

## COMPOSICIÓN NUTRICIONAL Y EVALUACIÓN DE METALES PESADOS EN LARVAS DE *Spodoptera frugiperda* COLECTADAS EN CULTIVOS DE MAÍZ DEL VALLE DEL MEZQUITAL

### NUTRITIONAL COMPOSITION AND HEAVY METAL ASSESSMENT OF *Spodoptera frugiperda* LARVAE COLLECTED FROM MAIZE CROPS IN THE VALLE DEL MEZQUITAL

Pérez-Pérez, Nalleli-Concepción<sup>a</sup>, Ortega-Bernal, Jaime<sup>b</sup>, Aguilar-Arteaga, Karina<sup>c</sup>, Porras-Saavedra, Josefina<sup>a</sup>, Tovar-Benitez, Tomás<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Tecnológico Nacional de México/ITS del Occidente del Estado de Hidalgo, División de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo, México, 42700. [nperez@itsoeh.edu.mx](mailto:nperez@itsoeh.edu.mx)

<sup>b</sup>Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico Valle del Mezquital SEDAGROH, Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo, México, 42700.

<sup>c</sup>Departamento de Ingeniería Agroindustrial/Ingeniería en Alimentos, Universidad Politécnica de Francisco I Madero, Francisco I Madero, Hidalgo, México, 42660.

**RESUMEN.** Los insectos comestibles han surgido como fuentes alternativas de proteína dentro de sistemas alimentarios sostenibles; sin embargo, es necesario que insectos plaga de alta relevancia agrícola sean explorados. *Spodoptera frugiperda* (gusano cogollero) es una plaga de distribución global que ocasiona pérdidas significativas en agroecosistemas de maíz. El objetivo de este estudio fue evaluar la composición proximal y el contenido de metales seleccionados en larvas de *S. frugiperda* colectadas en cultivos de maíz del Valle del Mezquital, Hidalgo, México, para establecer su potencial valorización como insecto comestible. Las larvas fueron recolectadas en campos comerciales de maíz antes de la aplicación de insecticidas durante los ciclos agrícolas 2023 y 2024. Las muestras se analizaron para determinar humedad, proteína cruda, extracto etéreo, cenizas y extracto libre de nitrógeno. Asimismo, se cuantificaron cadmio, plomo y arsénico mediante espectroscopía de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). Los resultados mostraron un alto contenido de proteína (66.32 % base seca) y una fracción lipídica relevante (20.84 % base seca), comparables a los reportados para otros lepidópteros comestibles, lo que indica un perfil nutricional para su uso como alimento o ingrediente alimentario. Además, se detectaron y cuantificaron cadmio, plomo y arsénico, probablemente asociadas a las condiciones agroambientales del Valle del Mezquital, región donde el riego con aguas residuales es una práctica ampliamente documentada. En conclusión, las larvas de *S. frugiperda* presentan potencial nutricional como insecto comestible emergente; sin embargo, las consideraciones de inocuidad química limitan su aprovechamiento bajo esquemas de recolección directa en campo. Por lo que, resalta la necesidad de sistemas de producción controlada que permitan garantizar la seguridad alimentaria y la valorización sostenible de esta plaga agrícola para consumo humano.

**Palabras clave:** *Spodoptera frugiperda*, insectos comestibles, proteína total

**ABSTRACT.** Edible insects have emerged as alternative protein sources within sustainable food systems; however, it is necessary to explore insect pests of high agricultural relevance. *Spodoptera frugiperda* (fall armyworm) is a globally distributed pest that causes significant yield losses in maize agroecosystems. The aim of this study was to evaluate the proximate composition and selected heavy metal content of *S. frugiperda* larvae collected from maize crops in the Valle del Mezquital, Hidalgo, Mexico, in order to assess their potential valorization as an edible insect. Larvae were collected from commercial maize fields prior to insecticide application during the 2023 and 2024 growing seasons. Samples were analyzed to determine moisture, crude protein, lipid content, ash, and nitrogen-free extract. In addition, cadmium, lead, and arsenic were quantified using inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES). The results showed a high protein content (66.32% dry basis) and a relevant lipid fraction (20.84% dry basis), comparable to those reported for other edible lepidopterans, indicating a favorable nutritional profile for use as food or food ingredients. Moreover, cadmium, lead, and arsenic were detected and quantified, likely associated with the agroenvironmental conditions of the Valle del Mezquital, a region where wastewater irrigation is widely documented. In conclusion, *S. frugiperda* larvae exhibit nutritional potential as an emerging edible insect; however, chemical safety considerations limit their use under direct field collection schemes. Therefore, the development of controlled rearing systems is required to ensure food safety and enable the sustainable valorization of this agricultural pest for human consumption.

