



<https://doi.org/10.5154/r.ctasci.2025.05.09>

Versión en español

Harina de gusano blanco de maguey: potencial nutricional y tecno-funcional para el desarrollo de alimentos

Eduardo Rafael Garrido-Ortiz*; Jocksan Ismael Morales-Camacho

Universidad de las Américas Puebla, Departamento de Ingeniería Química,
San Andrés Cholula, Puebla, C. P. 72810, México.

Historial del artículo:

Recibido: 20 de abril, 2025

Aceptado: Octubre 16, 2025

Publicado en línea:

27 de noviembre de 2025

*Autor para correspondencia:

eduardo.garridooz@udlap.mx

Resumen

El presente estudio evalúa el potencial nutricional y tecno-funcional de la harina de *Aegiale hesperiaris* (gusano blanco de maguey), una especie endémica y tradicionalmente consumida en México. Las larvas fueron recolectadas manualmente, liofilizadas y procesadas para obtener harinas no desgrasada y desgrasada. Se determinó la composición proximal en base seca, empleando un factor de conversión de nitrógeno a proteína de 4.76 para evitar sobreestimaciones. Asimismo, se evaluaron propiedades funcionales como capacidad de retención de agua y aceite, capacidad y estabilidad emulsionante, formación y estabilidad de espuma, y solubilidad proteica en función del pH. La harina desgrasada presentó mayor capacidad de retención de agua ($2.82 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$) y aceite ($2.82 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$), así como mejores propiedades emulsionantes (CE: 60.83 %, Ee: 89.36 %). En contraste, la harina no desgrasada mostró superior capacidad espumante. La solubilidad proteica fue mayor en la harina desgrasada en todo el rango de pH evaluado, con un valor máximo de 95.82 % a pH 12. Estos resultados sugieren que el desgrasado mejora la funcionalidad de la harina para su aplicación en alimentos procesados. En ese sentido, la harina de *A. hesperiaris* posee un perfil nutricional adecuado y propiedades funcionales versátiles, lo que respalda su potencial como ingrediente alternativo en productos alimentarios innovadores y sostenibles.

► **Palabras clave:** *Aegiale hesperiaris*, insectos comestibles, harina, proteínas, tecno-funcionalidad.

Introducción

La creciente demanda global de fuentes proteicas sostenibles responde al acelerado incremento poblacional. Según proyecciones de la FAO, para el año 2050 la población mundial alcanzará aproximadamente 9 700 millones de personas, ejerciendo una fuerte presión sobre los sistemas alimentarios actuales (FAO, 2013; Van Huis, 2013). Este panorama ha impulsado la búsqueda de alternativas nutricionalmente eficientes y ambientalmente responsables. En este contexto, los insectos comestibles han emergido como una opción viable debido a su elevado valor nutricional y su producción sostenible (Abril et al., 2022; Wade & Hoelle, 2020). Numerosas especies de insectos destacan por su alto contenido proteico, lípidos benéficos, fibra dietética y micronutrientes esenciales como zinc, hierro y calcio, lo que los convierte

en fuentes densas en nutrientes (Nowakowski et al., 2022). Estudios comparativos revelan que algunos insectos, como los gusanos de la harina, presentan perfiles nutricionales equiparables o incluso superiores a los de carnes convencionales (Costa et al., 2020). Además, la cría de insectos implica menores emisiones de gases de efecto invernadero, menor uso de tierra y agua, y una eficiencia sobresaliente en la conversión de alimento en biomasa comestible, en comparación con la ganadería tradicional. Estas ventajas posicionan a los insectos como una alternativa sustentable y prometedora para fortalecer la seguridad alimentaria global (Belluco et al., 2023; Rumpold & Schlüter, 2013; Van Huis, 2013). La práctica de consumir insectos, conocida como entomofagia, tiene una larga historia en diversas culturas. Se estima que más de 2 000 millones de personas incluyen insectos en sus dietas tradicionales (Khan et al., 2020) y se

han documentado más de 2 100 especies comestibles a nivel mundial. Regiones de Asia, África y América Latina poseen tradiciones entomofágicas arraigadas; por ejemplo, en México, el consumo de insectos se remonta a la época prehispánica y continúa vigente en muchas comunidades (Rodríguez-Ortega et al., 2020; Rostro et al., 2012). Con más de 549 especies registradas, México posee una de las mayores diversidades de insectos comestibles. En estados como Oaxaca e Hidalgo, especies como chapulines, escamoles y gusanos de maguey son ampliamente valoradas, tanto en la cocina tradicional como en la gastronomía contemporánea (Ronquillo-de Jesús et al., 2024).

