltamontes (Doberman *et al.*, 2017; Schlüter *et al.*, 2017).

Finalmente, los hidratos de carbono que se encuentran en algunas especies de insectos incluyen a la quitina y el glucógeno.

El glucógeno se almacena principalmente en los músculos y el cuerpo grasoso. Por otra parte, la quitina es el componente principal del exoesqueleto y la cantidad presente dependerá de la especie y el estado de desarrollo (Schlüter *et al.*, 2017). La quitina puede ser utilizada en la industria alimentaria en forma de quitosano, el cual podría emplearse en alimentos como agente espesante, prebiótico o antimicrobiano; sin embargo, debe estudiarse a fondo si estas fracciones de quitina de insectos tienen contaminantes o alérgenos que requieran una etapa extra de eliminación para que no representen un peligro para la salud de las personas (Zhang *et al.*, 2011).

2.2. Micronutrientes: vitaminas y minerales

Los micronutrientes, vitaminas y minerales son sustancias necesarias para el crecimiento y desarrollo adecuado de las personas, se requieren en cantidades pequeñas y se encuentran involucradas en diversos procesos metabólicos que le permiten al cuerpo producir enzimas, hormonas y otros compuestos esenciales. Hoy en día, la desnutrición por micronutrientes afecta a más de 2,000 millones de personas en el mundo. En este sentido, los insectos pueden ser una opción que incluir en la alimentación, ya que también son ricos en algunos micronutrientes (Mwangi *et al.*, 2018).

El contenido de dichos micronutrientes puede variar considerablemente entre especies, y también depende del ambiente

y algunos contaminantes presentes en el entorno. Dentro de los minerales que proveen los insectos se encuentran el hierro, zinc, potasio, sodio, calcio, fósforo, manganeso y cobre. Y entre las vitaminas que se pueden encontrar dentro de su composición están las lipofílicas, riboflavina, ácido pantoténico, ácido fólico, entre otras (Rumpold y Schlüter, 2013; Doberman, Swift y Fiel, 2017).

En los insectos se han encontrado cantidades de hierro que van desde 18 hasta 1562 mg/100 g de materia seca; en las hormigas se reportaron los niveles más bajos (17.7 mg/100 g), los niveles medios en termitas (90 a 300 mg/100 g), y los que tienen mayor cantidad de hierro son los grillos (1562 mg/100 g); por su parte, el pollo y la carne de res proporcionan 1.2 y 3 mg por cada 100 g (base seca) de hierro, respectivamente. Aunque las cifras favorecen a los insectos, lo cierto es que todavía no han sido identificados ni el tipo de hierro que contienen, ni su biodisponibilidad (Christensen *et al.*, 2006; Doberman, Swift y Fiel, 2017; Tao y Li, 2018).

Otro mineral que los insectos pueden aportar en una cantidad adecuada para la dieta de las personas es el zinc. Estudios reportan que se pueden encontrar hasta 26.5 mg por cada 100 g (base seca) en insectos como *R. phoenicis*, lo que cubre la ingesta diaria recomendada (IDR), que va de 8 a 13 mg (Kathlee-Mahan y Escott-Stump, 2017; Tao y Li, 2018). También se han registrado altos contenidos de potasio y sodio en las ninfas del grillo (*Acheta domesticus*); calcio, fósforo y manganeso en grillos adultos (*Acheta domesticus*); y cobre en la polilla emperador (*Usta terpsichore*) (Nadeau *et al.*, 2015; Govorushko, 2019).

3. Seguridad alimentaria

El artículo 25 de la Declaración Universal de los Derechos Humanos establece que la alimentación es un derecho primordial de todas las personas. Con base en lo anterior, en la década de los noventa se construyó el concepto actual de seguridad alimentaria, definido como el suministro de alimentos inocuos, nutritivos y suficientes que debe estar disponible y ser de acceso ilimitado a la población (Asamblea General de la ONU, 1948).

3.1. El papel de los insectos en la seguridad alimentaria

De acuerdo con el objetivo de desarrollo sostenible de la ONU «Hambre Cero», se necesitan esfuerzos intensificados para mejorar el valor de los alimentos mediante el procesamiento

rentable de materiales comestibles, de forma que los componentes nutrimentales cumplan con las dietas diarias recomendadas y proporcionen alimentos que puedan brindar salud y beneficios (Olamide *et al.*, 2020).

La FAO (2019) propone la cría de insectos para consumo humano como una de las muchas vías para abordar la seguridad de alimentos en el mundo. Los insectos están en todas partes, ya que constituyen el 90 % de especies animales conocidas, se reproducen velozmente y poseen tasas elevadas de crecimiento y conversión de piensos, así como un reducido impacto ambiental durante su crianza. Son considerados alimentos nutritivos, pues contienen niveles elevados de proteínas, grasas y micronutrientes (Meyer-Rochow, 2019). Pueden criarse aprovechando diversos flujos de residuos, como los de alimentos. Además, es posible consumirlos enteros o molidos, en forma de polvo o pasta, e incorporarse a otros alimentos (Van Huis y Oonincx, 2017). El uso de insectos a gran escala como ingrediente en la composición de piensos es totalmente viable, y en diversas partes del mundo ya existen empresas consolidadas que están a la vanguardia en este sentido (Olamide *et al.*, 2020).

