





Aprovechamiento de crías de abeja melífera con potencial alimentario sostenible en Yucatán, México

Utilization of honey bee broods with potential sustainable food in Yucatan, Mexico

Daniel García-López^a  daniel.garlopez@gmail.com; Yolanda Moguel-Ordóñez^b  moguel.yolanda@inifap.gob.mx;
Luis Antonio Chel-Guerrero^a  cguerrero@correo.uady.mx; David Abram Betancur-Ancona^{*a}  bancona@correo.uady.mx

^aGrupo de investigación Desarrollo Alimentario-FIQ-UADY, Facultad de Ingeniería Química. Universidad Autónoma de Yucatán. Periférico Norte Km. 33.5, Tablaje Catastral 13615, Colonia Chuburná de Hidalgo Inn, 97203. Mérida, Yuc., México

^bCampo Experimental Mocochá, Centro de Investigación Regional Sureste, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (C.E. Mocochá, CIRSE-INIFAP).

*Autor por correspondencia: bancona@correo.uady.mx

Recibido: 18/10/2024 Aceptado: 06/12/2024

Citar, APA: García-López, D., Moguel-Ordóñez, Y., Chel-Guerrero, L.A., y Betancur-Ancona, D.A. Aprovechamiento de crías de abeja melífera con potencial alimentario sostenible en Yucatán, México. (2024). *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 11 (2), 67–106. <https://doi.org/10.23850/24220582.6656>

Resumen

Para el año 2050, el mundo albergará a más de 9 mil millones de personas y, por ende, se duplicará la demanda de alimentos. En la actualidad, la producción de alimentos es poco sostenible ya que se basa en prácticas como la ganadería, la agricultura y la pesca que requieren grandes cantidades de recursos no renovables. Ante esto, existe la necesidad de investigar sobre otras fuentes que se perfilen como alimento o ingrediente y que aporten componentes nutricionales para la población creciente. El objetivo de este trabajo fue revisar diversas temáticas relacionadas con la entomofagia, particularmente con las crías de *Apis mellifera* producidas en Yucatán - México y analizar su relación con la seguridad alimentaria, la sustentabilidad, la comercialización y el aporte nutricional de éstos insectos con potencial alimentario. Se analizó la información proveniente de libros, artículos de revisión y estudios de investigación obtenidos de repositorios académicos relacionados con las crías de abeja *A. mellifera*, publicados desde el año 2002 a la fecha y de los cuales se obtuvo acceso completo en los motores de búsqueda como: Google Scholar, Scielo, ResearchGate, PubMed, Redalyc, Web of Science y ScienceDirect. Los resultados demostraron que, debido a su amplia presencia y su contenido en nutrientes, se recomienda el consumo de cría de abeja (larvas y pupas), en particular las de zánganos, ya que son potencial fuente de proteínas, grasas y minerales. La apicultura forma parte de una de las actividades pecuarias en el mundo, con más de 2 millones de colmenas en producción en México y cerca de 250,000 en la península de Yucatán, en donde la cría de abeja podría representar un producto de interés que aportaría valor agregado dentro de los productos de la colmena junto con la miel, cera, jalea real, propóleos, apitoxina, ya que es un potencial alimento desaprovechado que se podría estimar en miles de toneladas métricas (TM) anuales. La información sobre la composición química y nutricional de las crías en diferentes etapas de desarrollo de la abeja melífera es esencial para recomendar la especie como alimento.

Palabras clave: Alimento, fibra, grasa, obreras, proteína, sostenibilidad, zánganos.

Abstract

By 2050, the world will be home to more than 9 billion people, thus doubling the food demand. Currently, food production is based on practices such as livestock farming, agriculture, and fishing that require large amounts of non-renewable resources, making it unsustainable. Given this, there is a need to investigate other emerging food sources or ingredients that could provide nutritional components for the growing population. The objective of this work was to review various topics related to entomophagy, particularly to *Apis mellifera* brood produced in Yucatan Mexico, and analyze their relationship with food security, sustainability, marketing, and the nutritional contribution of insects with food potential. The information from books, review articles and research studies obtained from academic repositories related to *A. mellifera* bee brood was analyzed, published from 2002 to date and of which full access was obtained in search engines such as: Google Scholar, Scielo, ResearchGate, PubMed, Redalyc, Web of Science and ScienceDirect. The results showed that, due to their wide presence and nutrient content, the consumption of bee broods (larvae and pupae), particularly drones, is recommended since these are a potential source of protein, fat, and minerals. Beekeeping is part of the livestock activities, with more than 2 million hives in production in Mexico and about 250,000 in the Yucatan Peninsula alone. Honey bee broods could represent a product of interest that could provide added value within the hive products along with honey, wax, royal jelly, propolis, and apitoxin since it is a potential unexploited food that could be estimated at thousands of metric tons (MT) annually. Information on the chemical and nutritional composition of the brood at different stages of development of the honey bee is essential to endorse the species as food.

Keywords: Drone bees, fat, fiber, food, protein, sustainability, worker bees.

Introducción

Los insectos pertenecen a los artrópodos (subfilo Hexapoda), representan la mayor proporción de todas las especies animales vivas conocidas en la tierra, dentro de las cuales se han documentado alrededor de 2100 especies de insectos comestibles en el mundo (Barrios-Mariutti *et al.*, 2021). Algunos insectos han sido sugeridos como posibles fuentes de proteínas ya que contienen hasta 60 %, con un buen perfil de aminoácidos (AA) y una digestibilidad de proteína mayor al 75 % (Belluco *et al.*, 2013). El consumo de insectos por los humanos denominado entomofagia, no es una temática desconocida ya que según registro de los últimos diez años se sabe que más de 2 mil millones de personas practican la entomofagia en países de América Latina, Asia y África (da Silva Lucas *et al.*, 2020), por tanto, esta práctica se considera una opción alimenticia como fuente de nutrientes por consumo directo de insectos o como ingrediente para la elaboración de preparaciones alimenticias (de Carvalho *et al.*, 2019; Barrios-Mariutti *et al.*, 2021).

La identificación de alimentos alternativos para humanos, como los insectos, surge como respuesta a las presentes y futuras demandas alimentarias de la población. Culturas antiguas de África, Asia, América y Australia consumían insectos como parte de su dieta por su abundancia y valor nutricional, sin embargo, la entomofagia ganó interés en las últimas décadas, a partir del año 1996 (FAO, 1996). De acuerdo con proyecciones, para el año 2050 con el aumento de la población, se incrementará la demanda global de alimentos entre un 25 % y 40 % en comparación con el año 2022 (van Dijk *et al.*, 2021). Adicionalmente, estos mismos autores señalaron como consecuencia del cambio climático un aumento para el año 2050 del 40 % en la demanda total de alimentos y un incremento del 20 % de población en riesgo de hambre. Debido a esto, se necesitan encontrar nuevas opciones alimentarias que puedan contribuir en los requerimientos de la población en crecimiento.

Dentro de este contexto, las crías de *Apis mellifera* Linnaeus (1758) son un recurso de interés, ya que su cuidado y aprovechamiento genera diversos productos derivados de su desarrollo como por ejemplo miel, jalea real y propóleo, se realiza en la mayoría de los continentes. Además, su consumo es una práctica cultural común en países como México (Ramos-Elorduy *et al.*, 1997), Ecuador (Onore, 2010), China (Feng *et al.*, 2018) y Tailandia (Yhoung-Aree *et al.*, 2010). Investigaciones acerca de la composición nutricional de *A. mellifera* en diferentes etapas de su desarrollo, castas y razas, han evidenciado su riqueza a nivel en proteínas, hidratos de carbono, ácidos grasos y minerales, y en compuestos antioxidantes según el tipo de dieta (Haber *et al.*, 2019). Debido a estas características, el objetivo de esta revisión fue analizar el potencial aprovechamiento con las crías de *A. mellifera* como un producto derivado de la colmena, su relación con la seguridad alimentaria y su utilización como alimento en Yucatán, México, debido a su aporte nutricional.

Materiales y métodos

Para la elaboración de esta revisión, se consideraron los artículos científicos, libros o capítulos de libro que tuvieran relación directa con el potencial de insectos como fuente alimentaria, centrándose en la seguridad alimentaria, sustentabilidad y calidad nutricional de crías de abejas melíferas en diferentes castas (obreras y zánganos) y diferentes estadios (larvas y pupas) producidas en el mundo y por la actividad apícola en Yucatán, México. Los documentos de interés fueron seleccionados empleando estrategias de búsqueda de acuerdo a la metodología indicada por Ramírez-Miranda *et al.* (2021), considerando las etapas: búsqueda, selección, elegibilidad e inclusión. Se utilizaron términos clave y sus combinaciones empleando operadores booleanos (and, or, not). La búsqueda se realizó en los idiomas español e inglés con base a las palabras clave utilizando el Thesauro FSTA (Food Science and Technology Abstracts).

La búsqueda de literatura se realizó en motores de búsqueda como: Google Scholar, Scielo, ResearchGate, PubMed, Redalyc, Web of Science y ScienceDirect. Este manuscrito busca resumir la información proveniente de libros, artículos de revisión y estudios de investigación relacionados con las crías de abeja *A. mellifera*, publicados desde el año 2002 a la fecha y de los cuales se obtuvo acceso completo en los motores de búsqueda ya mencionados. Se incluyeron trabajos con otras especies de insectos como *Hermetia illucens*, *Musca domestica*, *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, *Gryllos sigillatus*, *Acheta domesticus* y *Gryllus assimili* cuya composición química indicó que podrían tener potencial alimentario. Se identificaron 247 documentos que fueron analizados y 57 estudios fueron empleados para la investigación final.