**Key words:** *Spodoptera frugiperda*, edible insects, total protein

## INTRODUCCIÓN

La seguridad alimentaria constituye uno de los retos globales, acentuado por el crecimiento poblacional, el deterioro ambiental y la elevada demanda de recursos asociada a los sistemas convencionales de producción de alimentos de origen animal. Por consiguiente, organismos internacionales han enfatizado la necesidad de diversificar las fuentes de proteína y promover sistemas alimentarios más sostenibles, resilientes y eficientes en el uso de recursos<sup>1,2</sup>. Entre las alternativas emergentes, los insectos comestibles han despertado un creciente interés debido a su alta eficiencia de conversión alimenticia, menores requerimientos de agua y suelo, una huella ambiental significativamente inferior a la de fuentes proteicas tradicionales<sup>3,4</sup>. A nivel mundial, se estima que alrededor de 1900 especies de insectos son consumidas por aproximadamente dos mil millones de personas, principalmente en Asia, África y América Latina, donde la entomofagia forma parte de sistemas alimentarios tradicionales<sup>3</sup>. Desde el punto de vista nutricional, los insectos comestibles pueden aportar proteínas de alta calidad, aminoácidos esenciales, ácidos grasos, vitaminas y minerales, lo que los posiciona como ingredientes con potencial para la alimentación humana<sup>5,6</sup>.

México destaca por su amplia diversidad de insectos comestibles y una larga tradición en su consumo; se han documentado 545 especies pertenecientes a los órdenes de *Lepidoptera*, *Hymenoptera*, *Coleoptera*, *Hemiptera* y *Orthoptera*<sup>7</sup>. Las entidades como Oaxaca, Estado de México, Chiapas e Hidalgo sobresalen por el consumo de insectos en estadios larvarios, de pupa o de huevo, los cuales presentan altos contenidos de proteínas y lípidos, aunque su composición nutricional y antinutricional puede variar considerablemente en función de la especie, el estadio de desarrollo, el sustrato de alimentación y las condiciones ambientales<sup>7,8</sup>.

Dentro del orden de *Lepidoptera*, varias especies ha sido reconocidas como insectos comestibles de importancia nutricional y cultural. Las larvas de *Gonimbrasia belina* (gusano mopane) son ampliamente consumidas en el sur de África y se caracterizan por su elevado contenido proteico y mineral<sup>5</sup>. *Bombyx mori* (gusano de seda) es consumido principalmente en Asia, donde sus pupas

han mostrado perfiles nutricionales favorables, con alto contenido de proteína y lípidos<sup>9</sup>. En África occidental, las larvas de *Cirina forda* constituyen una fuente energética relevante, con alto contenido de lípidos<sup>10</sup>. En México, especies como *Aegiale hesperiaris* (gusano blanco de maguey) y *Comadia redtenbacheri* (gusano rojo de maguey) representan ejemplos emblemáticos de lepidópteros comestibles con valor nutricional y gastronómico reconocido<sup>7</sup>.

Sin embargo, la incorporación como alimento humano o ingrediente alimentario de los insectos comestibles, enfrenta desafíos relevantes relacionados con la inocuidad, la aceptación del consumidor y los marcos regulatorios. Entre los principales riesgos identificados se encuentra la posible presencia de alérgenos, contaminantes químicos y peligros microbiológicos, lo que resalta la necesidad de evaluaciones rigurosas y del desarrollo de procesos de transformación que garanticen la seguridad alimentaria sin comprometer el valor nutricional<sup>11,12,4</sup>.