3.2. Ventajas del uso de insectos como fuente alimentaria

3.2.1. Ambiental

El impacto medioambiental de la producción de alimentos es cada vez mayor, principalmente en lo que respecta a las emisiones de dióxido de carbono (CO_2), el uso de agua y de tierra. Actualmente, la ganadería utiliza alrededor del 70 % de la tierra agrícola disponible en todo el mundo (Oonincx y De Boer, 2012). A medida que incrementa la demanda de carne, es necesario aumentar la crianza de ganado, lo que requiere más tierra. A su vez, este ganado precisa más alimento, lo que conlleva más cantidad de tierra cultivable para producir forraje, lo cual frecuentemente implica deforestación y/o un mayor uso de fertilizantes (Raheem *et al.*, 2019).

La ganadería contribuye al calentamiento global al producir aproximadamente el 14 % de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) provocadas por el hombre. También crea del 59 al 71 % de las emisiones mundiales de amoníaco agrícola, que causan la acidificación del suelo y las masas de agua, lo

cual puede dañar la vida vegetal y animal. Además, la demanda de agua para su producción es elevada, ya que para producir un kilo de carne de vacuno se requieren hasta 43,000 litros de agua (Gerber *et al.*, 2013; Pimentel *et al.*, 2004; Van Huis, 2020).

En comparación con los enfoques tradicionales de la ganadería, la crianza de insectos es más eficiente en la conversión de alimentos (ECA), produce menos emisiones de GEI, requiere pocas áreas de uso de la tierra y disminuye la contaminación del agua (Sun-Waterhouse *et al.*, 2016). Se ha estimado que la superficie de tierra necesaria para producir la misma cantidad de proteína es de aproximadamente una hectárea para los gusanos de la harina (*Tenebrio molitor*), dos a 3.5 hectáreas para los cerdos o pollos y diez hectáreas para el ganado (Oonincx y De Boer, 2012). El reemplazo de la crianza de ganado por insectos como una fuente de proteínas podría desocupar 2,700 megahectáreas de pastos y 100 megahectáreas de tierras de cultivo, lo que, a su vez, resultaría en una gran absorción de carbono por el rebrote de la vegetación (Stehfest *et al.*, 2009).

El agua es un recurso no renovable, del cual se estima que el 70 % es utilizado por las industrias de ganadería y agricultura (Doreau *et al.*, 2012). La agricultura la necesita directamente para la producción de cultivos e indirectamente para la ganadería, con el objetivo de utilizarla en la producción de forrajes para la alimentación del ganado. En este sentido, el concepto de «eficiencia de conversión alimenticia» cobra importancia, ya que mide la cantidad de alimento necesaria para producir una determinada cantidad del producto final (carne, huevos, etc.). Los insectos son significativamente más eficientes que otros animales en términos de conversión alimenticia debido a que son de sangre fría y solo dependen de su entorno para controlar los procesos metabólicos, como su temperatura corporal (Doberman, Swift y Field, 2017; Van Huis, 2013).

Miglietta (2015) encontró que para poder calcular la huella hídrica por tonelada de producción de alimentos es importante tomar en cuenta la cantidad de agua utilizada y el porcentaje comestible del animal (80-100 % para insectos y 40-50 % para ganado). Considerando lo anterior, las especies de insectos estudiados, gusanos de la harina (*T. molitor* y *Z. morio*), tienen una huella hídrica menor que el ganado, lo cual hace pensar que el reemplazo en la crianza para alimento podría tener un impacto

positivo en la reducción del uso de agua (Doberman, Swift y Field, 2017; Lundy y Parrella, 2015).

3.2.2. Económica

Los factores económicos y sociales que hacen deseable la crianza de insectos sobre la ganadería son la baja tecnología y mínima inversión de capital requeridas para su recolección y reproducción, lo cual representa una alternativa económica a los sectores más pobres de la sociedad. Además, la crianza de insectos brinda oportunidades de subsistencia tanto para la población urbana como para la rural (Govorushko, 2019).

La cría de insectos puede ser rentable, dado que requiere poco tiempo en un espacio reducido, y su alimentación puede ser a base de productos de desecho, aunque de forma controlada. Pero cabe mencionar que es necesario optimizar los métodos de procesamiento —como el secado o congelación—, para tener un equilibrio entre la rentabilidad y las propiedades funcionales (Gravel y Doyen, 2020).