Sin embargo, en sociedades occidentalizadas, la aceptación de insectos como alimento ha sido limitada debido a barreras culturales y neofobia alimentaria (Siddiqui et al., 2022). A pesar de ello, en años recientes ha aumentado el interés por los insectos comestibles fuera de sus contextos tradicionales, impulsado por sus beneficios nutricionales y ecológicos. Incluso marcos regulatorios como el de la Unión Europea han comenzado a establecer normativas que legitiman su consumo humano (Lähteenmäki-Uutela et al., 2017). En la actualidad, los insectos suelen incorporarse en forma de harinas o polvos, lo que facilita su uso en alimentos procesados y mejora su aceptación al eliminar características sensoriales visuales. Estas harinas concentran proteínas, minerales y vitaminas, y pueden actuar como ingredientes en el desarrollo de productos alimenticios. No obstante, su aprovechamiento industrial requiere el análisis de sus propiedades fisicoquímicas y tecno-funcionales, las cuales pueden variar según la especie (Devi et al., 2022; Pinciroli, 2011).

Por ello, en el presente estudio se propone evaluar las propiedades nutricionales y tecno-funcionales del gusano blanco de maguey (*Aegiale hesperiaris*) como parte de la caracterización del material. Este enfoque permitirá valorar integralmente su potencial como ingrediente alimentario funcional, aportando evidencia científica para su incorporación en sistemas alimentarios sostenibles e innovadores.

Materiales y Métodos

Muestra

La especie *A. hesperiaris* (GB) fue recolectada en estado larvario directamente de las hojas de la planta hospedera del gusano blanco de maguey (*Agave salmiana*), en la región de Actopan, estado de Hidalgo, México. La especie fue sacrificada por congelación y liofilizada con un liofilizador a escala de laboratorio (Triad™ Labconco, 103 EE. UU.). Posteriormente, la muestra se trituró utilizando un procesador de alimentos Nutribullet® a 10 000 rpm durante 15 s, para obtener un tamaño de partícula < 0.15 mm, con el objetivo de evitar el deterioro de la harina obtenida, la muestra se almacenó en bolsas negras (*stand up pouch* herméticas) a -20 °C hasta su uso posterior.

Para obtener harina de gusano blanco desgrasada (GB-D) se siguió la metodología propuesta por Kim et al., (2021) con modificaciones menores. De esta manera, se prepararon suspensiones de harina-solvente (hexano) al 20 % (p/v) en tubos de 50 mL y se mezcló utilizando un agitador de rodillos analógico (Cole-Parmer SRT6D, Fisher Scientific, UK) a 60 rpm y 24 °C durante 6 h. El solvente que contenía grasa se drenó por decantación y el proceso se realizó 3 veces para asegurar una extracción completa.

Análisis proximal y aporte calórico

El contenido de humedad, nitrógeno, lípidos y cenizas se determinó utilizando los métodos oficiales recomendados por la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC, 2012). Así, el contenido de lípidos se determinó utilizando un extractor de Goldfish (E-500 Büchi, Flawil, Switzerland) y hexano como disolvente. El contenido de nitrógeno total se determinó con el método de micro-Kjeldahl (AOAC 945.01), a fin de evitar la sobreestimación del contenido de proteína de GB, se utilizó un factor de conversión de nitrógeno a proteína igual a 4.76 sugerido por Janssen et al. (2017). El calor bruto ($\text{kcal} \cdot 100\text{g}^{-1}$) de la harina de GB se determinó utilizando un calorímetro de bomba de oxígeno (modelo 6050, Parr Instrument Company, EE. UU.), y ácido benzoico como patrón.

Propiedades tecno-funcionales

Solubilidad

La determinación del contenido de proteína en las fracciones solubilizadas de la harina no desgrasada (GB-ND) y desgrasada (GB-D) se realizó mediante el método descrito por Bradford (1976). Para ello, 1.0 g de harina se suspendió en 10 mL de una disolución tampón fosfato 20 mM. El pH de cada muestra se ajustó en un rango de 2 a 12 mediante la adición de HCl 0.1 M o NaOH 0.1 M. Las suspensiones se incubaron a 37 °C durante 45 min y, posteriormente, se centrifugaron a 6 000 rpm durante 15 min a 4 °C. El contenido de proteína en el sobrenadante se determinó mezclando 20 μL de muestra con 200 μL del reactivo de Bradford. La absorbancia se midió a 595 nm utilizando un espectrofotómetro de microplacas UV-Vis (Multiskan Sky, Thermo Scientific, Singapur), para la cuantificación, se utilizó una curva estándar construida con albúmina sérica bovina (BSA, 0-1 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$). El porcentaje de solubilidad se determinó utilizando la siguiente ecuación.

$$\text{Solubilidad (\%)} = \frac{\text{Contenido de proteína del sobrenadante}}{\text{Contenido de proteína total en la muestra}} \times 100 \quad (1)$$

Capacidad de retención de agua y aceite

El método para evaluar la capacidad de retención de agua (CRA) y aceite de las harinas GB-D y GB-ND se basa en la capacidad que tienen las muestras para absorber agua

o aceite durante un lapso determinado. Para evaluar la CRA, se re-suspendieron 0.2 g de harina en 10 mL de agua destilada. La mezcla se agitó en un vórtex durante 60 s y se centrifugó por 20 min a 3000 rpm. Finalmente, el sobrenadante se drenó por decantación y por extracción utilizando una micropipeta. La CRA se expresó como masa de agua (g) por unidad de masa de harina (g). La capacidad de retención de aceite (CRa), se determinó de la misma forma que la CRA, pero sustituyendo el agua por aceite de canola (10 mL). La CRa se expresó como masa de aceite (g) por unidad de masa de harina (g). La CRA y CRa se calculó utilizando la siguiente ecuación.

$$CRA \text{ o } CRa = \frac{P_f - P_i}{P_i} \times 100 \quad (2)$$

Donde: P_i es la masa utilizada inicialmente (g) y P_f es la masa final de la muestra (g).