Resultados y discusión

Insectos y entomofagia

Los insectos, dentro del filo artrópoda, representan los animales invertebrados de mayor diversidad en la tierra. Se han descrito más de un millón de especies de insectos, lo que constituye aproximadamente el 7 % del estimado total de 14 millones de especies que se cree que existen en el mundo (Stork, 2018). Los insectos realizan múltiples actividades importantes para el ecosistema, diversas especies participan en la polinización, función con la que contribuyen a producir alimento vegetal e indirectamente animal, además preservan y restauran la biodiversidad de plantas locales, mejorando el rendimiento y la calidad de cultivos; y retornan nutrientes y minerales a la tierra mediante la biodegradación de materia inorgánica que fertiliza plantas (Papa *et al.*, 2022). Algunos insectos actúan como depredadores y parasitoides de insectos plaga, permitiendo el control o el equilibrio entre ellos (van Huis *et al.*, 2013).

En los últimos años ha aumentado la investigación sobre la entomofagia, es decir el consumo de insectos como alimento y fuente

de nutrientes. Sin embargo, el consumo de insectos por parte de los humanos es una práctica milenaria y aún forma parte de la dieta de más de 3 mil grupos étnicos en diferentes países de África, Asia y América Latina, aunque en términos de consumo industrial y comercial, el uso de insectos como alimento comenzó a desarrollarse a gran escala en la última década (Costa-Neto & Dunkel, 2016). Los insectos se consumen en diferentes estados de desarrollo, como huevos, larvas, pupas y adultos, y según Barrios-Mariutti *et al.* (2021) existen más de 2,000 especies que se consumen alrededor del mundo entre ellas: escarabajos, orugas, abejas, avispas, hormigas, saltamontes, langostas, grillos, cigarras, entre otros.

El valor nutricional de los insectos comestibles es muy variable, sobre todo debido a la diversidad de especies. Otro punto por considerar es su composición química, la cual varía según la etapa metamórfica del insecto, su hábitat y su dieta, siendo principales componentes de los insectos las proteínas, grasas y fibras (van Huis *et al.*, 2013). Además, en materia alimentaria también se debe considerar que son una fuente importante de macronutrientes y micronutrientes, llegando a describirse especies con un 60 % de contenido en proteína con un alto valor biológico dado por una puntuación de aminoácidos esenciales (AAE) entre 46 % a 96 % y un porcentaje de digestibilidad mayor a 70 % (Ramos-Elorduy *et al.*, 1997).

En el contexto de la producción pecuaria convencional, un aspecto crucial es la eficiencia con la que el cuerpo del animal convierte los alimentos en la producción deseada (carne); el cual se puede expresar cuantitativamente mediante la tasa de conversión alimenticia (TCA). Una TCA baja significa que el animal necesita menos alimento para ganar peso, lo cual es beneficioso tanto en términos económicos como ambientales. Por tanto, ciertas características fisiológicas de los insectos los hacen apropiados de presentar bajas TCA, por ejemplo, el que

no utilicen su metabolismo para calentarse o enfriarse, reduciendo así el uso de energía, su capacidad de producir miles de crías, rápidas tasas de crecimiento y un estado de madurez temprano alcanzado en días en lugar de meses o años (Alexander *et al.*, 2017). Un ejemplo de aprovechamiento de insectos es el grillo doméstico (*Acheta domestica*) ya que su TCA se encuentra en rangos de 1,7 a 4,5 (Oonincx *et al.*, 2015). Se ha reportado que puede llegar a tener un 80 % de rendimiento de peso comestible y una digestibilidad *in vitro* de proteína entre 57 % y 91 % (Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 2022). Más específicamente, en la abeja melífera, autores como Mitchell *et al.* (2023) indican que en épocas de invierno esta cambia la regulación de su temperatura, ya que las obreras forman un grupo termorregulador haciendo uso del metabolismo para mantener la temperatura entre 20 °C a 34 °C dentro de la colonia, provocando una reducción en las tasas de crecimiento.

Un comportamiento diferente, ha sido reportado en las TCA para animales con una alimentación basada en cereales, representados por ganado bovino (6 - 8), cerdo (3,5) y pollos de engorde (1,5 - 2,5). Sin embargo, cuando los sistemas de producción se basan en forraje, la TCA puede llegar a ser de 10 para el bovino. Además de la alimentación, las características genéticas y ambientales también pueden influir en una menor o mayor tasa de conversión alimenticia. En este sentido, Fry *et al.* (2018) indicaron rendimientos para los canales de ganado bovino fue 64 %, para cerdo fue 76 % y para pollos fue del 78 %.

Al compararse con especies animales de mayor tamaño, la crianza de insectos en grupos grandes puede realizarse en espacios reducidos. Además, cuando se siguen prácticas sanitarias adecuadas, se reducen y controlan los riesgos de enfermedades en comparación con sus entornos naturales (Dossey *et al.*, 2016). Esto sugiere a futuro para quien desee emplear una crianza extensiva de insectos, una menor inversión de costos monetarios al requerir menos aditivos y

medicamentos para garantizar la salubridad de los insectos condiciones de crianza extensiva (Tauber *et al.*, 2019), lo cual resulta favorecedor si se compara con operaciones concentradas en la alimentación animal (OCAA), definidas como operaciones industriales de producción que confinan a cientos o incluso miles de animales en un espacio reducido y donde el uso de aditivos y medicamentos es común y a costos elevados, para gestionar el estrés y enfermedades que son más comunes a nivel de criaderos (Wade & Hoelle., 2020). Además, en las OCAA el impacto no solo es sobre la salud de los animales sino también en el ambiente, ya que el confinamiento o manejo de grandes cantidades de ganado genera una acumulación considerable de desechos como el estiércol y la orina que, por un mal manejo, pueden contaminar aguas superficiales y subterráneas con nutrientes, patógenos, antibióticos y otros productos químicos utilizados en la agricultura (Dossey *et al.*, 2016). Caso contrario se da con el consumo de insectos al ofrecer una alternativa sostenible, que dependerá de factores específicos como la accesibilidad a estos y la aceptación cultural por parte de las comunidades.

Seguridad alimentaria

En 1996, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), celebró la Cumbre Mundial sobre la Alimentación en Roma, Italia, adoptando la Declaración de Roma para la Seguridad Alimentaria Mundial. Esta declaración destacaba medidas para la erradicación del hambre y desnutrición global, definiendo la seguridad alimentaria como el acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer las necesidades alimenticias y preferencias de la población humana, en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida activa y sana (FAO, 1996).

Desde aquel entonces, todo el movimiento de seguridad alimentaria se ha priorizando dado que la población mundial continúa creciendo de manera exponencial. Más recientemente van

Dijk *et al.* (2021) realizaron estimaciones sobre el crecimiento de la población para el año 2050, calculando un aumento aproximado de 9 mil millones de persona, es decir, un 30 % más en comparación con lo estimado para el año 2023, lo que por ende anticiparía un aumento en la demanda de alimentos, en especial en los países en desarrollo. En este sentido, dichos autores consideran preciso recordar que, una de cada siete personas en el mundo carece de acceso suficiente a la obtención de energía, proteína, y de micronutrientes en su dieta causando hambruna y una mala nutrición que provocan su vez un retraso en el desarrollo infantil hasta la alta vulnerabilidad a enfermedades, afectando la productividad y el desarrollo económico de los individuos en una población.

La desnutrición persiste como un desafío a superar en muchas naciones, siendo una de ellas México; reportando para el año 2022 en su población en general tasas de bajo peso (4,4 %), talla baja (13,9 %) y emaciación (1,25 %), (Tumas *et al.*, 2024). A nivel de sus estados, en la península de Yucatán la prevalencia de bajo peso y talla baja es la más alta en comparación a otras regiones del país, siendo de 9,4 % y 19,2 % respectivamente. Por su parte, el sobrepeso y obesidad asociados al consumo de productos carentes o desbalanceados en nutrientes, alcanzaron niveles entre 18,6 % y 19,6 % en niños de 5 a 11 años y en adultos la prevalencia fue del 76 % y 72,1 %, para mujeres y hombres, respectivamente (Shamah-Levy *et al.*, 2023). Esta doble carga nutricional (obesidad y desnutrición) es el resultado de una mala alimentación influenciada por diversos factores que van desde los genéticos hasta los económicos (Barquera *et al.*, 2022) incrementando así la necesidad de encontrar alternativas de alimentación saludable, nutritiva y sostenible.

Ante la creciente problemática presentada, la FAO desde el año 1996, enfatiza la importancia de explorar y adoptar soluciones alternativas para garantizar de manera sostenible y

constante el acceso a una alimentación adecuada. En este contexto, la FAO en el año 2013 hizo hincapié en la necesidad de considerar la diversificación de los alimentos disponibles como una estrategia eficaz para abordar la escasez y la inseguridad alimentaria. Estos alimentos alternativos, además de ofrecer variedad, proporcionan formulaciones innovadoras con muchos nutrientes esenciales como vitaminas, minerales, proteínas, grasas e hidratos de carbono, contribuyendo así a una alimentación más equilibrada y completa para la población (Suna & Çopur, 2018). De allí, radica la finalidad de esta investigación, documentando la importancia de los insectos sobre todo de las crías de abeja como alternativa alimentaria, gracias a sus propiedades nutricionales beneficiosas, pudiendo considerarlos como una alternativa económica y accesible para mejorar la seguridad alimentaria de manera sostenible y eficiente.

Comercialización de los insectos comestibles y marco regulatorio

El mercado mundial de insectos comestibles se calculó en 1232,60 millones de dólares para el 2023 y se estima que podría alcanzar los 7600,17 millones en el año 2033, lo que indica una tasa de crecimiento anual compuesta de 19,95 % entre estos años (Precedence Research Pvt. Ltd, 2024). Los alimentos a base de insectos todavía se consideran un nicho de mercado debido a la falta de una legislación internacional y la baja aceptación de los consumidores, especialmente en zonas como Europa y parte de América del Norte, donde la entomofagia no es muy común y enfrenta una fuerte resistencia debido a la neofobia. Sin embargo, existe un amplio conocimiento de los insectos comestibles como una alternativa alimentaria, principalmente proteica y sostenible (Guiné *et al.*, 2023), lo que ha permitido a este mercado perdurar hasta la actualidad. Paradójicamente, América Latina y Asia - Pacífico representan el 50 % del mercado consumidor de insectos comestibles. Siendo, Europa y Estados Unidos los principales

exportadores de insectos, se estima que ésta práctica tienen un valor del mercado de más del 60 %. Las principales formas de comercialización son como polvo o harinas, barras de proteínas, productos horneados, pastas, entre otras (Precedence Research Pvt. Ltd, 2024).