La producción de un kilo de proteína animal en la ganadería requiere en promedio 6 kg de proteína vegetal como alimento. Mientras que para los insectos la cantidad es mucho menor, ya que para la producción de un kilo de peso vivo de grillo común *Acheta domesticus* solo se requieren 1.7 kg de alimento (Collavo *et al.*, 2005).

Otro beneficio económico se encuentra en el ahorro de dinero gastado anualmente en pesticidas que protegen plantas agrícolas, como los cultivos de cereales pues, como propone Cerritos (2011), una idea alternativa para controlar las plagas es la captura mecánica de la biomasa de insectos para su posterior comercialización. Esta propuesta surgió debido a que la aplicación de insecticidas y plaguicidas no ha disminuido las pérdidas anuales asociadas con las plagas de insectos. La contradicción de la situación se encuentra en que los cultivos de cereales no contienen más del 14 % de proteínas, en tanto que se destruyen recursos alimenticios (insectos) que contienen hasta un 75 % de proteína animal de mayor calidad (Cerritos, 2011; Govorushko, 2019).

Finalmente, la exportación e importación de insectos para la alimentación desempeña un papel económico importante en todo el sudeste asiático: el mercado de importación en Tailandia está valorado en 1.14 millones de dólares por año (Hanboon-

song *et al.*, 2013). Dado que el valor de mercado de los insectos a menudo supera el de otras fuentes de proteínas estándar, su cultivo puede proporcionar un ingreso estable para los agricultores establecidos. Las granjas de tamaño mediano, que producen entre 500 y 750 kg de grillos de cuatro a cinco veces al año, pueden obtener ingresos netos de 4,270-9,970 dólares en un país donde el ingreso nacional bruto anual promedio per cápita es de aproximadamente 5,640 dólares. Las estimaciones sitúan el valor de los insectos como alimento y pienso para el mercado combinado de EE. UU., Bélgica, Francia, Reino Unido, Países Bajos, China, Tailandia, Vietnam, Brasil y México en 25.1 millones de libras esterlinas, con un crecimiento previsto de 398 millones para 2023. Se prevé que este crecimiento se verá impulsado en gran medida por una mayor conciencia de los consumidores y la aceptación de los insectos como fuente de alimento (Han, 2017; Doberman, Swift y Field, 2017).

3.2.3. Nutrimental

La desnutrición es una condición aún frecuente en el mundo. La ONU ha reportado que alrededor de 825 millones de personas sufren de hambre, con una mayor incidencia en áreas rurales (ONU, 2014; KNBS, 2010). Aunque la dieta proporcione suficientes calorías, puede carecer de los principales nutrientes (WHO, 2007), pues la alimentación en zonas rurales se basa principalmente en plantas y cereales con una densidad de nutrientes relativamente baja y pocas proteínas de alto valor biológico. Además, dicha comida puede contener factores antinutrientales, como el ácido fítico, taninos y compuestos fenólicos, que limitan la absorción de micronutrientes (Towo *et al.*, 2006).

La nutrición humana es especialmente importante el primer año después del nacimiento. Alrededor de los seis meses de edad la lactancia materna se debe complementar con otros alimentos, con el fin de aportar suficiente energía, macronutrientes y micronutrientes que propicien un desarrollo óptimo; de lo contrario, una nutrición deficiente en esta etapa resultará en defectos en el desarrollo físico y neurológico, o incluso en la muerte (Martin *et al.*, 2005). En la actualidad, a nivel mundial 61.3 millones de niños menores de cinco años sufren desnutrición y 144 millones tienen retraso del crecimiento debido a las deficiencias de proteína en su alimentación; también asociado a ello, hay 45 % de muertes de niños menores de cinco años. La UNICEF (2019) ha reportado que, a nivel mundial, al menos 59 % de niños de seis a 23 meses no tiene acceso a proteínas de alto valor bio-

lógico, como las que se encuentran en huevos, leche, pescado y carne. El mayor porcentaje de estos menores con deficiencias alimentarias se encuentra en zonas en desarrollo en Asia, África y América Latina, donde la proteína proveniente de insectos puede ser de gran ayuda para combatir la desnutrición proteica infantil a través del enriquecimiento de alimentos comunes y accesibles para la población (Sempoli y Gualdi-Russo, 2007; Raheem, 2019).

4. Uso de insectos en la industria alimentaria

4.1. Procesamiento de insectos para ser utilizados como ingredientes

Después de ser recolectados en la naturaleza o criados en un entorno domesticado, los insectos deben procesarse para el consumo humano o como alimento para ganado. Esto puede hacerse de diversas maneras: enteros, procesados en forma granular o pastosa, o mediante la extracción de ciertos componentes para elaborar productos alimenticios como barras energéticas, pastas y harinas (Obopile y Seeletso, 2013).