Capacidad y estabilidad emulsionante

Volumétricamente, se evaluó la capacidad y estabilidad emulsionante de las harinas GB-D y GB-ND, según lo descrito por Vanqa et al. (2022) con modificaciones. Se prepararon suspensiones de harina-agua (0.1 g en 10 mL), luego se añadieron 10 mL de aceite de canola, se mezclaron y se homogeneizaron utilizando un homogeneizador IKA T25 Ultra-Turrax (IKA-Werke GmbH & Co. KG, Staufen, Alemania) a 10 000 rpm por 3 min. Luego las muestras se centrifugaron por 5 min a 4 000 rpm. El volumen de la capa emulsionada se leyó volumétricamente y el resultado se expresó en porcentaje. La estabilidad de la emulsión se evaluó tras dejar las muestras durante 30 min a temperatura ambiente (22 °C), evaluando la estabilidad de la capa emulsionada. La capacidad emulsionante y estabilidad (C_e y E_e) se calcularon según la siguiente ecuación.

$$\text{Capacidad emulsionante } (C_e) = \frac{V_{em}}{V} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{Estabilidad de la emulsión } (E_e) = \frac{V_{em30}}{V_{em}} \times 100 \quad (4)$$

Donde: V_{em} es el volumen de la capa emulsionada y V el volumen total; V_{em30} es el volumen de la capa emulsionada después de 30 min.

Capacidad y estabilidad espumante

La capacidad de formación de espuma (C_{FE}) y la estabilidad espumante (E_{Esp}) se determinó de acuerdo con Vanqa et al. (2022) con algunas modificaciones. Se prepararon suspensiones de harina y agua al 20 % (p/v), posteriormente se mezclaron en un homogeneizador a 10 000 rpm por 4 min. La muestra batida se transfirió a una probeta graduada y el volumen de la espuma se midió al tiempo cero y después de 30 min de la homogeneización. La capacidad de formación de espuma y estabilidad espumante (C_{FE} y E_{Esp}) se calcularon utilizando la siguiente fórmula

$$\text{Capacidad formación de espuma } (C_{FE}) = \frac{V_{esp} - V}{V} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{Estabilidad de la emulsión } (E_{Esp}) = \frac{V_{esp30}}{V} \times 100 \quad (6)$$

Donde: V_{esp} es el volumen de la espuma después del batido, V es el volumen antes del batido; V_{esp30} es el volumen de la espuma trascurrido 30 min.

Análisis estadístico

Todos los datos experimentales se presentaron como media \pm desviación estándar. Se utilizó el software Minitab 18® (Minitab Inc., EE. UU.) para el análisis de varianza de un solo factor (ANOVA) y el análisis significativo (prueba de Tukey). Un valor de $P < 0.05$ indicó que las diferencias eran estadísticamente significativas.

Resultados y Discusión

Como se mencionó anteriormente los insectos fueron recolectados manualmente de la planta hospedera del gusano blanco de maguey (GB) en la región de Actopan



Figura 1. Proceso de recolección para la producción de harina de *A. hesperiaris* (GB)

(20.287683, -98.912330), estado de Hidalgo, México. El proceso comenzó con la identificación visual de las plantas infestadas (orificios irregulares en la base de las pencas, los cuales suelen estar acompañados de exudados vegetales y quemaduras en la superficie de la planta). Estas señales son evidencia de que la larva ha penetrado el tejido vegetal y está activamente alimentándose en el interior de la hoja. Una vez localizada la penca infestada, se procede al corte cuidadoso del tejido con herramientas manuales como cuchillos o machetes, exponiendo así las galerías internas donde se encuentra la larva. En algunos casos, se recogen varias larvas de una sola planta, dependiendo del grado de infestación (Figura 1).

El Cuadro 1 presenta la composición proximal de la harina de GB expresada en base seca. El contenido de proteína fue de 28.11 %, mientras que el contenido de grasa fue 32.63 % ($P \leq 0.05$). El contenido de ceniza y fibra cruda fue de 9.60 y 27.41 % respectivamente. El contenido de nitrógeno obtenido por sustracción representó el 27.41 % de la muestra. En cuanto al valor energético, se estimó el 645.95 kcal·100g⁻¹.