Entre los peligros químicos más relevantes para la valorización de insectos comestibles destacan los metales pesados, debido a su persistencia ambiental, capacidad de bioacumulación y asociación con efectos adversos para la salud, como nefrotoxicidad, neurotoxicidad y potencial carcinogénico, dependiendo del elemento y su forma química. Diversos trabajos han documentado que las larvas de *Lepidoptera* pueden bioacumular elementos como cadmio (Cd), plomo (Pb) y arsénico (As) a partir del sustrato vegetal o del ambiente edáfico en el que se desarrollan, evidenciando procesos de transferencia trófica suelo-planta-insecto y variabilidad dependiente de la especie, el estadio de desarrollo y las condiciones ambientales<sup>13, 14</sup>. En especies de interés alimentario, como larvas de *Bombyx mori* se ha demostrado la sensibilidad fisiológica frente a la exposición a Pb, aportando evidencia mecanística sobre la interacción entre contaminantes metálicos y tejidos larvarios, lo que respalda la plausibilidad biológica de su acumulación en fracciones consumibles<sup>15</sup>. En conjunto, estos antecedentes subrayan la necesidad de integrar la evaluación de metales pesados en el análisis de inocuidad de lepidópteros comestibles, particularmente cuando se plantean esquemas de recolección en campo o

sistemas productivos sin control estricto del sustrato, en concordancia con los criterios de gestión del riesgo exigidos para alimentos emergentes<sup>16</sup>.

En contraste con los lepidópteros tradicionalmente consumidos, *Spodoptera frugiperda* (gusano cogollero) ha sido estudiada casi exclusivamente desde la perspectiva agrícola. Esta especie ocasiona daños significativos en cultivos estratégicos, como maíz, arroz, sorgo y algodón; y se caracteriza por un amplio rango de hospederos, alta capacidad de dispersión y rápida adaptación a diversos ambientes, lo que ha favorecido su expansión desde América hacia África y Asia<sup>17,18</sup>. En México, *S. frugiperda* se encuentra ampliamente distribuida y puede ocasionar pérdidas productivas que oscilan entre el 10 % y el 100 %, lo que ha generado una fuerte dependencia del control químico mediante insecticidas.

El uso intensivo de insecticidas ha derivado en impactos negativos sobre el ambiente, la biodiversidad y la salud humana, además de favorecer el desarrollo de resistencia a insecticidas en las poblaciones de *S. frugiperda*, comprometiendo la eficacia de las estrategias de manejo convencionales<sup>17</sup>. En este contexto, es necesario proponer un estudio de *S. frugiperda* desde un enfoque de valorización alimentaria.

Por lo anterior, el objetivo de este estudio preliminar fue evaluar la composición proximal y de metales pesados en larvas de *Spodoptera frugiperda* colectadas en cultivos de maíz en el Valle del Mezquital Hidalgo, como primer paso hacia su aprovechamiento como insecto comestible. Este enfoque exploratorio permite valorar su potencial nutricional, identificar posibles riesgos químicos asociados a la recolección en campo y sustentar el diseño de futuras investigaciones enfocadas en sistemas de producción controlada, estandarización composicional y evaluación integral de inocuidad.

## METODOLOGÍA

### Área de estudio y colecta de muestras

Los individuos de *S. frugiperda* en estadio larvario se obtuvieron mediante un muestreo aleatorio en el Valle del Mezquital, Hidalgo. La colecta se realizó en campos comerciales de maíz bajo prácticas

agronómicas estándar, previo a la aplicación de insecticidas.

El Valle del Mezquital se caracteriza por presentar un clima semiseco templado con lluvias en verano, con temperaturas que oscilan entre 7 °C y 27 °C a lo largo del año y máximas diurnas cercanas a 30-31 °C durante los meses más cálidos; estas condiciones contrastan con inviernos frescos a fríos<sup>19,20</sup>. La temperatura de lluvias se extiende de junio a septiembre, concentrando la mayor parte de la precipitación anual, lo cual coincide con el periodo fenológico activo del maíz y con las actividades de muestreo realizadas entre mayo y septiembre de 2023 y 2024.

### Preparación de las muestras

Los insectos fueron colocados en forma individual en recipientes de 5 mL, se conservaron a -4 °C hasta su procesamiento. Posteriormente, las muestras se deshidrataron en un horno de convección a 50 °C durante 72 h, hasta alcanzar peso constante, y se almacenaron en condiciones secas para su posterior análisis.