Cuando se consumen completos, los métodos de preparación tradicionales que se aplican son al vapor, hervidos, horneados, fritos, secados al sol o ahumados (Rumpold y Schlüter, 2015; Van Huis y Oonincx, 2017). Se pueden encontrar libros de cocina para la integración de los insectos a la alimentación humana, escritos por investigadores como Ramos-Elorduy (1998), Menzel y D'Aluisio (2004) y Van Huis *et al.* (2014).

Por otra parte, prepararlos en forma granulada y pastosa es una de las estrategias utilizadas con mayor frecuencia en países donde los consumidores no están acostumbrados a comer insectos enteros. Por ejemplo, Europa ha estado produciendo alimentos tradicionales a partir de insectos homogeneizados, que incluyen empanadas, pasta y pan. La trituración o molienda son métodos habituales para el procesamiento de una gran cantidad de productos que son más aceptados por los consumidores. Los polvos y pastas resultantes también se han añadido a otros productos con bajo contenido de proteínas para aumentar su valor nutrimental (Van Huis *et al.*, 2013).

En países como Corea del Sur se han estado desarrollando con éxito nuevas tecnologías para el tratamiento de insectos. Por ejemplo, las patentes para la refinación de polvo de gusano de seda, el método de fabricación de botanas de larva cigarra y el de polvo de gusano de la harina (Han *et al.*, 2017). No obstante, algunos de estos métodos ya se utilizaban en países con

una larga historia de entomofagia, como Tailandia y Laos, donde el polvo de chinche de agua gigante (*Lethocerus indicus*) es el ingrediente principal de una pasta de chile muy popular (Hanboonsong *et al.*, 2013; Van Huis *et al.*, 2013).

La técnica de extracción de ciertos componentes para añadirlos a los alimentos es utilizada como estrategia para incrementar el consumo de insectos en sociedades donde esto es poco común; de hecho, algunas empresas ya han comenzado la integración de estos extractos en productos de consumo frecuente como botanas, harinas, pastas, entre otros. Además, algunas investigacio-

nes han demostrado que la adición de estos extractos puede aportar beneficios tecno-funcionales a los productos (Mutungi *et al.*, 2017; Kim *et al.*, 2016) (tabla II). A menudo, las personas comprenden la idea del valor nutrimental de los insectos, pero prefieren no verlos en sus alimentos. En la mayoría de los casos se extraen proteínas, pero también es posible sustraer grasas, minerales y vitaminas. Hasta ahora, los procesos para la extracción de componentes alimentarios individuales son costosos, por lo que se necesita un mayor desarrollo de métodos rentables y prácticos para su uso comercial (Mlcek *et al.*, 2014; Van Huis *et al.*, 2013).

Tabla II. Productos alimenticios elaborados a base de insectos y comercializados en el mundo

| Producto | Especie de insecto y estadio de desarrollo | Ingredientes del alimento | Marca o distribuidor |
|--------------------------------------|---|---|---|
| Mezcla para <i>brownie</i> | Grillos adultos (<i>G. sigillatus</i>) | Azúcar, cocoa, harina de arroz, harina de tapioca, grillos en polvo | Cricket flours, Oregón, EE. UU. (http://www.cricketflours.com) |
| Harina para hornear alta en proteína | Grillos adultos (<i>A. domesticus</i> ; <i>G. assimilis</i>) | Harina de mandioca, polvo de grillo, almidón de tapioca, goma xantana | Bitty Foods, San Francisco, California, EE. UU. (http://www.bittyfoods.com) |
| Barras proteicas | Grillos adultos (<i>A. domesticus</i>), larvas | Insectos (4.2 % larvas, 1 % grillos), frutas, nueces, chocolate | Gryo, Francia (http://gryo-bars.com) |
| | Grillos adultos (<i>A. domesticus</i>) | Polvo de proteína de grillo, frutas | Chapul Cricket Protein, Utah, EE. UU. (http://chapul.com/) |
| Productos de pasta | Polvo de grillos maduros (<i>A. domesticus</i> ; <i>G. assimilis</i>) | Polvo de grillo (20 %), harina de trigo (80 %) | Bugsolutely Ltd., Tailandia (http://www.bugsolutely.com) |
| | | Polvo de grillo (5 %), harina de espirulina (15 %) | Insectement Votre, Francia (http://www.insectement-votre.com) |
| Botanas de insectos enteros | Grillos adultos (<i>A. domesticus</i>), larvas de varios insectos (orugas, larvas de gusano de seda y harina) | Grillos asados (bocadillos) | Cricket Flours, Oregón, EE. UU. (http://www.cricketflours.com) |
| Insectos con coberturas | Gusano de la harina (<i>T. molitor</i>), grillos y escorpiones | Insectos asados o fritos | Hiso Smilebull, Tailandia (http://www.smilebull.co.th) |
| | | Insecto entero bañado en chocolate | Hotlix, Grover Beach, California, EE. UU. (http://www.hotlix.com) |
| <i>Chips</i> horneadas | Grillos (<i>A. domesticus</i> , <i>G. sigillatus</i>) | Insectos en polvo, harina de maíz, harina de chícharo | Chirps Chips, EE. UU. (http://chirpschips.com) |
| Untables | Gusano de la harina (<i>T. molitor</i>) | Pasta de insecto, chocolate | The Green Kow Company, Bélgica (http://www.greenkow.be) |

Adaptada de Lamsal *et al.* (2018).