Los resultados de la composición proximal de la harina de GB se expresaron en base seca, lo cual permite una comparación más precisa con otros estudios que han reportado valores nutricionales de insectos comestibles procesados bajo condiciones similares. El contenido de proteína de este trabajo se estimó a partir del contenido total de nitrógeno, utilizando un factor de conversión específico de 4.76, en lugar del valor de 6.25 utilizado en otros estudios bromatológicos. Esta selección se basó en el estudio de Janssen et al. (2017), quienes proponen en dicho factor para insectos, argumentando que el uso de 6.25 sobreestima el contenido real de proteína debido a la presencia de nitrógeno no proteico como quitina, nucleótidos y metabolitos nitrogenados. Por tanto, el valor reportado en este trabajo refleja una estimación más precisa del contenido proteico real del GB. El contenido de proteína obtenido (28.11 %) es consistente con el estudio

de Escamilla-Rosales et al. (2022), quienes reportaron valores entre 27.0 y 33.5 % para GB deshidratado. Por su parte, Melo-Ruiz et al. (2011) indicaron un contenido de proteína de 30.88 % en esta misma especie, aunque es probable que hayan utilizado el factor convencional de 6.25, lo que podría haber derivado en una sobreestimación.

El alto contenido de grasa observado (32.63 %) se encuentra dentro del rango reportado en la literatura para esta especie (27–58 %) y contribuye al valor energético calculado de 645.95 kcal·100 g⁻¹. La presencia de lípidos también ha sido destacada como una característica distintiva de insectos lepidópteros en comparación con otros insectos comestibles, como *Tenebrio molitor*, cuya proporción de grasa es generalmente menor (Martins da Silva et al., 2024). Respecto al contenido de cenizas (2.25 %), este valor sugiere la presencia moderada de minerales, similar a los valores reportados por Rodríguez-Ortega et al. (2020) quienes obtuvieron un contenido de cenizas de 0.82 % en larvas de *Agathymus remingtoni*, mientras que Melo-Ruiz et al. (2011) reportaron valores de hasta 1.35 % en otras especies de insectos comestibles latinoamericanos. Estas diferencias pueden deberse tanto a la especie como al tipo de procesamiento previo, el estado de desarrollo de los insectos, e incluso a factores ambientales y de alimentación. No obstante, el valor aquí reportado para *Aegiale hesperiaris* resalta su riqueza mineral relativa y potencial como fuente complementaria de micronutrientes en formulaciones alimentarias.

El contenido de fibra cruda (9.60 %) es relativamente alto para un insecto, lo que puede atribuirse a la inclusión de quitina en la muestra, como se ha documentado previamente en insectos de cuerpo completo. No obstante, de acuerdo con Rostro et al. (2012), el contenido de fibra puede variar significativamente dependiendo del estadio de desarrollo del insecto (huevo, pupa o larva), reportándose valores que oscilan entre 3.6 y 7.23 %. En ese mismo estudio, se documentaron variaciones en la fibra cruda para diferentes especies, con un rango entre 1.1 y 9.5 %. Así, el perfil proximal obtenido respalda el potencial de

Cuadro 1. Composición proximal y aporte calórico de la harina de *A. hesperiaris* (% base seca).

Muestra	% Proteína	% Grasa	% Ceniza	% Fibra cruda	% ELN	Energía (kcal·100g ⁻¹)
GB	28.11 ± 0.4 b	32.63 ± 0.2 a	2.25 ± 0.7 c	9.60 ± 0.1 d	27.41*	645.95 ± 0.1

GB: Gusano blanco; ELN: Extracto libre de nitrógeno (obtenido por diferencia*). Los valores con diferente letra minúscula dentro de una misma fila son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$).

Cuadro 2. Propiedades tecno-funcionales de la harina no desgrasada y desgrasada de *A. hesperiaris*.

Muestra	CRA (g·g ⁻¹)	CRa (g·g ⁻¹)	CE (%)	Ee (%)	C _{FE} (%)	E _{ESP} (%)
GB-ND	1.75 ± 1.0 ^a	1.85 ± 0.2 ^a	50.00 ± 0.3 ^a	85.00 ± 0.3 ^a	5.50 ± 0.5 ^a	9.42 ± 0.5 ^b
GB-D	2.82 ± 0.7 ^b	2.82 ± 0.1 ^b	60.83 ± 2.8 ^b	89.36 ± 3.1 ^b	2.03 ± 0.2 ^b	6.49 ± 2.5 ^a

GB-ND: harina de gusano blanco no desgrasada; GB-D: harina de gusano blanco desgrasada, CRA: capacidad de retención de agua, CRa: capacidad de retención de aceite, CE: capacidad emulsionante, Ee: estabilidad emulsionante, C_{FE}: Capacidad de formación de espuma y E_{ESP}: estabilidad de formación de espuma. Los valores con diferente letra minúscula dentro de una misma columna indican que existe diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

la harina de *A. hesperiaris* GB como ingrediente funcional en el desarrollo de alimentos enriquecidos, contribuyendo a la diversificación alimentaria como al aprovechamiento de recursos endémicos de alto valor cultural y nutricional.