Esto también ha propiciado en países productores el implementar regulaciones legales para incluir a los insectos y sus partes como nuevos alimentos, ejemplo de ello fue la Unión Europea quien desarrolló con una serie de normativas desde 2015. Según el Reglamento del Parlamento Europeo 2015/2283 (2015), la categoría de nuevos alimentos integró a los insectos y sus partes a esta clasificación. Además, en el Reglamento n.º 2017/893 de 24 de mayo (2017), estableció como especies de insectos seguros para la alimentación animal a: *Hermetia illucens*, *Musca domestica*, *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, *Grylodes sigillatus*, *Acheta domesticus* y *Gryllus assimilis*, ya que no transmiten patógenos; ni son invasivas; y tampoco causan enfermedades en humanos o animales; no afectan negativamente a los cultivos y no están protegidas, es decir no están en peligro de extinción, ni presentan una disminución significativa en su población. De igual forma, la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) aprobó el uso de las larvas de gusano de harina (*Tenebrio molitor*) por ser aptas para el consumo humano (Turck *et al.*, 2021).

En Tailandia, se ha promovido fuertemente el consumo de insectos comestibles a través de la promoción gubernamental, que ha implementado una estrategia nacional para la comercialización de insectos como una alternativa sostenible para satisfacer la demanda de alimentos saludables y nutritivos (Krongdang *et al.*, 2023). Como consecuencia, se ha incentivado la investigación frente al consumo de insectos y el aumento de productos innovadores en esta región, haciendo que sea una actividad

económicamente significativa en este país. El cultivo de insectos en Tailandia se divide en tres tipos: recolección silvestre, semidomesticación y agricultura. Dentro de este nicho también hay una clasificación descrita como “insectos económicos”, en la cual se incluyen *A. mellifera*, *Apis cerana*, *Kerria lacca* y grillos. A través de esta categoría, los agricultores registrados reciben capacitación para mejorar, diversificar, promover y comercializar sus productos con precisión (Krongdang *et al.*, 2023). En julio de 2020, el Ministerio de Seguridad de Alimentos y Medicamentos y la Administración de Desarrollo Rural de Corea reconocieron las pupas de zánganos de *A. mellifera* como comestibles categorizándola como un nuevo ingrediente alimentario (Choi, 2021).

Puntualmente para México, se han determinado 5,794 especies de insectos del Orden Hymenoptera, uno de los grupos más biodiversos en el mundo, con más de 115,000 especies descritas, destacando la presencia de abejas, avispas, hormigas y otros miembros de este grupo (Delfín-González & Chay-Hernández, 2010). Estos mismos autores señalaron para la península de Yucatán, un conteo de aproximadamente de 558 especies que son sumamente relevantes por los variados roles ecológicos que tiene en el ecosistema como: polinizadores, depredadores, parasitoides, entre otros. Desde el punto de vista alimentario, no existe evidencia de una comercialización masiva de éstos insectos, sin embargo, su consumo está arraigado en forma ancestral, particularmente en las zonas rurales.

Pinkus-Rendón (2013), indicó que de todas las especies de insectos conocidas en la región, solamente son consumidas como alimentos las larvas de dos tipos de avispas: el Xuux (*Polybia occidentalis*) y el Ek (*Brachygastra mellifica*). Sin embargo, no todos los informantes que mencionaron al Xuux y Ek como especies de avispa comestibles, conocían la época o la manera de bajar los panales de los árboles.

Adicionalmente, reportes de Ramos-Elorduy *et al.* (2006) para Yucatán, señalaron a estas dos especies como antropofagias (práctica cultural ancestral consistente en el consumo consciente de insectos), mencionando otras especies de himenópteros como *Atta cephalotes*, *Synoceras sp.*, *Polybia sp.*, *Polistes sp.*, *Vesipulas sp.*, *Trigona sp.*, entre otras y de las cuales no se encontró información acerca de su degustación.

En 2022, la Comisión del *Codex Alimentarius* trabajó sobre nuevas fuentes alimentarias y sistemas de producción, clasificando a los insectos comestibles como “nuevos alimentos”. Entre sus declaraciones se recomienda continuar con los análisis sobre su aporte nutricional, identificar fuentes potenciales (especies y estadios de desarrollo) y asegurar su seguridad alimentaria, así como la de los productos en los que se incorporan (CODEX, 2022). Esto permitirá desarrollar nuevas normativas respecto a su manejo y posibles usos en el contexto alimentario. En México no existen normas, ni regulaciones para la producción, comercialización y consumo de insectos, por lo que las directrices en todas las regiones del país se guían de normativas internacionales como el *Codex Alimentarius*. Esto representa una oportunidad a futuro para generar y establecer lineamientos y regular estas fuentes alternativas de alimentación.

Abeja melífera

En consecuencia, como modelo de interés alimentario para esta revisión se consideró ampliar el panorama para una alimentación alternativa empleando las crías de *Apis melífera*, ya que su cuidado y aprovechamiento a través de la apicultura se realiza de manera sostenible en muchos países entre ellos México, donde el consumo de insectos, es una práctica cultural común. En este sentido, Yucatán destaca en la producción apícola con una estimación para el año 2023 entre 258,427 y 278,185 colmenas activas de abejas melíferas (SIAP, 2023).

Taxonómicamente *A. mellifera* pertenece al orden Hymenoptera y por su característico aguijón se clasifican dentro del grupo Aculeata. Estos organismos eusociales altamente desarrollados forman un superorganismo y construyen nidos con un número promedio de abejas en una colmena saludable oscila entre 5,000 y 65,000 (dependiendo de las condiciones) entre los que se encuentran miles de obreras, cientos de zánganos y una sola reina. Cada casta femenina desempeña funciones específicas dentro de la colmena, lo que contribuye al funcionamiento y éxito de la colonia (Baer *et al.*, 2016). En su ciclo de vida exhiben una metamorfosis holometábola, pasando por cuatro etapas distintas: huevo, larva, pupa y adulta. Por su parte, los zánganos nacen de un huevo no fecundado (haploides), cumplen funciones reproductivas al proveer de semen a la reina a través del vuelo de fecundación e igual, influyen en el control de la temperatura de la colmena (**Figura 1**). La reina es la única hembra fértil, fecundada hasta por 15 zánganos logrando así poner hasta 250,000 huevos al año. El semen obtenido de los zánganos se almacena en una estructura anatómica interna denominada espermateca. Este órgano reproductivo especializado permite el control de la fertilización de huevos sin la necesidad de copular nuevamente (Döke *et al.*, 2015).

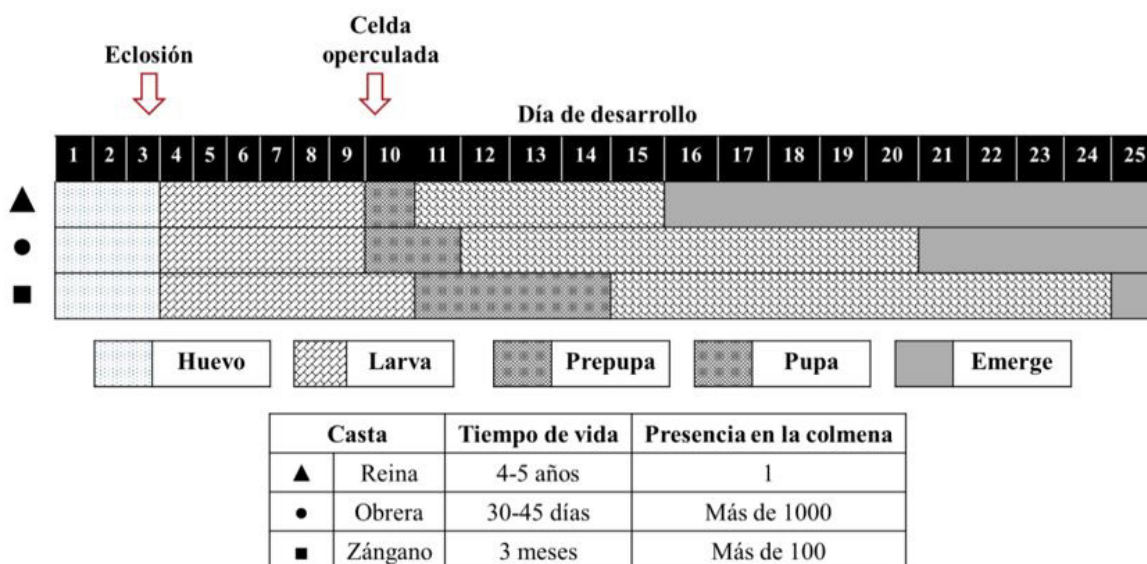
Las obreras nacen de huevos fecundados, son estériles y tienen roles especializados dentro de la colmena. Tienen un comportamiento social conocido como politeísmo etológico que se refiere a la división de trabajos según su edad y estado fisiológico. Desde que emergen, las obreras cumplen funciones como limpieza y generación de calor en la colmena. El aumento en el consumo de pan de abeja (un fermentado que se obtiene de la mezcla de miel, polen y enzimas de la saliva de las abejas), permite el desarrollo de glándulas hipofaríngeas esenciales para la producción de jalea real, la cual se destina a

alimentar a las larvas y a la reina (Nates-Parra, 2011). Las obreras jóvenes, conocidas como nodrizas, son las responsables de la alimentación de la cría y de la producción de jalea real (Baer *et al.*, 2016). Luego las glándulas cereras de su abdomen se desarrollan y asumen funciones adicionales, relegadas a: procesar alimento, actuar como guardianas utilizando su aguijón

y realizar el pecoreo, para recolectar néctar, polen, propóleos y agua (FAO *et al.*, 2021). Por tales motivos a nivel biológico y considerando el ciclo de esta especie, sólo se considera para interés de consumo y de mercadeo alimenticio particularmente las crías de zánganos en dos estadios: larvas y pupas.