4.2. Aplicaciones funcionales de la proteína de insecto en la industria alimentaria

Por el momento no hay un conocimiento amplio sobre los atributos funcionales de las proteínas y lípidos de los insectos. Tampoco hay suficiente información acerca de las propiedades fisicoquímicas de estos macronutrientes, las cuales son importantes para una adecuada producción, procesamiento y comercialización de productos elaborados a partir de insectos (Jones, 2016).

Por ejemplo, en muchos países africanos se han estudiado insectos utilizados en alimentos secos. Se ha analizado la capacidad de formación de espuma de harinas elaboradas a partir de larvas de *Oryctes owariensis* y *Cirina forda*, y se ha encontrado que tienen poca o nula formación de espuma; asimismo, se encontraron comportamientos similares en extractos de proteína de otras cinco especies de insectos. Esto puede indicar que dicha proteína es inútil como agente espumante para utilizar en la industria alimentaria (Wilson-Bessa *et al.*, 2020; Gravel y Doyen, 2020). Sin embargo, se encontró que estas mismas harinas tienen buena gelificación (al igual que las proteínas provenientes de las otras cinco especies de insectos), lo que indicaría que pueden ser un buen agente gelificante. Las harinas de insectos suelen tener alta capacidad de absorción de agua y lípidos, así como buena capacidad emulsificante, lo que sugiere que serían ideales como ingredientes texturizantes y retenedores del sabor (Osasona y Olaofe, 2010).

Es necesario seguir investigando las implicaciones industriales y las aplicaciones potenciales de sus propiedades funcionales, ya que hay muchos factores que podrían alterar la funcionalidad de las proteínas de insectos, como las condiciones de procesamiento y las interacciones con otros ingredientes (Wilson-Bessa *et al.*, 2020).

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES

La producción de alimentos actual se enfrenta a serios desafíos: la sobreexplotación de recursos naturales no renovables como el agua, la sobreproducción de gases de efecto invernadero y el hecho de que la superficie terrestre mundial es insuficiente para satisfacer la creciente demanda de proteína. Esto indica la necesidad de buscar alternativas alimenticias, pues se mitigarían estos efectos negativos en el medio ambiente y se garantizaría una producción de alimento suficiente para la población creciente. En este sentido, los insectos ofrecen muchos beneficios ambientales en comparación con el ganado convencional, mientras que la calidad nutricional es similar. Aún es complicado aceptarlos como fuente de alimento, pero ello está ganando impulso en los países occidentales, donde se emplean una serie de estrategias para convencer a los consumidores, como la incorporación de los insectos a productos con los que están familiarizados. Está surgiendo un nuevo sector agrícola y una nueva fuente de alimentación, pero aún hacen falta investigaciones y desarrollo de tecnologías para que su procesamiento e inclusión sean rentables a nivel mundial.

AGRADECIMIENTOS

La autora agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) —hoy Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI)— y a la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP) por las becas otorgadas para sus estudios de posgrado.