El Cuadro 2 muestra las propiedades tecno-funcionales de las harinas de GB no desgrasadas (GB-ND) y desgrasadas (GB-D). Se observó que la harina GB-D presentó valores significativamente más altos ($P \leq 0.05$) en la capacidad de retención de agua (CRA) y en la capacidad de retención de aceite (CRa), con valores de $2.82 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ para ambos casos. Mientras que, la harina GB-ND, mostró valores de 1.75 y $1.85 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$, para CRA y CRa, respectivamente. En cuanto a la capacidad emulsionante (CE), la harina GB-D también mostró un valor significativamente mayor (15.83 %) en comparación con la harina GB-ND. De manera similar, se observó un aumento en la estabilidad emulsionante (Ee) tras el proceso de desgrasado (GB-D), alcanzando un valor de 89.36 %, frente al 85 % de la harina sin desgrasar (GB-ND). Por otro lado, la capacidad de formación de espuma (CFE) y la estabilidad de la espuma (E_{esp}) fueron significativamente mayores en la harina GB-ND (3.47 y 2.93 %, respectivamente), en comparación con los valores observados en la harina GB-D.

Las propiedades tecno-funcionales de las harinas de GB evaluadas en este estudio mostraron que el proceso de desgrasado tuvo un impacto significativo en parámetros clave como la capacidad de retención de agua (CRA), aceite (CRa), y la capacidad y estabilidad emulsionante (CE y Ee), al tiempo que redujo notablemente la capacidad y estabilidad espumante.

En particular, la harina desgrasada presentó una mayor CRA (GB-D, $2.82 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$) en comparación con la harina no

desgrasada (GB-ND, $1.75 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$), resultado similar con lo reportado por Cortazar-Moya et al. (2023) para *Arsenura armida*, donde la harina desgrasada alcanzó valores de retención de agua superiores a $2.75 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$. Este comportamiento puede atribuirse a una mayor exposición de grupos polares tras la eliminación de lípidos, lo que favorece la interacción con moléculas de agua (Zhang et al., 2024). Asimismo, la CRA fue más elevada en la harina desgrasada ($2.82 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$), lo cual coincide con estudios en *Gryllus bimaculatus* desgrasado, donde Jeong et al. (2021) observaron que el uso de etanol como solvente mejoró significativamente tanto la retención de aceite como la solubilidad proteica. Estos resultados refuerzan que la eliminación parcial de la fracción lipídica mejora la exposición de las cadenas laterales hidrofóbicas de las proteínas, mejorando su capacidad de retener compuestos lipídicos.

En términos de capacidad emulsionante (CE), la harina desgrasada presentó un valor significativamente mayor (60.83 %), en comparación con la harina no desgrasada (50.0 %). Esto es consistente con lo reportado por Lucas-González et al. (2019) en harinas de *Acheta domesticus*, donde la liofilización y desgrasado favorecieron tanto la formación como la estabilidad de las emulsiones. Además, Zielińska (2022) demostró que las harinas desgrasadas de insectos presentan un mejor rendimiento funcional, destacando la influencia del contenido proteico y la menor interferencia lipídica en la formación de emulsiones estables.

Por el contrario, la capacidad y estabilidad de formación de espuma (C_{FE} y E_{Esp}) fueron mayores. Para GB-ND, lo que sugiere que la fracción lipídica presente en la harina no desgrasada podría contribuir a la formación y mantenimiento de las burbujas, mejorando la estabilidad del sistema espumoso, posiblemente debido a la formación de películas

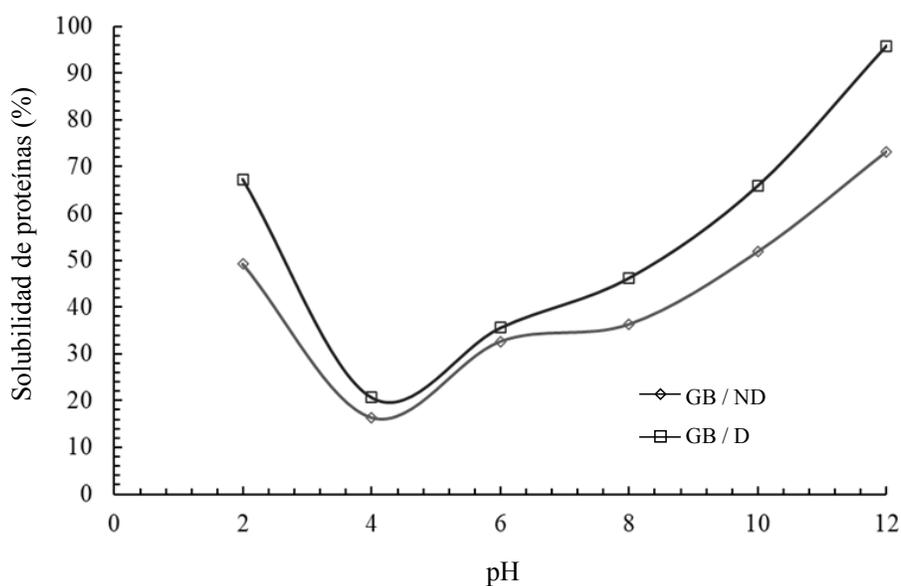


Figura 2. Influencia del pH en la solubilidad proteica de las harinas y concentrados de proteína de *A. hesperiaris*. GB-ND: harina no desgrasada, GB-D: harina desgrasada.