Figura 1

Ciclo de vida de reinas, obreras y zánganos de A. mellifera y su presencia en la colmena



Apicultura en México

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (NOM-002-SAG/GAN, 2016), en lo referente a las actividades técnicas y operativas aplicables al Programa Nacional para el Control de la Abeja Africana, la apicultura se describe como una rama de la zootecnia que trata de la cría y explotación racional de las abejas melíferas. Cada colmena requiere un manejo específico para estimular a las abejas a realizar actividades deseadas por el apicultor, siendo la miel el producto más popular obtenido de la apicultura; sin embargo, la colmena también proporciona otros productos de interés como: la cera, propóleos, jalea real e inclusive la apitoxina,

así como las mismas reinas y núcleos de abejas que también tienen aplicaciones en la industria farmacológica (Papa *et al.*, 2022).

En México, la apicultura es una actividad económicamente productiva, generadora de divisas y con un alto potencial de crecimiento, encontrándose en los estados del sur del país los mayores productores y generadores de miel a gran escala (Ocampo-Thomason *et al.*, 2016). A nivel mundial, México se sitúa como el octavo productor de miel y ocupa el puesto 13° como mayor exportador y tiene cerca de 34 mil apicultores y aproximadamente dos millones de colmenas. En el 2023, se obtuvo una producción

nacional de 66,000 toneladas métricas (TM) de miel con un valor aproximado a los 125 millones de dólares siendo el estado de Yucatán, quien ocupó el primer lugar en producción de miel y representó el 13,9 % del total nacional de ese mismo año (SIAP, 2023).

Sin duda, la miel sigue siendo el producto más exitoso derivado de las abejas, con un amplio valor comercial. En el 2007, el número de colmenas activas en Yucatán era de 255 966. En ese año, la producción de miel en el estado fue de 8,483 TM (SIAP, 2024), arrojando un estimado de miel por colmena de 33,15 kg. Este cálculo coincide con lo reportado por Magaña-Magaña *et al.* (2016), quienes indicaron una productividad de miel por colmena en Yucatán fue de 35,6 kg de miel por colmena. En 2023, se produjeron 9220 TM de miel (SIAP, 2023), dicho esto y usando los datos de producción anteriores, se estima en este estudio que en el estado hubieron entre 258,427 y 278,185 colmenas activas en este año.

Aún con la alta productividad mencionada para las abejas mexicanas, es importante indicar que el país no estuvo exento del proceso de africanización de sus abejas. La llegada de las abejas africanas (*A. mellifera scutellata*) inicio en Brasil para el año 1956, y posteriormente trascendió a México en 1986, lo cual provocó una hibridación entre especies europeas como *Apis mellifera mellifera* (alemana), *Apis mellifera ligustica* (italiana), entre otras y a este híbrido se le denomina abeja africanizada (Arechavaleta-Velasco *et al.*, 2021).

En México todas las abejas están africanizadas y su porcentaje de hibridación varía de acuerdo con su manejo genético (Arechavaleta-Velasco *et al.*, 2021). Esto trajo consigo cambios en la apicultura tradicional, implementándose medidas como la movilización de apiarios a distancias mayores de 300 m entre poblaciones de abejas, cambio anual de reinas, el uso de equipo de protección e indumentaria como: overoles gruesos,

botas, guantes, velos de armazón cuadrada y ahumadores (Guzmán-Novoa *et al.*, 2011).

En México, entre las enfermedades más comunes y con mayor riesgo epidemiológico para la apicultura se encuentran: la Varroasis producida por el agente etiológico *Varroa destructor*, Loque Europea enfermedad bacteriana causada por *Melissococcus plutonius* y Vairimorphosis asociada a *Vairimorpha apis* y *Vairimorpha ceranae* (Martínez-Puc *et al.*, 2011). Por tanto, el control mediante buenas prácticas pecuarias resulta importante, ya que un uso inadecuado de plaguicidas representa un riesgo para la especie, y sus productos derivados pudiendo contaminarse la miel, el polen y la cera, provocando su rechazo tanto para consumo local como para productos de exportación. En este caso, el médico veterinario es el único autorizado como profesional capacitado para diagnosticar y prescribir los tratamientos de la colmena, siendo a su vez regulados y autorizador por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), dicha institución también designa el uso de tratamientos específicos en especial contra la varroasis (SADER, 2019).

Producción de cría de abeja y oportunidades de aprovechamiento

El crecimiento de una colonia de abejas depende de factores climáticos, la disponibilidad de alimento y agua, la edad de la reina y el tamaño de la colonia que impactan a la sostenibilidad de la producción apícola. Una reina joven y saludable tiene una mayor producción de huevos, por ende, su capacidad de producción se reduce a medida que aumenta su edad, dicho esto una colonia pequeña entre 2,300 a 9,000 abejas producen más crías de abeja que colonias más pobladas (Harbo, 2015).

En climas templados las colonias de abeja melífera tienen ciclos de vida característico. A finales de invierno comienza la crianza de crías, alcanzando su punto máximo en primavera,

permitiendo el desarrollo de enjambres. Inicia la reconstrucción de sus poblaciones de obreras y el pecoreo para aumentar sus reservas durante el verano y a finales de verano reducen el número de crías, cesando en otoño. En invierno, las abejas obreras forman un grupo termorregulador manteniendo la temperatura dentro de la colonia (Döke *et al.*, 2015). Por su parte, la población de zánganos se reduce a cero en invierno. Sin embargo, ante la escasez de alimento o el cambio de necesidades de la colmena, la puesta de huevos puede ajustarse para reducir la presencia de zánganos en la colmena. Ante la escasez, los zánganos que ya han eclosionado del huevo suelen ser expulsados de la colmena para conservar recursos (Boes, 2009).

Entre los factores que influyen en la producción de crías están: la raza de la abeja, tamaño de colonia, cantidad de miel, cantidad de polen y la cantidad de panales de crías presentes en la colmena (Boes, 2009). La producción de crías de abeja comienza cuando aumenta el suministro de polen, generalmente en primavera. El tamaño de las crías de abejas melíferas es muy variable y las crías de zángano (CZ) se producen en cantidades de 3,000 a 1,0000 por colonia durante un periodo de 6 meses.

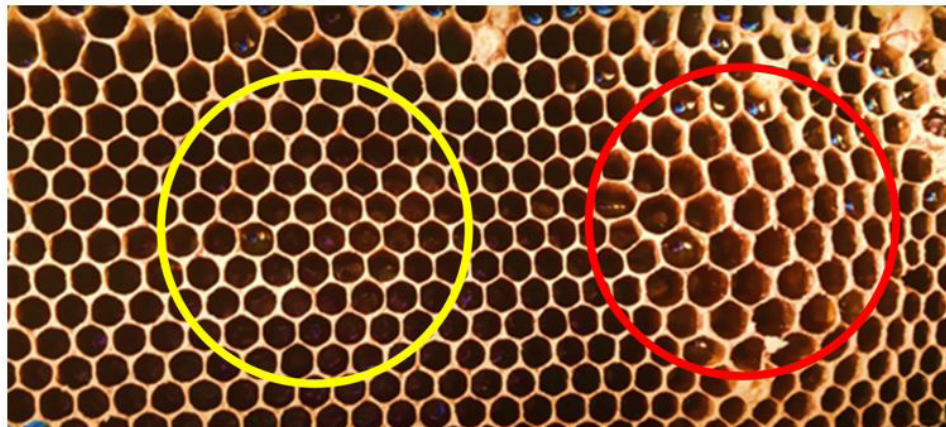
Mientras que las crías de obrera se producen en promedio entre 1,000 a 1,500 por colonia siendo constante durante todo el año (Medina *et al.*, 2002).

Por otra parte, la colocación de marcos de cera para zánganos, durante su temporada de producción, sirve como estímulo de la abeja reina favoreciendo la puesta de huevos de zánganos (Boes, 2009) y para lograr esto han de considerarse tres puntos clave:

En primer lugar, el tamaño de la cría ya que anatómicamente y debido a las funciones reproductivas, exhibe órganos para el apareamiento, grandes ojos con un alto número de omátidas y largas antenas para su orientación visual y olfativa hacia la reina (Mondet *et al.*, 2018). Por su parte, las obreras cumplen con varias funciones dentro y fuera de la colmena acorde a su edad o las necesidades de la colmena. Su anatomía es más pequeña, en comparación a un zángano, permitiéndoles ser más aerodinámicas y soportar vuelos a largas distancia para la búsqueda de recursos como el polen, agua y cera. Morfológicamente un zángano es más grande que una obrera, esto se refleja en la cría y visualmente en la celda (Figura 2).

Figura 2

Comparación del tamaño de celdas de crías de A. mellifera



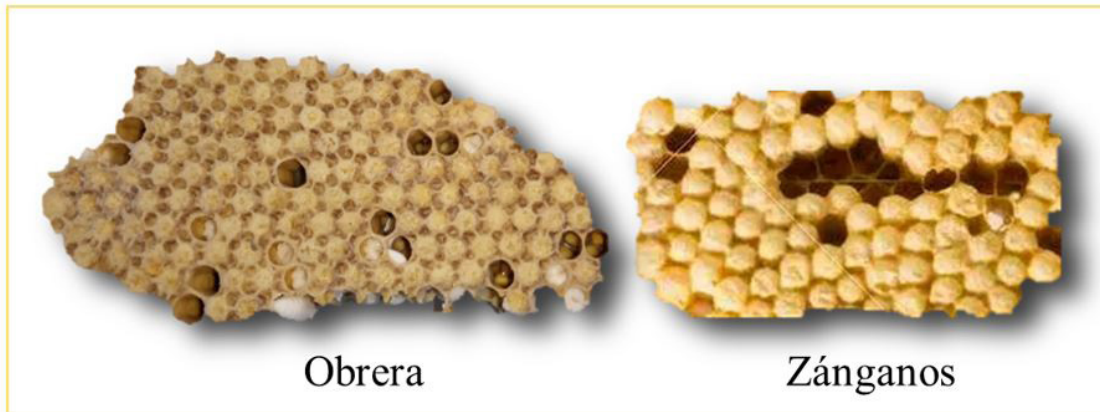
Nota. (Celdas para obreras: círculo amarillo y celdas para zángano: círculo rojo).