REFERENCIAS

- Batat, W. y Peter, P. (2020). The healthy and sustainable bugs appetite: factors affecting entomophagy acceptance and adoption in Western food cultures. *Journal of consumer marketing*, 31(3), 291-303.
- Belluco, S., Halloran, A. y Ricci, A. (2017). New protein sources and food legislation: the case of edible insects and EU law. *Food Security*, 9, 803-14.
- Bernard, T. y Womeni, H. M. (2017). Entomophagy: insects as food. *Insect Physiology and Ecology*, 233-249.
- Bodenheimer, F. S. (1951). *Insects as Human Food: A Chapter of the Ecology of Man*. Springer Dordrecht.
- Cerritos, R. (2009). Insects as food: An ecological, social and economical approach. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 4(27), 1-10.
- Cerritos, R. (2011). Grasshoppers in agrosystems: Pest or food? *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science Nutrition and Natural Resources*, 6, 1-9.
- Christensen, D. L., Orech, F. O., Mungai, M. N., Larsen, T., Friis, E. et al. (2006) Entomophagy among the Luo of Kenya: a potential mineral source? *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 57, 198-203.
- Collavo, A., Glew, R. H., Huang, Y. S., Chuang, L. T., Bosse, R. y Paoletti, M. G. (2005). House cricket small-scale farming. En M. G. Paoletti (Ed.). *Ecological implications of minilivestock: Potential of insects, rodents, frogs and snails*. Science Publishers.
- Doberman, D., Swift, J. A. y Field, L. M. (2017). Opportunities and hurdles of edible insects for food and feed. *Nutrition bulletin*, 42, 293-308.
- Doreau, M., Corson, M. S. y Wiedemann, S. G. (2012) Water use by live- stock: a global perspective for a regional issue? *Animal Frontier's*, 2, 9-16.
- Estolano-Macedo, I. M., Rosetti-Veloso, R. R., Ferreira-Medeiros, H. A., De Fátima-Padilha, M. R., Da Silva-Ferreira, G. et al. (2017). Entomophagy in different food cultures. *Revista Geama Recife*, 3(2), 58-62.
- Feng, Y., Chen, X. M., Zhao, M., He, Z., Sun, L., Wang, C. Y. y Ding, W. F. (2018). Edible insects in China: Utilization and prospects. *Insect Science*, 25(2), 184-198.
- Figueroa, K. A., Badillo, E., Anaya, S. y González, V. (2002). *Estudio de la comercialización en la ciudad de Oaxaca, Oaxaca y la comunidad de Santa María Zacatepec, Puebla, de chapulín (Sphenarium spp.) industrializado* [Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados].
- Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). (2019). *Niños, alimentos y nutrición. Resumen Ejecutivo*.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2013). *Edible Insects: Future prospects for food and feed security*.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2017). *The future of food and agriculture- Trends and challenges*.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2019). *The State of Food Security and Nutrition in the World; Safeguarding Against Economic Slowdowns and Downturns*.
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. y Tempio, G. (2013). Tackling climate change through livestock - A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Govorushko, S. (2019). Global status of insects as food and feed source: A review. *Trends in food Science y Technology*, 91, 436-445.
- Gravel, A. y Doyen, A. (2020). The use of edible insect protein in food: Challenges and issues related to their functional properties. *Innovative food science and emerging technologies*, 59.
- Han, R., Shin, J. F., Kim, J., Choi, J. S. y Kim, J. K. (2017). An overview of the South Korean edible insect food industry: challenges and future pricing/promotion strategies. *Entomological Research*, 47, 141-51.
- Hanboonsong, Y., Jamjanya, T. y Durst, P. B. (2013). Six-Legged Livestock: Edible Insect Farming, Collecting and Marketing in Thailand. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Hazarika, A., Kalita, U., Khanna, S., Kalita, T. y Choudhury, S. (2020). Diversity of edible insects in a natural world heritage site in India: entomophagy attitudes and implications for food security in the region. *PeerJ life and environmental*, 8.
- Hernández, R. J. C., Avendaño, G. B., Enríquez, T. y Jarquin, C. M. (2020). Acceso económico al insecto comestible *Sphenarium purpurascens* en la Sierra Sur de Oaxaca, México. *Revista Española de Nutrición Comunitaria*, 26(1).
- Jones, O. G. (2016). Recent advances in the functionality of non-animal-sourced proteins contributing to their use in meat analogs. *Current Opinion in Food Science*, 7, 7-13.