mixtas proteína-lípido en la interfaz aire-agua. Este efecto ha sido reportado por Mshayisa et al. (2022) al comparar harinas y concentrados de *Hermetia illucens*, donde las harinas no desgrasadas mostraron mejor estabilidad espumante bajo ciertas condiciones, lo que refuerza la hipótesis de que los lípidos remanentes pueden desempeñar un papel estructural en la estabilización de espumas.

En general, estos hallazgos indican que el desgrasado de la harina de GB mejora las propiedades relacionadas con la interacción proteína-agua/aceite, lo cual es favorable para aplicaciones como emulsiones, aderezos o análogos cárnicos. Por otro lado, la harina no desgrasada (GB-ND) podría ser más adecuada en formulaciones que requieren cierta capacidad espumante, como productos panificados o batidos aireados. Esta diferenciación funcional resulta clave para definir aplicaciones tecnológicas específicas de cada fracción, considerando su desempeño en matrices alimentarias. condiciones de pH y concentración proteica.

La Figura 2 muestra la influencia del pH en la solubilidad de proteínas de las harinas no desgrasadas (GB-ND) y desgrasadas (GB-D) de *Aegiale hesperiaris*. En ambas muestras, la solubilidad presentó un comportamiento típico de las proteínas, con un punto isoeléctrico cercano al pH 4, donde se observaron los valores más bajos de solubilidad, 16.43 % para GB-ND y 20.68 % para GBD. A valores extremos de pH (ácido y alcalino), la solubilidad proteica aumentó significativamente. A pH 2, la harina GB-D mostró una mayor solubilidad (18.07 %) respecto a la harina GB-ND. Este patrón se mantuvo a lo largo de la curva, siendo más pronunciado a pH alcalino donde, a pH 12, se alcanzaron los valores máximos de solubilidad, 95.82 % en GB-D y 73.24 % en GB-ND. Este comportamiento puede atribuirse a la exposición de grupos cargados en las proteínas bajo condiciones alejadas del punto isoeléctrico, lo que favorece su interacción con el medio acuoso. Además, la mayor solubilidad observada en la GB-D en todo el rango de pH sugiere que la eliminación de lípidos mejora la accesibilidad y dispersión de las proteínas en solución, probablemente debido a la reducción de interacciones hidrofóbicas que limitan la solvatación de las proteínas.

La solubilidad de proteínas en función del pH mostró el comportamiento típico de las proteínas globulares, con un mínimo de solubilidad cercano al punto isoeléctrico (pH ~4) y un incremento significativo a valores extremos de pH. En el presente estudio, la harina desgrasada (GB-D) presentó mayores porcentajes de solubilidad proteica a lo largo de todo el rango de pH evaluado, alcanzando un valor máximo de 95.82 % a pH 12, en comparación con la harina no desgrasada (GB -ND), que mostró un máximo de 73.24 % en las mismas condiciones. Este patrón es coherente con lo reportado por Kim et al. (2017), quienes observaron que la solubilidad proteica de la harina de *Acheta domesticus* se incrementa significativamente a medida que el pH se aleja del punto isoeléctrico, con valores máximos

a pH extremos (60 y 120 % respectivamente). Asimismo, Ndiritu et al. (2019), describieron un comportamiento similar en concentrados proteicos de *Acheta domesticus*, con baja solubilidad entre pH 4–6 y una recuperación significativa de solubilidad por encima de pH 8.

La mayor solubilidad observada en la harina GB-D en este estudio también ha sido documentada en otras especies, como *Gryllus bimaculatus* y *Tenebrio molitor*, donde la eliminación de lípidos mejora el acceso de las proteínas al medio acuoso y reduce las interacciones hidrofóbicas internas que limitan la dispersión de las proteínas en solución (Bußler et al., 2016; Jeong et al., 2021). Además, el estudio de Villaseñor et al. (2022) destacan que el desgrasado es un paso crucial para mejorar el rendimiento de extracción y funcionalidad de las proteínas de insecto, facilitando su aplicación en alimentos funcionales. En el caso específico de *Aegiale hesperiaris*, estos resultados aportan evidencia sobre su alto potencial como fuente de proteínas funcionales, particularmente si se consideran estrategias de procesamiento como el desgrasado, que favorece su solubilidad en matrices alimentarias con pH variable. Este parámetro es esencial en el diseño de productos emulsionados, bebidas proteicas o suplementos alimenticios, donde se requiere buena dispersión y estabilidad proteica.