En segundo lugar, la forma del operculado la cual está basada en las etapas de desarrollo de las crías (**Figura 3**), el opérculo de la obrera tiene una forma plana comparativamente con el

del zángano que presenta una forma convexa y sobresale un poco más que la obrera (Mondet *et al.*, 2018).

Figura 3

Comparación de la forma del operculado de A) la cría de obrera y B) de zángano en A. mellifera



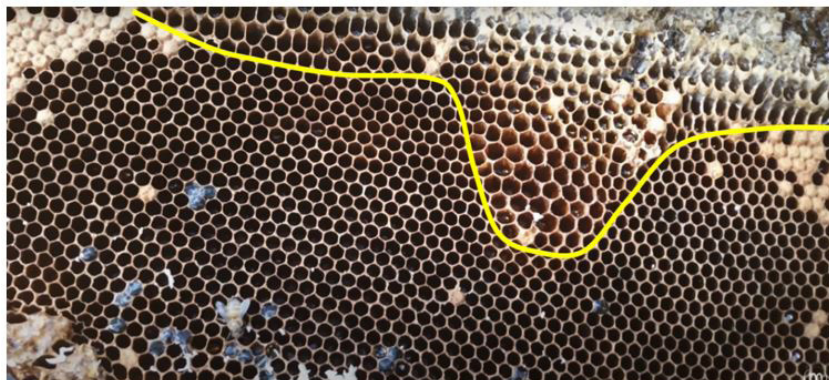
En tercer lugar, está la ubicación de las crías, siendo las obreras usualmente visibles en el centro del marco y los zánganos en las periferias (**Figura 4**).

En condiciones extremas de escasez de alimento, la colonia puede practicar canibalismo tanto de crías de zánganos como de obreras. Por lo cual, el consumo de crías por las abejas

se destina para proporcionar proteínas para alimentar principalmente a la reina y en última instancia a las larvas (Boes, 2009). En este sentido, el apicultor podría usar esencialmente la cría de zánganos para consumo humano, debido a la relevancia de las obreras para proporcionar nutrientes a la abeja reina y las larvas y así mantener el equilibrio en la colmena sin perjudicar a la especie.

Figura 4

Delimitación (amarillo) de crías de obrera (central) y zángano (periferia) en un panal



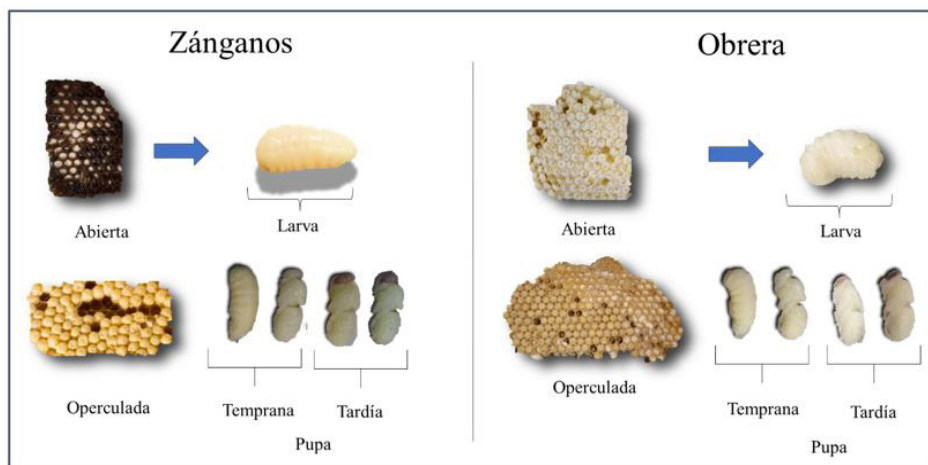
La raza de la abeja también es un factor importante en la producción de crías, las poblaciones de abejas africanizadas crecen con mayor rapidez, ya que las reinas de esta raza pueden llegar a poner 3,000 huevos por día en comparación con colonias europeas (Schneider *et al.*, 2004). Las colonias africanas tienen un mayor énfasis en la recolección de polen, una conversión más rápida del polen en cría y emplean de dos a cuatro veces más área del panal a la cría. En periodos de desarrollo, el panal puede estar totalmente cubierto de cría; además de aumentar el número de reinas y mayor capacidad de crear enjambres. Tienden a crear nidos y el polen y néctar que recolectan

se destina preferentemente a la producción de más abejas en lugar de almacenarlos (Guzmán-Novoa *et al.*, 2011).

Respecto al peso de las crías de abeja melífera, este ha sido descrito en diferentes estadios de su desarrollo (Figura 5), dicho esto en los últimos días del estadio larvario la abeja obrera puede pesar entre 88 mg hasta los 220 mg. Para la etapa de prepupa el peso se puede reducir entre los 115 mg a 184 mg y las pupas pueden tener pesos entre 88 mg a los 178 mg (Zoltowska & Frączek, 2011). El peso de la cría de zángano en estado larval puede ser de hasta 300 mg y las pupas pueden pesar hasta 340 mg (Hrassnigg & Crailsheim, 2005).

Figura 5

Características morfológicas de la cría de obrera y de zángano en A. mellifera L



Tomando como ejemplo la eliminación de la CZ por temporada para el control de varroa y siguiendo las recomendaciones de eliminar un panal por mes con CZ por colonia durante un periodo de 4 meses (Charrière *et al.*, 2015), los autores de esta revisión plantean el siguiente supuesto: considerando que un marco de cría de zángano contiene aproximadamente 3000 celdas de las cuales 1000 contienen larvas, se podrían cosechar 4,000 larvas y se obtendría 1,2 kg CZ por colmena considerando el peso máximo de 340 mg para cada pupa. Si en

México, el 25 % (556,512) de los apicultores (SIAP, 2024) eliminaran a la CZ con las cifras descritas, se podría obtener 667,8 TM de cría de zángano. Estas proyecciones no se comparan con la producción de carne bovina que se estima en 170,000 TM por mes o las 280,000 TM de carne en canal de ave (SIAP, 2024), pero si pueden generar un estimado de la contribución de la especie a nivel de carne como ingrediente que contribuiría en el suministro de proteínas para satisfacer las necesidades de la creciente población mundial (Schiel *et al.*, 2022).

Algunos apicultores han encontrado utilidades económicas en la cría de zánganos eliminados durante el proceso de control de *Varroa*. Estas crías suelen ser congeladas para erradicar los ácaros presentes en ellas y, posteriormente, se ofrecen a otros animales como las gallinas para su alimentación. En otros casos, las larvas son simplemente quemadas al no encontrárseles un uso en particular (Guiné *et al.*, 2023).

Otros estudios han analizado el desempeño económico de las granjas apícolas al emplear la eliminación total de crías como una técnica biológica para el control de *varroa* (Mancuso *et al.*, 2020). El control biológico redujo los costos de tratamiento, pero aumentó los de alimentación. Este manejo benefició a apicultores italianos al aumentar sus ingresos totales entre un 11 % a un 28 %; sin embargo, la desventaja de este tratamiento fue el aumento de tiempo y mano de obra. Otra desventaja de eliminar CZ está relacionada con la reducción en la producción de miel en comparación con las colmenas manejadas por otros métodos, hecho que puede compensarse con el establecimiento de nuevos núcleos y que puede aumentar los gastos en nutrición suplementaria distribuido a las colonias tratadas y tratamientos con ácido oxálico (Mancuso *et al.*, 2020). Solo un control biológico adecuado permitirá al agricultor obtener certificaciones de productos orgánicos puede resultar beneficioso, ya que los precios de los productos apícolas obtenidos mediante la eliminación de la CZ pueden aumentar hasta en un 30 %, gracias a la ausencia de residuos de acaricidas sintéticos como organofosforados, piretroides, formamidina y flumetrina, entre otros (Loucif-Ayad *et al.*, 2010).

Explorando los productos de la colmena que aportan valor agregado, nuevamente en esta revisión hemos simulado el impacto potencial de la eliminación de la CZ. Dicho esto, si se destinara como producto de la colmena podría ser comercializada como un sustituto de carne

(35 % de sustitución por cría de zángano) e incluirla en refrigerios de proteínas texturizadas (30 % de sustitución por cría de zángano). Esta estrategia, además de ofrecer un producto adicional, también podría mitigar los impactos en la producción de miel, disminuyendo hasta en un 8 % su pérdida (Ulmer *et al.*, 2020).

El uso potencial que puedan tener las crías de abejas como alimento debe respetar la función esencial de las abejas como polinizadoras de flores y sus beneficios ecológicos, por lo que autores como Schiel *et al.* (2022), recomiendan utilizar solo las crías de zánganos para este propósito. Sin embargo, existen otros referentes como Ghosh *et al.* (2016), han propuesto a las obreras como fuente de alimentos, piensos o suplementos nutricionales particularmente por su composición nutricional considerando que la incorporación de crías de abejas como producto comercializable, si se valoran adecuadamente, podrían proporcionar un recurso sostenible con beneficios económicos que permitan para aumentar los ingresos de los apicultores ya sea vendiéndolas enteras, molidas en polvo o como otro producto que pueda agregar un rendimiento extra durante los periodos de baja producción de miel.

Aunque tanto las crías de obreras como las de zánganos se consideran de alto potencial nutricional, es necesario continuar desarrollando investigaciones que evalúen el aprovechamiento de la carne de crías de abejas y sus productos derivados, especialmente considerando su contenido proteínico. Este tipo de investigación ayudaría a identificar cuál cría ofrece mayores beneficios nutricionales, así delimitar u orientar adecuadamente futuras investigaciones. Con base en el análisis de la información existente, la principal recomendación es enfocarse en la cría del zángano, debido a la valiosa importancia que tienen tanto para la cría de reinas como obreras a nivel de colonia, así como para los servicios ecosistémicos y para el apicultor.