### Análisis físico y composición proximal

Las larvas fueron evaluadas físicamente por su longitud. La composición proximal incluyó la determinación de contenido de humedad, extracto etéreo, extracto libre de nitrógeno (calculado por diferencia) y cenizas; la proteína cruda fue determinada mediante la técnica de Kjeldahl<sup>21</sup>. El contenido de nutrientes se calculó como porcentaje basados en el peso en base seca.

### Determinación de metales pesados

La cuantificación de cadmio (Cd), plomo (Pb) y arsénico (As), se realizó mediante digestión húmeda de las muestras, seguida por espectroscopía de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES Plas Quant, AnalytikJena) conforme a metodologías previamente reportadas<sup>22</sup>.

### Análisis estadístico

Los resultados de la composición proximal y la concentración de metales pesados se expresaron como media  $\pm$  desviación estándar. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización morfológica de las larvas de *Spodoptera frugiperda*

Las larvas de *S. frugiperda* fueron clasificadas en dos categorías: larvas pequeñas ( $\leq 15$  mm) y grandes ( $> 15$  mm) de acuerdo a lo señalado por Serra y Trumper<sup>23</sup>. En el presente estudio, las larvas pequeñas presentaron una longitud de 14.1 mm y las larvas grandes de 24.05 mm. Esta diferenciación es relevante desde una perspectiva alimentaria, ya que el estadio larvario y el tamaño pueden influir de manera significativa en la composición química y en la acumulación de nutrientes y contaminantes, como ha sido reportado en otros insectos comestibles.

En insectos comestibles, el estadio larvario es considerado el más adecuado para aplicaciones alimentarias debido a su mayor rendimiento comestible, menor contenido de quitina en comparación con estadios adultos y una composición química más favorable para la digestibilidad y funcionalidad tecnológica<sup>5,3</sup>. En este sentido, el tamaño alcanzado por las larvas de *S. frugiperda* en sistemas agrícolas de maíz sugiere un potencial adecuado para su transformación en harinas, pastas o ingredientes proteicos, más que para su consumo entero.

### Composición proximal de *S. frugiperda*

La composición proximal de las larvas de *S. frugiperda* reveló un alto perfil nutricional, en proteína ( $66.324 \pm 1.311$  % b.s.) y lípidos ( $20.84 \pm 0.014$  % b.s.). Estos valores se sitúan dentro del rango alto reportado para insectos comestibles en lepidópteros tradicionalmente consumidos, como *Gonimbrasia belina*, *Cirina forda* y *Gynanisa* sp. (Tabla 1).

Por consiguiente, *S. frugiperda* podría ser utilizado como ingrediente proteico funcional, con potencial aplicación en la formulación de productos fortificados, alimentos análogos a la carne o suplementos nutricionales. El contenido lipídico observado aporta valor energético y podría contribuir a la palatabilidad, aunque sería necesario caracterizar el perfil de ácidos grasos para definir su calidad nutricional y estabilidad oxidativa, como se ha señalado en estudios previos sobre insectos comestibles<sup>6</sup>.

El contenido de cenizas (9.77 % b.s.) indica una fracción mineral relevante; sin embargo, debe caracterizarse la presencia de micronutrientes esenciales y elementos potencialmente tóxicos, particularmente en insectos recolectados en ambientes agrícolas con condiciones ambientales particulares, como es el caso de esta investigación.

**Tabla 1.** Contenido de proteína total y lípidos totales de insectos comestibles en estadio larvario de la Orden Lepidóptera.

Insecto	Proteína total (% b.s.)	Lípidos totales (% b.s.)
<i>Spodoptera frugiperda</i>	$66.32 \pm 1.31$	$20.84 \pm 0.01$
<i>Gonimbrasia belina</i> <sup>24</sup>	$64.47 \pm 0.31$	$14.49 \pm 0.82$
<i>Gynanisa</i> sp. <sup>24</sup>	$60.26 \pm 0.09$	$11.62 \pm 1.28$
<i>Aegiale hesperiaris</i> <sup>25</sup>	$28.11 \pm 0.40$	$32.63 \pm 0.20$
<i>Cirina forda</i> <sup>26</sup>	$52.60 \pm 0.05$	$16.80 \pm 0.04$
<i>Comadia redtenbacheri</i> <sup>25</sup>	$22.87 \pm 0.27$	$56.22 \pm 1.50$