- Kathleen-Mahan, L. y Escott-Stump, S. (2017). *Krause Dietoterapia*. Elsevier Masson.
- Kelemu, S., Niassy, S., Torto, B., Fiaboe, K., Affognon, H., Tonnang, H., Maniania, N. K. y Ekesi, S. (2015). African edible insects for food and feed: Inventory, diversity, commonalities and contribution to food security. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(2), 103-119.
- Kim, H. W., Setyabrata, D., Lee, Y. J., Jones, O. G. y Kim, Y. H. B. (2016). Pre-treated mealworm larvae and silkworm pupae as a novel protein ingredient in emulsion sausages. *Innovative Food Science Emerging technology*, 38, 116-23.
- KNBS (2010). *Kenya Population Census, 2009. Nairobi: Ministry of State for Planning, National Development and Vision 2030*. Government Print Press.
- Lamsal, B., Wang, H., Pinsirodom, P. y Dossey, A. T. (2018). Applications of Insect-Derived Protein Ingredients in Food and Feed Industry. *Journal of the American Oil Chemists' Society*.
- Lundy, M. E. y Parrella, M. P. (2015). Crickets are not a free lunch: protein capture from scalable organic side-streams via high-density populations of *Acheta domesticus*. *PLoS ONE*, 10, 1-12.
- Manditsera, F. A., Luning, P. A., Fogliano, V. y Lakemond, C. M. (2019). The contribution of wild harvested edible insects (*Eulepida mashona* and *Henicus whellani*) to nutrition security in Zimbabwe. *Journal of Food Composition and Analysis*, 75, 17-25.
- Martin, R. M., Gunnell, D. y Davey Smith, G. (2005). Breastfeeding in infancy and blood pressure in later life: Systematic review and meta-analysis. *American Journal of Epidemiology*, 161(1), 15-26.
- Menzel, P. y D'Aluisio, F. (2004). *Man Eating Bugs: The Art and Science of Eating Insects*. Ten speed Press.
- Meyer-Rochow, V. B. (2019). Insects (and other non-crustacean arthropods) as human food. *Encyclopedia of Food Security and Sustainability*, 1, 416-421.
- Miglietta, P. P., De Leo, F., Ruberti, M. y Massari, S. (2015). Melaworms for food: A water footprint perspective. *Water*, 7, 6190-6203. doi:10.3390/w7116190
- Mlcek, J., Rop, O., Borkovcova, M. y Bednarova, M. (2014). A Comprehensive Look at the Possibilities of Edible Insects as Food in Europe - a Review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 64(3), 147-157.
- Molina-Nery, M. C., Ruiz-Montoya, L., Castro-Ramírez, A. E., González-Díaz A. A. y Caballero-Roque, A. (2017). The effect of agricultural management on the distribution and abundance of *Arsenura Armida* (Lepidoptera: Saturniidae) in Chiapas, México. *Journal of the Lepidopterist's Society*, 71(4), 236-248.
- Mutungu, C., Irungu, F. G., Nduko, J., Mutua, F., Affognon, H. y Nakimbugwe, D. (2017). Postharvest processes of edible insects in Africa: A review of processing methods, and the implications for nutrition, safety and new products development. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. doi:10.1080/10408398.2017.1365330
- Mwangi, M., Oonincx, D., Stouten, T., Veenenbos, M., Melse-Boonstra, A. et al. (2018). Insects as sources of iron and zinc in human nutrition. *Nutrition Research Reviews*, 31(2), 248-255. doi:10.1017/S0954422418000094
- Nadeau, L., Nadeau, I., Franklin, F. y Dunkel, F. (2015). The potential for entomophagy to address undernutrition. *Ecology of Food and Nutrition*, 54, 200-208. doi:10.1080/03670244.2014.930032.
- Nonaka, K. (2009). Feasting on insects. *Entomological research*, 39(5), 304-312.
- Obopile, M. y Seeletso, T. G. (2013). Eat or not eat: an analysis of the status of entomophagy in Botswana. *Food Security*, 5(6), 817-824. doi:10.1007/s12571-013-0310-8
- Olamide-Kewuyemi, Y., Kesa, H., Enyinnaya-Chinma-C y Ayodeji-Adebo, O. (2020). Fermented edible insects for promoting food security in Africa. *Insects*, 11, 283. doi:10.3390/insects11050283
- Oonincx, D. G. y de Boer, I. J. (2012). Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans: A life cycle assessment. *PLoS One*, 7(12), e51145.
- Organización de las Naciones Unidas. (1948). Declaración Universal de Derechos Humanos.
- Organización de las Naciones Unidas. (2014). Millennium development goals report.
- Osasona, A. I. y Olaofe, O. (2010). Nutritional and functional properties of *Cirina forda* larva from Ado-Ekiti, Nigeria. *African Journal of Food Science*, 4, 775-777.
- Pimentel, D., Berger, B., Filiberto, D., Newton, M., Wolfe, B. et al. (2004). Water resources: agricultural and environmental issues. *BioScience*, 54, 909-918.
- Pino-Moreno, J. M., García, A., Barreto, S. D. y Martínez, E. O. (2016). Utilization and trade of edible grasshoppers in the western region of the state of Morelos, Mexico. *Journal of Insects Food and Feed*, 2, 27-36.
- Pino-Moreno, J. M. y Reyes-Prado, H. (2020). Commerce of edible insects in the state of Morelos, México. *Journal of Insect Science*, 20(5), 1-7.
- Raheem, D., Carrasco, C., Bolanle-Oluwole, B., Nieuwland, M. y Saraiva, A. (2018). Traditional consumption of and rearing edible insects in Africa, Asia and Europe. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1549-7852.
- Raheem, D., Raposo, A., Bolanle-Oluwole, B., Nieuwland, M. y Saraiva, A. (2019). Entomophagy: nutritional, ecological, safety and legislation aspects. *Food Research International*, 126. doi:10.1016/j.foodres.2019.108672
- Ramos-Elorduy, J., Moreno, J. y Prado, E. (1997). Nutritional value of edible insects from the state of Oaxaca, Mexico. *Journal of Food Composition and Analysis*, 10, 142-57.