Esto considerando la relevancia actual de la abeja melífera y las amenazas que la rodean a nivel mundial incluyendo México, ya que los resultados reportados por Medina-Flores *et al.* (2023) muestran una tasa promedio de pérdida de colonias del 22 %, pero estas variaron de 14,9 % a 30 % entre los años 2016 a 2022. La práctica de migración y el tamaño de la operación apícola no influyeron en las pérdidas; sin embargo, el control de *Varroa* redujo las pérdidas de colonias, siendo las principales causas problemas relacionados con la reina, colonias muertas o colmenas vacías.

Consumo potencial de la cría de abeja: características químicas y nutricionales

La cría de abeja melífera se consume como alimento en algunas regiones de México (Ramos-Elorduy *et al.*, 1997), Ecuador (Onore, 2010), China (Feng *et al.*, 2018) y Tailandia (Yhoun-Aree *et al.*, 2010). En cuanto a las características organolépticas, las pupas suelen tener un sabor más salado y umami (ó "sabor salado" en japonés). En cambio, las larvas suelen ser dulces y afrutadas, con una piel más frágil, lo que les confiere una textura mayormente suave y homogénea. Esta suavidad genera ventajas a nivel gastronómico, ya que si se conserva bien esta piel, puede añadir un toque distintivo en preparaciones culinarias, cuyo sabor y textura estará influenciado por el estadio de la cría utilizado, ya sea larva o pupa (Evans *et al.*, 2016).

Uno de los principales intereses del estudio de los insectos con fines alimentarios y nutricionales es que pueden ser una fuente rica en proteínas y esto también incluye a las crías de *A. mellifera* en sus diferentes estadios (Haber *et al.*, 2019). Este insecto puede tener diferente composición química y nutricional, que puede estar influenciada por su ubicación geográfica, clima, subespecie, casta y estadio morfológico (Evans *et al.*, 2016). Por ejemplo, las crías de obreras de la subespecie *A. mellifera* ssp. *ligustica* cosechadas en las praderas canadienses, en dos estadios de desarrollo (larvas y pupas) presentan

un contenido variable de proteína de 35,3 y 45,9 g/100 g de materia seca (MS) (Ghosh *et al.*, 2016). Por otro lado, las pupas de zángano, recolectadas en Corea de Sur mostraron un contenido de proteína por el orden de los 48,52 g/100 g de MS (Kim *et al.*, 2020).

En un estudio previo, Haber *et al.* (2019) observaron que el contenido de grasa en la pupa de *A. mellifera* varía según su estadio de desarrollo, siendo de 28,1 g/100 g en larvas y de 19,1 a 21,1 g/100 g en pupas, influenciado por su alimentación. Esta grasa tiene un perfil mayoritariamente compuesto por ácidos grasos saturados y monoinsaturados, destacándose el ácido palmítico y el oleico.

En cuanto al contenido de cenizas en muestras de larvas y pupas de abeja se halló variabilidad, con valores de 2,8 a 4,1g y de 3,2 a 3,8g/100g MS, respectivamente (Ghosh *et al.*, 2016; Haber *et al.*, 2019). Adicionalmente, se ha descrito la presencia de minerales como: K, P, Mg, Ca, Na, Fe, Zn, Cu y Mn ordenados de mayor a menor proporción tanto en la larva como en la pupa (Ghosh *et al.*, 2016).

Respecto a la composición química y nutricional de las larvas de cría de reina, se ha reportado en la harina de larva de reinas un contenido promedio en peso seco de 53,05 % de proteína, 16,74 % de grasa cruda, y 7,61 % de ceniza. Destacándose además, la presencia de aminoácidos esenciales (AAE) en el perfil de aminoácidos (ó AA) como: leucina, lisina y valina (Ghosh *et al.*, 2020). En cuanto a los ácidos grasos, hay poca presencia de poliinsaturados y un alto contenido de grasa saturada, especialmente del ácido oleico (Tabla 1). Elementos como el P, Ca, Mg, y K, así como un alto contenido de quitina, también fueron reportados (Addeo *et al.*, 2021).

La quitina es un carbohidrato no digerible del exoesqueleto del insecto sumamente importante porque de este proviene el material fibroso de

las crías de abejas melíferas. Químicamente, la quitina es un polímero largo de unidades de glucosamina acetiladas unidas por enlaces glicosídicos $\beta(1,4)$ -N-acetilglucosamina (Ghosh *et al.*, 2020). En insectos, la quitina se estudia como posible prebiótico funcional debido a su capacidad de estimular ciertas bacterias beneficiosas, cuyos efectos como antimicrobiano o prebiótico aún se están estudiando (Ghosh *et al.*, 2021).

Debido a las características nutricionales previamente mencionadas, las crías de abejas obreras y zánganos son una fuente de proteína alternativa con valor nutricional, mientras que las larvas de abeja reina presentan una relevancia limitada en la alimentación debido a baja cantidad de individuos disponibles en la colonia, aproximadamente 58,9 g/colmena al mes (Addeo *et al.*, 2021).

Tabla 1

Características químicas de crías de A. mellifera en diferentes estadios de desarrollo

| Casta | Recepción | | Zángano | Reina |
|-------------------------|-----------|--------|----------------------------|------------------------------|
| | Larva | Pupa | (Kim <i>et al.</i> , 2020) | (Addeo <i>et al.</i> , 2021) |
| Proteína (g/ 100 g ms) | 35,3 | 45,9 | 48,52 | 53,04 |
| Grasa (g/ 100 g ms) | 14,5 | 16,0 | 23,41 | 16,74 |
| ELN (g/ 100 g ms) | 46,1 | 34,3 | 22,33 | 22,61 |
| Fibra (g/ 100 g ms) | NR | NR | NR | 2,72 |
| Cenizas (g/ 100 g ms) | 4,1 | 2,8 | 4,05 | 7,61 |
| AAE (g/100 g proteína) | 39,37 | 35,07 | 32,17 | 38,51 |
| AANE (g/100 g proteína) | 43,95 | 54,03 | 46,76 | 49,31 |
| AGS (g/100 g grasa) | 51,8 | 51,1 | 59,62 | 52,1 |
| AGMI (g/100 g grasa) | 48,2 | 48,9 | 37,29 | 47,44 |
| AGPI (g/100 g grasa) | NR | ND | 3,18 | 0,33 |
| Calcio (mg/100 g) | 84,0 | 97,0 | 55,43 | 360,0 |
| Magnesio (mg/100 g) | 177,0 | 193,9 | 85,50 | 293,3 |
| Sodio (mg/100 g) | 59,4 | 60,8 | 50,12 | NR |
| Potasio (mg/100 g) | 1871,9 | 2207,3 | 1323,55 | 519,5 |
| Hierro (mg/ 100 g) | 13,3 | 15,3 | 5,49 | 5,49 |
| Zinc (mg/100 g) | 11,6 | 11,7 | 6,37 | 23,15 |
| Cobre (mg/100 g) | 3,2 | 3,7 | 1,45 | 3,93 |
| Manganeso (mg/100 g) | 1,2 | 0,7 | NR | 0,046 |
| Fósforo (mg/100 g) | 782,5 | 900,0 | 1323,55 | 784,0 |

Nota. Dónde: ELN=Extracto libre de nitrógeno, AAE= Aminoácidos esenciales, AANE=Aminoácidos no esenciales, AGS=Ácidos grasos saturados, AGMI= Ácidos grasos monoinsaturados, APGI= Ácidos grasos polinsaturados, NR= No reportado.

Perspectivas de consumo en Yucatan

Con base en el análisis de la información existente, la prioridad para los apicultores de la península de Yucatán en México, estaría centrada en la cría del zángano dado que su función dentro de la colonia es menos relevante que las crías de reina y obreras y suelen suplirse en el ciclo reproductivo de la colmena, además

de representar la mayor cantidad en peso aprovechable de las crías, ya que se puede producir entre 5,000 y 20,000 CZ con un peso promedio de 0,2 g, pudiéndose obtener entre 2 kg a 3 kg de CZ durante el ciclo reproductivo de una colonia de Apis melifera (FAO, 2021), sugiriéndose como una opción para su consumo, considerando para ello requerimientos previos como: un exceso de producción estacional por

parte de las colonias, una crianza por manejo para el control de plagas, o en su caso proponer su producción *in vitro* para fines gastronómicos y alimentarios; todo esto sin comprometer el futuro generacional de las colonias de abejas melíferas.

Conclusiones

Actualmente, el consumo y comercialización de insectos se promueve como una alternativa sostenible para satisfacer la demanda de alimentos saludables y nutritivos. En este contexto, la cría de *Apis mellifera* representa un producto de interés que, debido a sus características químicas y nutricionales, podría adquirir un nuevo valor dentro de los productos de la colmena. Como se ha demostrado, las crías de obreras y las de zánganos poseen un alto potencial nutricional, ricas en proteínas, lípidos, aminoácidos y ácidos grasos esenciales. También aportan minerales como potasio, fósforo y magnesio. Sin embargo, factores como la subespecie, casta, estadio de desarrollo, ubicación y alimentación pueden influir en su composición. Por lo tanto, como perspectiva futura, se requieren investigaciones a corto y mediano plazo que consideren estas variables, especialmente en la península de Yucatán en México, donde la apicultura es una de las principales actividades pecuarias.

Estos datos presentarán de manera detallada y exhaustiva la capacidad que poseen los insectos comestibles para satisfacer adecuadamente las necesidades nutricionales de la población. Se enfatiza en la contribución significativa de su contenido proteico en la alimentación humana, destacando así, su relevancia al promover una dieta equilibrada y saludable para todos los individuos. En caso de tener aceptación, deberán definirse estrategias para realizar una producción sustentable de las crías para garantizar el futuro generacional de las colonias.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONHACYT-México) por el apoyo para la beca No 1230538 para estudios de posgrado.