### Contenido de metales pesados en *S. frugiperda*

La detección de Cd, Pb y As en las larvas de *S. frugiperda* colectadas en campo sugiere la necesidad de evaluar su viabilidad como alimento humano bajo un enfoque integral de inocuidad. Las concentraciones determinadas en base húmeda de Cd ( $0.0348 \pm 0.0015$  mg/kg), Pb ( $0.0591 \pm 0.0039$  mg/kg) y As total ( $0.0518 \pm 0.0081$  mg/kg) fueron calculadas a partir de la humedad de la muestra ( $82.443 \pm 0.01$  %). Estos valores se sitúan dentro del rango reportado para otros insectos comestibles recolectados en ambientes no controlados, particularmente lepidópteros silvestres<sup>10,11</sup>, donde la variabilidad composicional está estrechamente asociada a las condiciones ambientales y al sustrato de alimentación.

El Codex Alimentarius<sup>27</sup> (CXS 193-1995) establece niveles máximos para metales pesados con base en categorías alimentarias específicas, tales como cereales, vegetales o productos destinados a lactantes, pero no contempla a los insectos comestibles como matriz independiente. En consecuencia, la comparación debe realizarse de manera referencial y bajo un enfoque precautorio. Además, aunque los insectos no son intrínsecamente bioacumuladores selectivos de metales pesados, su composición mineral refleja las condiciones del sustrato y del suelo, lo que incrementa la

incertidumbre cuando la biomasa se obtiene por recolección silvestre o en sistemas agrícolas con antecedentes de contaminación<sup>16</sup>.

En el contexto agroambiental del Valle del Mezquital, una región donde el riesgo con aguas residuales urbanas sin tratamiento completo ha sido ampliamente documentado y se ha asociado con la acumulación de metales pesados en suelos y cultivos agrícolas<sup>20,28</sup>. La presencia de Cd, Pb y As en *S. frugiperda* es consistente con la posible transferencia trófica de contaminantes desde el suelo y la planta hospedera (maíz) hacia el insecto, más que a una capacidad fisiológica específica de acumulación. Por lo tanto, aunque el perfil nutricional de *S. frugiperda* respalda su potencial valorización como fuente proteica alternativa, los resultados de metales pesados indica que la recolección directa en campo podría implicar variabilidad química relevante desde el punto de vista de la seguridad alimentaria. En consecuencia, su aprovechamiento como alimento humano requeriría esquemas de producción controlada, uso de sustratos monitoreados y sistemas de trazabilidad que permitan garantizar la inocuidad y facilitar su incorporación en cadenas formales de alimentos<sup>11,12</sup>.

## CONCLUSIONES

Las larvas de *Spodoptera frugiperda* recolectadas en cultivos de maíz del Valle del Mezquital presentaron un alto contenido de proteína y una fracción lipídica relevante, lo que las posiciona como un recurso biológico con potencial para su valorización como ingrediente alimentario o fuente alternativa de proteína para consumo humano. Sin embargo, la presencia de cadmio, plomo y arsénico evidencia que la inocuidad química es un factor crítico para su aprovechamiento como alimento, particularmente en sistemas agrícolas irrigados con aguas residuales, como ocurre en el Valle del Mezquital.

*S. frugiperda* puede considerarse viable para consumo humano bajo esquemas de producción controlada, que permitan regular el sustrato de alimentación y minimizar la acumulación de contaminantes en la zona de estudio.