- Ramos-Elorduy, J. (1998). *Creepy Crawly Cuisine: The Gourmet Guide to Edible Insects*. Park Street Press.
- Ramos-Elorduy, J. y Pino-Moreno, J. M. (2001). Contenido de vitaminas de algunos insectos comestibles de México. *Revista de la sociedad química de México*, 45(2), 66-76.
- Ramos-Elorduy, J., Pino-Moreno, J. M. y Conconi, M. (2006). Ausencia de una reglamentación y normalización de la explotación y comercialización de insectos comestibles en México. *Folia Entomológica Mexicana*, 45, 291-318.
- Ramos-Elorduy, J., Pino-Moreno, J. M., Angeles, S. C. y García, A. (2007). Valor nutritivo del género *Eristalis* sp. (*Diptera-Syrphidae*) del Lago de Texcoco. *Entomológica Mexicana*, 6, 1092-1098.
- Ramos-Elorduy, J. (2009). Anthro-po-entomophagy: Cultures, evolution and sustainability. *Entomological Research*, 39, 271-288.
- Ramos Elorduy, J., Pino-Moreno, J. M. y Martínez, V. H. (2018). Algunos aspectos referentes a los insectos comestibles de México. En Morales, V. C., Rozat, G., y Mapres, C. (Eds.). *Comida Mexicana (Riqueza Biológica, contextos y evolución histórica)* (pp. 101-121). Secretaría de Cultura.
- Rumpold, B. A. y Schlüter, O. K. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition and Food Research*, 57, 802-23.
- Rumpold, B. A. y Schlüter, O. K. (2015). Insect-based protein sources and their potential for human consumption: Nutritional composition and processing. *Animal frontiers*, 5(2), 20-24.
- Schlüter, O., Rumpold, B., Holzhauser, T., Roth, A. y Vogel, R. (2017). Safety aspects of the production of foods and food ingredients from insects. *Molecular Nutrition and Food Research*, 61(6), 1-14.
- Semproli, S. y Gualdi-Russo, E. (2007). Childhood malnutrition and growth in a rural area of Western Kenya. *American Journal of Physical Anthropology: The Official Publication of the American Association of Physical Anthropologists*, 132(3), 463-469.
- Soares de Castro, R. J., Ohara, A., Goncalves Dos Santos Aguilar, J., Fontenele-Dominigues, M. A. (2018). Nutritional, functional and biological properties of insect proteins: Processes for obtaining, consumption and future challenges. *Trends in food Science y technology*, 76, 82-89.
- Stehfest, E., Bouwman, L., Van Vuuren, D. P., Den Elzen, M. G., Eickhout, B. y Kabat, P. (2009). Climate benefits of changing diet. *Climatic Change*, 95(1), 83-102.
- St-Hilaire, S., Cranfill, K. y McGuire, M. (2007). Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in Omega-3 fatty acids. *Journal of the World Aquaculture Society*, 38, 309-13.
- Sun-Waterhouse, D., Waterhouse, G. I., You, L., Zhang, J., Liu, Y. et al. (2016). Transforming insect biomass into consumer wellness foods: A review. *Food Research International*, 89, 129-151.
- Tao, J. y Li, Y. O. (2018). Edible insects as a means to address global malnutrition and food insecurity issues. *Food Quality and Safety*, 2, 17-26.
- Towo, E., Matuschek, E. y Svanberg, U. (2006). Fermentation and enzyme treatment of tannin sorghum gruels: Effects on phenolic compounds, phytate and *in vitro* accessible iron. *Food Chemistry*, 94(3), 369-376.
- Vadivelu-Amarender, R., Bhargava, K., Dosser, A. T. y Gamagedara, S. (2020). Lipid and protein extraction from edible insects-Crickets (*Gryllidae*). *Food Science and Technology*, 125, 1-4.
- Van Huis, A. (2013). Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, 58, 563-583.
- Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H. et al. (2013). Edible Insects: Future Prospects for Food and Feed Security. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Van Huis, A., van Gorp, H. y Dicke M. (2014). *The Insect Cookbook, food for a Sustainable planet*. Columbia University Press.
- Van Huis, A. y Oonincx, D. G. A. B. (2017). The environmental sustainability of insects as food and feed. *A review. Agronomy for Sustainable Development*, 37-43.
- Van Huis, A. (2020). Nutrition and health of edible insects. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 23, 228-231. doi:10.1097/MCO.0000000000000641
- WHO (World Health Organization) (2007). Protein and amino acid requirements in human nutrition.
- Wilson-Bessa, L., Pieterse, E., Sigge, G. y Hoffman, L.C. (2020). Insects as human food; from farm to fork. *Journal Science Food Agriculture*, 100, 5017-5020.
- World Health Organization (2020). Malnutrition.
- Yen, A. L. (2015). Insects as food and feed in the Asia Pacific region: Current perspectives and future directions. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(1), 33-55. doi:10.3920/JIFF2014.0017.
- Yhoun-Aree, J. (2010). Edible insects in Thailand: Nutritional values and health concerns. En P. B. Durst, D. V. Johnson, R. N. Leslie, y K. Shono (Eds.), *Forest insects as food: Humans bite back. Proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development*. Food and Agriculture Organization.
- Zhang, A. J., Qin, Q. L., Zhang, H., Wang, H. T. et al. (2011). Preparation and characterisation of food-grade chitosan from housefly larvae. *Czech Journal of Food Science*, 29, 616-623.

UDLAP[®]

Departamento de Ingeniería Química,
Alimentos y Ambiental