Referencias

- Addeo, N.F., Roncarati, A. Secci, G., Parisi, G., Piccolo, G., Ariano, A., Scivico, M., A. Rippa, A., & Bovera, F. (2021). Potential use of a queen bee larvae meal (*Apis mellifera ligustica* Spin.) in animal nutrition: a nutritional and chemical-toxicological evaluation. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(2), 173-186. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0079>
- Alexander, P., Brown, C., Arneith, A., Dias, C., Finnigan, J., Moran, D., & Rounsevell, M. D. A. (2017). Could consumption of insects, cultured meat or imitation meat reduce global agricultural land use? *Global Food Security*, 15, 22-32. <https://doi.org/10.1016/J.GFS.2017.04.001>
- Arechavaleta-Velasco, M. E., García-Figueroa, C., Alvarado-Avila, L. Y., Ramírez-Ramírez, F. J., & Alcalá-Escamilla, K. I. (2021). Resultados e impacto de la investigación en genética y mejoramiento genético de las abejas melíferas desarrollada por el INIFAP en México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12, 224-242. <https://doi.org/10.22319/RMCP.V12S3.5919>
- Baer, B., Collins, J., Maalaps, K., & den Boer, S. P. A. (2016). Sperm use economy of honeybee (*Apis mellifera*) queens. *Ecology and Evolution*, 6(9), 2877. <https://doi.org/10.1002/ECE3.2075>
- Barquera, S., Véjar-Rentería, L. S., Aguilar-Salinas, C., Garibay-Nieto, N., García-García, E., Bovecchio, A., Perichart, O., Torres-Tamayo, M., Esquivias-Zavala, H., Villalpando-Carrion, S., García-Méndez, R. C., Apolinar-Jiménez, E., Kaufer-Horwitz, M., Martínez-Montañez, O. G., Niquete, I. F., Crespo, A. A., Gómez-Álvarez, E., Hernández-Jiménez, S. C., Denova-Gutiérrez, E., . . . Rivera-Dommarco, J. (2022). Volviéndonos mejores: necesidad de acción inmediata ante el reto de la obesidad. Una postura de profesionales de la salud. *Salud Pública de México*, 64, 225-9. <https://doi.org/10.21149/13679>
- Barrios-Mariutti, L. R., Sarmiento-Rebelo, K., Bisconsin-Junior, A., Santos de Moraes, J., Magnani, M., Rodrigues-Maldonado, I., Rodrigo-Madeira, N., Tiengo, A., Roberto-Maróstica, M., & Betim-Cazarin, C. B. (2021). The use of alternative food sources to improve health and guarantee access and food intake. *Food Research International*, 149, 110709. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110709>

- Belluco, S., Losasso, C., Maggioletti, M., Alonzi, C. C., Paoletti, M. G., & Ricci, A. (2013). Edible insects in a food safety and nutritional perspective: A critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(3), 296–313. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12014>
- Boes, K. E. (2009). Honeybee colony drone production and maintenance in accordance with environmental factors: an interplay of queen and worker decisions. *Insectes Sociaux*, 57(1), 1–9. <https://doi.org/10.1007/S00040-009-0046-9>
- Charrière, J. D., Imdorf, A., Bachofen, B., & Tschan, A. (2015). The removal of capped drone brood: an effective means of reducing the infestation of varroa in honey bee colonies. *Bee World*, 84(3), 117–124. <https://doi.org/10.1080/0005772X.2003.11099587>
- Choi, J. S. (2021). Nutrition, safety, health functional effects, and availability of honeybee (*Apis mellifera* L.) drone pupae. *Insects*, 12(9), 771. <https://doi.org/10.3390/INSECTS12090771>
- Codex Alimentarius Commission. (2022). CCEXEC Sub-Committee on New Food Sources and Production Systems – Interim Report. In *Executive Committee of the Codex Alimentarius Commission Eighty-second Session*. FAO/WHO.
- Commission Regulation (EU) 2017/893. (2017). Official Journal of the European Union of 24 May 2017 Amending Annex I and IV to Regulation (EC) No 999/2001 of the European Parliament and of the Council and Annexes X, XIV and XV to Commission Regulation (EU) No 142/2011 as Regards the Provisions on Processed Animal Protein. L 138/92–L138/116. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/eur166794.pdf>
- Costa-Neto, E.M., & Dunkel, F.V. (2016). Insects as food: history, culture, and modern use around the world. In: Dossey, A.T., Morales-Ramos, J.M & Rojas, G. (Eds), *Insects as Sustainable Food Ingredients*, (pp. 29–60). Academic Press, Cambridge, MA. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802856-8.00002-8>.
- da Silva Lucas, A. J., de Oliveira, L. M., da Rocha, M., & Prentice, C. (2020). Edible insects: An alternative of nutritional, functional and bioactive compounds. *Food Chemistry*, 311, 126022. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.126022>
- de Carvalho, N. M., Madureira, A. R., & Pintado, M. E. (2019). The potential of insects as food sources – a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(21), 3642–3652. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1703170>
- Delfín-González H. & Chay-Hernández D. 2010. Riqueza de Hymenoptera. En: Durán R. Mández M. (Eds). Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA.
- Döke, M. A., Frazier, M., & Grozinger, C. M. (2015). Overwintering honey bees: biology and management. *Current Opinion in Insect Science*, 10, 185–193. <https://doi.org/10.1016/J.COIS.2015.05.014>
- Dossey, A. T., Tatum, J. T., & McGill, W. L. (2016). Modern Insect-Based Food Industry: Current Status, Insect Processing Technology, and Recommendations Moving Forward. In: *Insects as Sustainable Food Ingredients: Production, Processing and Food Applications*, Aaron T. Dossey, Juan A. Morales-Ramos, M. Guadalupe Rojas (Eds), pp 113–152. Academic Press, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802856-8.00005-3>
- Evans, J., Müller, A., Jensen, A. B., Dahle, B., Flore, R., Eilenberg, J., & Frøst, M. B. (2016). A descriptive sensory analysis of honeybee drone brood from Denmark and Norway. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2(4), 277–283. <https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0014>
- FAO. (1996). *Rome Declaration on World Food Security and World Food Summit Plan of Action Rome Declaration on World Food Security*.
- FAO. (2013). *Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO expert consultation*. <https://www.fao.org/ag/humannutrition/35978-02317b979a686a57aa4593304ffc17f06.pdf>
- FAO, IZSLT, Apimondia, & CAAS. (2021). *Good beekeeping practices for sustainable apiculture*. FAO Animal Production and Health Guidelines, 25. Roma. <https://doi.org/10.4060/cb5353en>
- Feng, Y., Chen, X. M., Zhao, M., He, Z., Sun, L., Wang, C. Y., & Ding, W. F. (2018). Edible insects in China: Utilization and prospects. *Insect Science*, 25(2), 184–198. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12449>
- Fry, J.P., Mailloux, N.A., Love, D.C., Michael C Milli, M.C., & Cao, L. (2018). Feed conversion efficiency in aquaculture: do we measure it correctly? *Environmental Research Letters*, 13(2), 024017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaa273>
- Ghosh, S., Jung, C., & Meyer-Rochow, V. B. (2016). Nutritional value and chemical composition of larvae, pupae, and adults of worker honey bee, *Apis mellifera ligustica* as a sustainable food source. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 19(2), 487–495. <https://doi.org/10.1016/J.ASPEN.2016.03.008>

- Ghosh, S., Sohn, H. Y., Pyo, S. J., Jensen, A. B., Meyer-Rochow, V. B., & Jung, C. (2020). Nutritional composition of *Apis mellifera* drones from Korea and Denmark as a potential sustainable alternative food source: comparison between developmental stages. *Foods*, 9(4), 389. <https://doi.org/10.3390/FOODS9040389>
- Ghosh, S., Meyer-Rochow, V. B., & Jung, C. (2021). Honey bees and their brood: a potentially valuable resource of food, worthy of greater appreciation and scientific attention. *Journal of Ecology and Environment*, 45(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s41610-021-00212-y>
- Guiné, R. P. F., Florença, S. G., Costa, C. A., Correia, P. M. R., Ferreira, M., Cardoso, A. P., Campos, S., Anjos, O., Chuck-Hernández, C., Sarić, M. M., Djekic, I., Papageorgiou, M., Baro, J. M. F., Korzeniowska, M., Černelić-Bizjak, M., Bartkiene, E., Tarcea, M., Boustani, N. M., Klava, D., & Damarli, E. (2023). Investigation of the level of knowledge in different countries about edible insects: Cluster segmentation. *Sustainability* 15(1), 450. <https://doi.org/10.3390/SU15010450>
- Guzmán-Novoa, E., Benítez, A. C., Montaña, L. G. E., & Novoa, G. G. (2011). Colonization, impact and control of Africanized honey bees in Mexico. *Veterinaria México*, 42(2), 149–178.
- Haber, M., Mishyna, M., Itzhak Martinez, J. J., & Benjamin, O. (2019). Edible larvae and pupae of honey bee (*Apis mellifera*): Odor and nutritional characterization as a function of diet. *Food Chemistry*, 292, 197–203. <https://doi.org/10.1016/j.FOODCHEM.2019.04.041>
- Harbo, J. R. (2015). Effect of population size on brood production, worker survival and honey gain in colonies of honeybees. *Journal of Apicultural Research*, 25(1), 22–29. <https://doi.org/10.1080/0218839.1986.11100687>
- Hrassnigg, N., & Crailsheim, K. (2005). Differences in drone and worker physiology in honeybees (*Apis mellifera*). *Apidologie*, 36(2), 255–277. <https://doi.org/10.1051/APIDÓ:2005015>
- Kim, J.E., Kim, D.I., Koo, H.Y., Kim, H.J., Kim, S.-Y., Lee, Y.B., Kim, J.S., Kim, H.H., Moon, J.H., & Choi, Y.S. (2020). Analysis of nutritional compounds and antioxidant effect of freeze-dried powder of the honey bee (*Apis mellifera* L.) drone (pupal stage). *Korean Journal of Applied Entomology*, 59(3), 265–275. <https://doi.org/10.5656/KSAE.2020.08.0.029>
- Loucif-Ayad, W., Aribi, N., Smagghe, G., & Soltani, N. (2010). Comparative effectiveness of some acaricides used to control *Varroa destructor* (Mesostigmata: Varroidae) in Algeria. *African Entomology*, 18(2), 259–266. <https://doi.org/10.4001/003.018.0211>
- Krongdang, S., Phokasem, P., Venkatachalam, K., & Charoenphun, N. (2023). Edible insects in Thailand: An overview of status, properties, processing, and utilization in the food industry. *Foods*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/FOODS12112162>
- Magaña-Magaña, M. A., Tavera-Cortés, M. E., Salazar-Barrientos, L. L., Sanginés-García, J. R. (2016). Productividad de la apicultura en México y su impacto sobre la rentabilidad. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(5), 1103–1115. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000501103&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Mancuso, T., Croce, L., & Vercelli, M. (2020). Total brood removal and other biotechniques for the sustainable control of varroa mites in honey bee colonies: economic impact in beekeeping farm case studies in Northwestern Italy. *Sustainability*, 12(6), 2302. <https://doi.org/10.3390/SU12062302>
- Martínez-Puc, J., Medina-Medina L, & Catzín-Ventura G. (2011). Frecuencia de *Varroa destructor*, *Nosema apis* y *Acarapis woodii* en colonias manejadas y enjambres silvestres de abejas (*Apis mellifera*) en Mérida, Yucatán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 2, 25–38. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmcp/v2n1/v2n1a3.pdf> MEDINA-FLORES
- Medina, L. M., Martin, S. J., Espinosa-Montaña, L., & Ratnieks, F. L. W. (2002). Reproduction of *Varroa destructor* in worker brood of Africanized honey bees (*Apis mellifera*). *Experimental & Applied Acarology*, 27(1–2), 79–88. <https://doi.org/10.1023/A:1021579113907>
- Medina-Flores, C.A., López-Carlos, M., Carrillo-Muro, O. & Gray, A. (2023). Honey Bee colony losses in Mexico's semi-arid high plateau for the winters 2016–2017 to 2021–2022. *Insects*, 14, 453. <https://doi.org/10.3390/insects14050453>
- Mitchell, D. (2023). Honeybee cluster-not insulation but stressful heat sink. *Journal of the Royal Society, Interface*, 20, 20230488. <https://doi.org/10.1098/rsif.2023.0488>
- Mondet, F., Rau, A., Klopp, C., Rohmer, M., Severac, D., Le Conte, Y., & Alaux, C. (2018). Transcriptome profiling of the honeybee parasite *Varroa destructor* provides new biological insights into the mite adult life cycle. *BMC Genomics*, 19, 328. <https://doi.org/10.1186/s12864-018-4668-z>
- Nates-Parra, G. (2011). Genética del comportamiento: abejas como modelo. *Acta Biológica Colombiana*, 16(3), 213–230.