## REFERENCIAS

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013). Edible insects: Future prospects for food and feed security. FAO Forestry Paper No. 171. FAO. <https://www.fao.org/3/i3253e/i3253e.pdf>
2. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017). The future of food and agriculture: Trends and challenges. FAO. <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf>
3. Huis, A. V., Itterbeeck, J. V., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. (2013). Edible insects: future prospects for food and feed security (FAO Forestry Paper No. 171). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/4/i3253e/i3253e.pdf>
4. Lange, K. W., & Nakamura, Y. (2021). Edible insects as future food: chances and challenges. *Journal of future foods*, 1(1), 38-46. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2021.10.001>
5. Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular nutrition & food research*, 57(5), 802-823. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201200735>
6. Payne, C. L. R., Scarborough, P., Rayner, M., & Nonaka, K. (2016). A systematic review of nutrient composition data available for twelve commercially available edible insects, and comparison with reference values. *Trends in Food Science & Technology*, 47, 69-77. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.10.012>
7. Ramos-Elorduy, J. (2008). Energy supplied by edible insects from Mexico and their nutritional and ecological importance. *Ecology of food and nutrition*, 47(3), 280-297. <https://doi.org/10.1080/03670240701805074>
8. Finke, M. D. (2002). Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biology*, 21(3), 269-285. <https://doi.org/10.1002/zoo.10031>
9. Kouřimská, L., & Adámková, A. (2016). Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS Journal*, 4, 22-26. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2016.07.001>
10. 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>
11. European Food Safety Authority (EFSA). (2015). Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal*, 13(10), 4257. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4257>

12. Van der Fels-Klerx, H. J., Camenzuli, L., Belluco, S., Meijer, N., & Ricci, A. (2018). Food safety issues related to uses of insects for feeds and foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(5), 1172–1183. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12385>
13. Zhuang, P., McBride, M. B., Xia, H., Li, N., & Li, Z. (2009). The accumulation and transfer of heavy metals along a soil–plant–insect–chicken food chain at contaminated sites. *Journal of Environmental Sciences*, 21(6), 849–854. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)62351-7](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62351-7)
14. Malematja, E., et al. (2023). The accumulation of heavy metals in feeder insects and implications for food safety. *Science of the Total Environment*, 875, 162676. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162676>
15. Shi, Y. X., et al. (2024). Lead exposure induces oxidative stress and midgut damage in silkworm (*Bombyx mori*) larvae. *Process Biochemistry*, 137, 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2023.12.018>
16. Amorello, D., et al. (2024). Critical evaluation of hazardous pollutants in edible insects. *Food and Chemical Toxicology*, 188, 114631. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2024.114631>
17. Mamahit, J. M. E., & Kolondam, B. J. (2023). A review on fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) insecticide resistance. *International Journal of Research and Review*, 10(5), 146–151. <https://doi.org/10.52403/ijrr.20230519>
18. Tay, W. T., Meagher, R. L., Czepak, C., & Groot, A. T. (2023). *Spodoptera frugiperda*: ecology, evolution, and management options of an invasive species. *Annual Review of Entomology*, 68, 299–317. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120920-075511>
19. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022). Síntesis geográfica del estado de Hidalgo. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825220945>
20. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2023). Programa Hídrico Regional. Región Hidrológica Administrativa del Golfo Norte–Hidalgo. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conagua>.
21. AOAC International. (1995). Official methods of analysis of AOAC International (16th ed.). AOAC International.
22. Kim, S. K., Weaver, C. M., & Choi, M. K. (2017). Proximate composition and mineral content of five edible insects consumed in Korea. *CyTA-Journal of Food*, 15(1), 143–146. <https://doi.org/10.1080/19476337.2016.1223172>
23. Serra GV, Trumper EV. (2006). Sequential sampling protocols for *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), on *Zea mays* fields: influence of sampling unit size. *Bulletin of Entomological Research*. 2006;96(5):471-477. doi:10.1079/BER2006447
24. Hlongwane, Z. T., Siwela, M., Slotow, R., & Munyai, T. C. (2021). Effect of geographical location, insect type and cooking method on the nutritional composition of insects consumed in South Africa. *Journal of Insects as Food and Feed*, 8(5), 537–556. <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0067>
25. Garrido-Ortiz, E. R., & Morales-Camacho, J. I. (2025). Production of protein hydrolysates with antioxidant and antihypertensive activity from edible larvae of *Aegiale hesperiaris* and *Comadia redtenbacheri*. *Foods*, 14(12), 2124. <https://doi.org/10.3390/foods14122124>
26. Adepoju, O. T., & Daboh, O. O. (2013). Nutrient composition of *Cirina forda* (Westwood)-enriched complementary foods. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 63(1–2), 139–144. <https://doi.org/10.1159/000353885>
27. Food and Agriculture Organization of the United Nations, & World Health Organization. (1995). General standard for contaminants and toxins in food and feed (CXS 193-1995). Codex Alimentarius Commission.
28. INECC. (2023). Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/inecc>