Conclusión

La harina del gusano blanco de maguey (*A. hesperiaris*) mostró un perfil nutricional equilibrado y propiedades tecno-funcionales destacadas, que respaldan su uso como ingrediente en el desarrollo de alimentos funcionales. El desgrasado mejoró significativamente la capacidad de retención de agua y aceite, así como las propiedades emulsionantes, mientras que la harina no desgrasada presentó mejor capacidad espumante. Además, la solubilidad proteica fue mayor en la harina desgrasada en todo el rango de pH evaluado, lo que refuerza su versatilidad en diferentes aplicaciones alimentarias. Estos resultados confirman el potencial de esta especie como fuente proteica funcional en sistemas alimentarios sostenibles.

Referencias

- AOAC International. (2012). *Official Methods of Analysis* (19^a ed.). Gaithersburg, MD: AOAC International
- Abril, S., Pinzón, M., Hernández-Carrión, M., & Sánchez-Camargo, A. del P. (2022). Edible Insects in Latin America: A Sustainable Alternative for Our Food Security. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.904812>
- Belluco, S., Bertola, M., Montarsi, F., Di Martino, G., Granato, A., Stella, R., Martinello, M., Bordin, F., & Mutinelli, F. (2023). Insects and Public Health: An Overview. *Insects*, 14(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/insects14030240>
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of

- protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1), 248–254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Bußler, S., Rumpold, B. A., Jander, E., Rawel, H. M., & Schlüter, O. K. (2016). Recovery and techno-functionality of flours and proteins from two edible insect species: Meal worm (*Tenebrio molitor*) and black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Heliyon*, 2(12). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2016.e00218>
- Cortazar-Moya, S., Mejía-Garibay, B., López-Malo, A., & Morales-Camacho, J. I. (2023). Nutritional composition and techno-functionality of non-defatted and defatted flour of edible insect *Arsenura armida*. *Food Research International*, 173, 113445. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113445>
- Costa, S., Pedro, S., Lourenço, H., Batista, I., Teixeira, B., Bandarra, N. M., Murta, D., Nunes, R., & Pires, C. (2020). Evaluation of *Tenebrio molitor* larvae as an alternative food source. *NFS Journal*, 21, 57–64. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2020.10.001>
- Devi, W. D., Bonysana, R., Kapesa, K., Rai, A. K., Mukherjee, P. K., & Rajashekar, Y. (2022). Potential of edible insects as source of functional foods: Biotechnological approaches for improving functionality. *Systems Microbiology and Biomanufacturing*, 2(3), 461–472. <https://doi.org/10.1007/s43393-022-00089-5>
- Escamilla-Rosales, M. F., Castañeda-Antonio, D., Ramos-Cassellis, M. E., López-Contreras, L., Ramírez-Moreno, E., Del S. Cruz-Cansino, N., Vargas-Bello-Pérez, E., Betanzos-Cabrera, G., Díaz-Reyes, J., & Ariza-Ortega, J. A. (2022). Effect of dehydration and butter-frying on chinicuil (*Comadia redtenbacheri* Hammershmidt) and maguey white worm (*Aegiale hesperiaris* Walker). *Journal of Insects as Food and Feed*, 8(1), 75–84. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0154>
- FAO, F., & A. O. of the U. N. (2013). *The Contribution of Insects to Food Security, Livelihoods and the Environment*. FAO. <https://www.fao.org/fsnforum/resources/reports-and-briefs/contribution-insects-food-security-livelihoods-and-environment>
- Janssen, R. H., Vincken, J. P., Van Den Broek, L. A. M., Fogliano, V., & Lakemond, C. M. M. (2017). Nitrogen-to-Protein Conversion Factors for Three Edible Insects: *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, and *Hermetia illucens*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(11), 2275–2278. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00471>
- Jeong, M. S., Lee, S. D., & Cho, S. J. (2021). Effect of Three Defatting Solvents on the Techno-Functional Properties of an Edible Insect (*Gryllus bimaculatus*) Protein Concentrate. *Molecules*, 26(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/molecules26175307>
- Khan, M., Hsu, P. C., Roy, M., Khan, Z., Sharma, R., & Srivastava, H. (2020). *Insects as a source of food for human hunger: A glimpse of hope for the future*. 5, 16–27.
- Kim, H. W., Setyabrata, D., Lee, Y., Jones, O. G., & Kim, Y. H. B. (2017). Effect of House Cricket (*Acheta domesticus*) Flour Addition on Physicochemical and Textural Properties of Meat Emulsion Under Various Formulations. *Journal of Food Science*, 82(12), 2787–2793. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13960>
- Kim, T. K., Yong, H. I., Kim, Y. B., Jung, S., Kim, H. W., & Choi, Y. S. (2021). Effects of organic solvent on functional properties of defatted proteins extracted from *Protaetia brevitarsis* larvae. *Food Chemistry*, 336, 127679. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127679>
- Lähteenmäki-Uutela, A., Grmelová, N., Hénault-Ethier, L., Deschamps, M. H., Vandenberg, G. W., Zhao, A., Zhang, Y., Yang, B., & Nemane, V. (2017). Insects as Food and Feed: Laws of the European Union, United States, Canada, Mexico, Australia, and China. *European Food and Feed Law Review*, 12(1), 22–36.
- Lucas-González, R., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. A., & Viuda-Martos, M. (2019). Effect of drying processes in the chemical, physico-chemical, techno-functional and antioxidant properties of flours obtained from house cricket (*Acheta domesticus*). *European Food Research and Technology*, 245(7), 1451–1458. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03301-4>
- Martins da Silva, R., Köhler, A., de Cássia de Souza Schneider, R., Prado de Vargas, D., Lúcia Köhler, A., da Costa e Silva, D., & Soares, J. (2024). Proximate and fatty acid profile analysis of *Tenebrio molitor* and *Zophobas morio* using different killing methods. *Food Chemistry*, 445, 138719. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138719>
- Melo-Ruiz, V., Garcia, M., Sandoval, H., Jiménez, H. D., & Calvo, C. (2011). Quality proteins from edible indigenous insect food of latin America and Asia. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 23, 283–289.
- Mshayisa, V. V., Van Wyk, J., & Zozo, B. (2022). Nutritional, Techno-Functional and Structural Properties of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Flours and Protein Concentrates. *Foods*, 11(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/foods11050724>
- Ndiritu, A. K., Kinyuru, J. N., Gichuhi, P. N., & Kenji, G. M. (2019). Effects of NaCl and pH on the functional properties of edible crickets (*Acheta domesticus*) protein concentrate. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(3), 1788–1796. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00097-5>
- Nowakowski, A. C., Miller, A. C., Miller, M. E., Xiao, H., & Wu, X. (2022). Potential health benefits of edible insects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(13), 3499–3508. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1867053>
- Pinciroli, M. (2011). *Proteínas de arroz: Propiedades estructurales y funcionales* [Magister en Tecnología e Higiene de los Alimentos, Universidad Nacional de La Plata]. <https://doi.org/10.35537/10915/1828>
- Rodríguez-Ortega, L. T., González-Hernández, H., Valdez-Carrasco, J. M., Pro-Martínez, A., González-Cerón, F., & Rodríguez Ortega, A. (2020). The Nutritional quality of the white worm (*Agathymus remingtoni* Stallings & Turner Lepidoptera: Hesperidae) of maguey lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torrey). *Agro Productividad*, 13(8). <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1734>
- Ronquillo-de Jesús, E., Aguilar-Méndez, M. A., Rodríguez-Ortega, L. T., & San Juan-Lara, J. (2024). *Entomophagy in Mexico: Current trends and outlook*. <https://doi.org/10.1163/23524588-00001149>
- Rostro, B. R., Salazar, B. Q., Ramos-Elorduy, J., Pino, J. M., & Campos, S. C. Á. (2012). *Análisis químico y nutricional de tres insectos comestibles de interés comercial en la Zona Arqueológica del Municipio de San Juan Teotihuacán y en Otumba, en el Estado de México*. 37.
- Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013). Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 17, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.11.005>