- Norma Oficial Mexicana NOM-002-SAG/GAN. (2016). Actividades técnicas y operativas aplicables al Programa Nacional para el Control de la Abeja Africana. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/567753/NOM-002-SAG-GAN-2016.pdf>
- Ocampo-Thomason, P., Vázquez-Elorza, A., & Cocom-Vázquez J.M. (2016). Producción de miel en México: situación histórica y actual. En: Ramos Díaz, A.L., & Pacheco-López, N.A. (Eds). *Producción y comercialización de miel y sus derivados en México: desafíos y oportunidades para la exportación* (pp. 21-49), CIATEJ. México. ISBN 978-607-97421-2-6
- Onore, G. (2010). A brief note on edible insects in Ecuador. *Ecology of Food and Nutrition*, 36(2-4), 277-285. <https://doi.org/10.1080/03670244.1997.9991520>
- Oonincx, D. G. A. B., van Broekhoven, S., van Huis, A., & van Loon, J. J. A. (2015). Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *PLoS ONE*, 10(12), e0222043. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0144601>
- Papa, G., Maier, R., Durazzo, A., Lucarini, M., Karabagias, I. K., Plutino, M., Bianchetto, E., Aromolo, R., Pignatti, G., Ambrogio, A., Pellecchia, M., & Negri, I. (2022). The honey Bee *Apis mellifera*: An insect at the interface between human and ecosystem health. *Biology*, 11(2), 233. <https://doi.org/10.3390/BIOLOGY11020233>
- Pinkus Rendón, M.A., (2013). Abejas, avispas y hormigas en la perspectiva local yucateca, *Entomología Mexicana*, 12, 1706-1711.
- Precedence Research Pvt. Ltd. (2024). *Edible Insects Market (By Product: Caterpillar, Beetles, Cricket, Others; By Application: Powder, Protein Bars, Others) - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, Regional Outlook, and Forecast 2024-2033*. <https://www.precedenceresearch.com/edible-insects-market>
- Ramírez-Miranda, I., Betancur-Ancona, D., Moguel-Ordóñez, Y. (2021). Physicochemical and microbiological standards of honey produced by genus *Melipona*. *Journal of Apicultural Science*, 65(2), 197-216. <https://doi.org/10.2478/jas-2021-0016>
- Ramos-Elorduy, J., Moreno, J. M. P., Prado, E. E., Perez, M. A., Otero, J. L., & De Guevara, O. L. (1997). Nutritional value of edible insects from the state of Oaxaca, Mexico. *Journal of Food Composition and Analysis*, 10(2), 142-157. <https://doi.org/10.1006/JFCA.1997.0530>
- Ramos-Elorduy, J., Pino, J. & Conconi, M. (2006). Ausencia de una reglamentación y normalización de la explotación y comercialización de insectos comestibles en México. *Folia Entomológica Mexicana*, 45(3), 291-318. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42445304>
- Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council. (2015). On novel foods, amending Regulation (EU) No 1169/2011 of the European Parliament and of the Council and repealing Regulation (EC) No 258/97 of the European Parliament and of the Council and Commission Regulation (EC) No 1852/2001. <http://data.europa.eu/eli/reg/2015/2283/oj>
- Rodríguez-Rodríguez, M., Barroso, F. G., Fabrikov, D., & Sánchez-Muros, M. J. (2022). *In vitro* crude protein digestibility of insects: A review. *Insects*, 13(8), 682. <https://doi.org/10.3390/INSECTS13080682>
- Schneider, S.S., Degrandi-Hoffman, G., & Smith, D. R. (2004). The African honey bee: factors contributing to a successful biological invasion. *Annual Review of Entomology*, 49, 351-376. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.49.061802.123359>
- Schiel, L., Wind, C., Ulmer, M., Braun, P. G., & Koethe, M. (2022). Honey bee drone brood used as food. *Ernahrungs Umschau*, 69(7), 96-104
- SADER. (2019). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. *Manual Programa Nacional para el Control de la Abeja Africana* (4a ed.). Gobierno de México
- Shamah-Levy T, Gaona-Pineda EB, Cuevas-Nasu L, Morales-Ruan C, Valenzuela-Bravo DG, Méndez-Gómez Humarán I, & Ávila-Arcos MA. (2023). Prevalencias de sobrepeso y obesidad en población escolar y adolescente de México. *Ensanut Continua 2020-2022. Salud Publica Mex*. 65(supl 1), S218-S224. <https://doi.org/10.21149/14762>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2023). *Panorama Agroalimentario 2023* (2022nd ed.). https://online.pubhtml5.com/vqdk/rvdl/#google_vignette
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2024). *Anuario Estadístico de la Producción Ganadera*. https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/
- Stork, N. E. (2018). How many species of insects and other terrestrial arthropods are there on Earth? *Annual Review of Entomology*, 63, 31-45. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV-ENTO-020117-043348>

- Suna, S., & Çopur, Ö. U. (2018). A new approach: Replacement and alternative foods for food industry. *Alternative and Replacement Foods*, 17, 1–30. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811446-9.00001-0>
- Tauber, J. P., Collins, W. R., Schwarz, R. S., Chen, Y., Grubbs, K., Huang, Q., Lopez, D., Peterson, R., & Evans, J. D. (2019). Natural product medicines for honey bees: perspective and Protocols. *Insects*, 10(10), 356. <https://doi.org/10.3390/insects10100356>
- Tumas, N., de la Vega, C., Gutiérrez-Zamora, M.N., Cash-Gibson, L., Carreño, P., Pericàs, J.M., & Benach, J. (2024). Políticas públicas e intervenciones para prevenir el exceso de peso en México: análisis desde una perspectiva interseccional. *Ciència & Saúde Coletiva*, 29 (9), e04142023. <https://doi.org/10.1590/1413-81232024299.04142023>
- Turck, D., Bohn, T., Castenmiller, J., De Henauw, S., Hirsch-Ernst, K. I., Maciuk, A., Mangelsdorf, I., McArdle, H. J., Naska, A., Pelaez, C., Pentieva, K., Siani, A., Thies, F., Tsabouri, S., Vinceti, M., Cubadda, F., Frenzel, T., Heinonen, M., Marchelli, R., & Knutsen, H. K. (2021). Safety of frozen and dried formulations from whole house crickets (*Acheta domesticus*) as a novel food pursuant to regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal*, 19(8). <https://doi.org/10.2903/J.EFSA.2021.6779>
- Ulmer, M., Smetana, S., & Heinz, V. (2020). Utilizing honeybee drone brood as a protein source for food products: Life cycle assessment of apiculture in Germany. *Resources, Conservation and Recycling*, 154, 104576. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2019.104576>
- van Dijk, M., Morley, T., Rau, M. L., & Saghai, Y. (2021). A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. *Nature Food*, 2(7), 494–501. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9>
- van Huis, A., Itterbeek, H. K., Klunder, V. I. J., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme P. (2013). *Edible insects Future prospects for food and feed security*. <https://www.fao.org/3/i3253e/i3253e.pdf>
- Wade, M., & Hoelle, J. (2020). A review of edible insect industrialization: scales of production and implications for sustainability. *Environmental Research Letters*, 15(12), 123013. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ABA1C1>
- Yhoun-Aree, J., Puwastein, P., & Attig, G. A. (2010). Edible insects in Thailand: An unconventional protein source? *Ecology of Food and Nutrition*, 36(2–4), 133–149. <https://doi.org/10.1080/03670244.1997.9991511>
- Zoltowska, K., & Frączek, R. (2011). Hydrolases of developing worker brood and newly emerged worker of *Apis mellifera carnica*. *Journal of Apicultural Science*, 55 (1), 27–36. <https://www.researchgate.net/publication/233943106>