- Siddiqui, S. A., Zannou, O., Karim, I., Kasmia, Awad, N. M. H., Golaszewski, J., Heinz, V., & Smetana, S. (2022). Avoiding Food Neophobia and Increasing Consumer Acceptance of New Food Trends—A Decade of Research. *Sustainability*, *14*(16), Article 16. <https://doi.org/10.3390/su141610391>
- Van Huis, A. (2013). Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security. *Annual Review of Entomology*, *58*(1), 563–583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>
- Vanqa, N., Mshayisa, V. V., & Basitere, M. (2022). Proximate, Physicochemical, Techno-Functional and Antioxidant Properties of Three Edible Insect (*Gonimbrasia belina*, *Hermetia illucens* and *Macrotermes subhyalinus*) Flours. *Foods*, *11*(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/foods11070976>
- Villaseñor, V. M., Enriquez-Vara, J. N., Urías-Silva, J. E., & Mojica, L. (2022). Edible Insects: Techno-functional Properties Food and Feed Applications and Biological Potential. *Food Reviews International*, *38*(sup1), 866–892. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1890116>
- 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>
- Zhang, F., Li, X., Zhao, Z., Kong, B., Cao, C., Zhang, H., Shao, J., & Liu, Q. (2024). Changes of structural characteristics, functional properties and volatile compounds of *Tenebrio molitor* larvae protein after sustainable defatting process: Influence of the different volume ratios of n-hexane to ethanol. *Food Research International*, *195*, 114974. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114974>
- Zielińska, E. (2022). Evaluating the Functional Characteristics of Certain Insect Flours (Non-Defatted/Defatted Flour) and Their Protein Preparations. *Molecules*, *27*(19), Article 19. <https://doi.org/10.3390/molecules271919000>