

Propiedades tecnofuncionales y digestibilidad proteica de harina de grillo *Acheta domesticus* entera y desgrasada por fluidos supercríticos

Dávalos-Vázquez Alejandro¹, Lorena Moreno-Vilet¹, Óscar Abel Sánchez-Velázquez¹, Gustavo Castillo-Herrera¹, Judith Esmeralda Urías-Silva¹ y Luis Mojica^{1*}

¹Tecnología Alimentaria, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Camino Arenero #1227, Col. El Bajío Arenal, 45019 Zapopan, Jalisco, Mexico.

*Autor de correspondencia: lmojica@ciatej.mx

Palabras clave:

entomofagia, proteínas alternativas, proteína, tecnologías verdes

Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad, 2(2), 15-27. ISSN. 3061-709X. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12761387>

Recibido: 17 abril 2024
Revisado: 03 de junio 2024
Aceptado: 17 de julio 2024
Publicado: 18 de julio 2024



Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia CC BY-NC-SA 4.0. Para ver una copia de esta licencia visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Resumen

La harina de grillo *Acheta domesticus* se postula como una fuente alternativa de proteína. El objetivo de este trabajo fue describir las propiedades tecnofuncionales y la digestibilidad proteica de la harina de grillo *Acheta domesticus* desgrasada (HGS) y sin desgrasar (HG). Se evaluó su capacidad y estabilidad emulsionante, gelificación, retención de agua/aceite y capacidad espumante en diferentes condiciones de pH. Se encontró que la HGS tenía una mejor actividad emulsionante y mayor estabilidad de emulsión a pH 3.0. Además, HGS mostró mayor retención de agua/aceite. Se observó gelificación en soluciones al 30%. HGS mostró una mayor capacidad de espumado a pH 7.0 del 83.33% y una estabilidad de espumado del 54.7%. No hubo diferencias significativas en la digestibilidad proteica entre HGS y HG. La harina de grillo desgrasada presenta mejores propiedades tecnofuncionales, lo que la hace potencialmente útil en la formulación de alimentos para mejorar su perfil nutricional.

Introducción

Los insectos han formado parte de la dieta de los humanos desde la antigüedad. En diferentes culturas alrededor del mundo como México, China, Perú, Colombia y Tailandia siguen siendo consumidos de forma cotidiana, siendo una práctica conocida como entomofagia (Liceaga, 2022; Villaseñor *et al.*, 2022). Los insectos brindan una gran cantidad de macronutrientes, destacando las proteínas, que por su contenido de aminoácidos esenciales es



comparable con la carne, postulando a la entomofagia como una fuente alternativa de proteína de alto valor biológico (Liceaga, 2022).

El grillo común (*Acheta domestica*), perteneciente al orden Ortóptera, es rico en proteínas, contiene del 41.8 al 75.2% en base seca. Comparado con otras especies de grillos, es quien posee un mayor contenido de proteína (Liceaga, 2022; Ververis *et al.*, 2022). Los principales aminoácidos esenciales que podemos encontrar en grillos son la leucina, lisina y valina; mientras que no esenciales, el ácido glutámico, alanina y ácido aspártico (Brogan, 2018). Su contenido de lípidos puede variar de 7.5-35% dependiendo la dieta y la etapa de vida en la que se encuentre (Ververis *et al.*, 2022).

Los grillos son procesados para generar ingredientes ricos en proteína, utilizando métodos como congelación, secado, molido y tamizado, necesarios para la obtención de harina de grillo, siendo estas presentaciones en la que principalmente se comercializan (Turck *et al.*, 2022). Sin embargo, para aumentar el contenido de proteína de la harina es necesario emplear procesos como el desgrasado para eliminar la grasa. La mayoría de los procesos de desgrasado reportados en insectos involucran el uso de solventes como hexano o n-pentano, los cuales pueden ser dañinos para la salud y para el medio ambiente (Bose *et al.*, 2021; Psarianos *et al.*, 2022).

Una alternativa al desgrasado con solventes es la tecnología de fluidos supercríticos que consiste en utilizar dióxido de carbono (CO₂) a altas presiones como solvente para la extracción de compuestos como lípidos, compuestos fenólicos y alcaloides (Ibáñez *et al.*, 2015; Pushpangadan & George, 2012). Esta tecnología es considerada una alternativa sustentable para producir ingredientes y compuestos bioactivos de fuentes naturales debido a la naturaleza no polar del CO₂, y se postula como una alternativa al uso de solventes como el hexano en fuentes alimenticias, incluyendo los insectos (Fornari, 2016; Sipponen *et al.*, 2018).

En la actualidad la industria alimentaria está empezando a innovar en la formulación de nuevos productos al incluir ingredientes a base de insectos, añadiendo ingredientes de grillo en productos como pan, harinas, yogur, helado, pasta, *snacks*, carnes y sustratos fermentables, entre otros. Gracias a las características tecnofuncionales y nutrimentales que poseen los ingredientes a base de insectos, se busca enriquecer los alimentos incrementando su contenido de proteína (Bisconsin-Júnior *et al.*, 2022; Villaseñor *et al.*, 2021).

Debido a la escasa información disponible y la limitada aplicación de la tecnología de fluidos supercríticos en insectos, el objetivo de este trabajo fue describir las propiedades tecnofuncionales y digestibilidad proteica de la harina de grillo *Acheta domestica* entera y desgrasada utilizando extracción por fluidos supercríticos.



Metodología

Materiales y reactivos

La harina de grillo (HG) (*Acheta domestica*) fue donada por la empresa Cricckex® (Zapopan, México). Es un polvo de color café claro obtenido por deshidratación, molienda y tamizado de los grillos enteros. Ácido cítrico, hidróxido de sodio, ácido clorhídrico, ácido acético, acetato de sodio, bifosfato de sodio, fosfato disódico, caseinato de potasio, tripsina, quimotripsina y peptidasa fueron comprados en Sigma Aldrich (MO, EUA). El aceite de girasol fue comprado en una tienda local.

Los análisis bromatológicos fueron realizados en cada muestra de acuerdo con las siguientes normatividades: humedad NMX-F-083-1996, cenizas NMX-F607-NORMEX-2020, grasa NOM-086-SSA1-1994, proteína NMX-F-608-NORMEX-2011, fibra cruda NMX-F-613-NORMEX-2017, fibra dietética, soluble e insoluble NMX-622-NORMEX-2008. Los hidratos de carbono totales fueron calculados por diferencia de análisis proximal.

Desgrasado por extracción de fluidos supercríticos (SFE)

Se colocaron alrededor de 2 kg de harina de grillo en un extractor de fluidos supercríticos Thar Technologies-Water-SFE-500® MR (Thar Designs, Inc., PA, EUA.). El dióxido de carbono se bombeó a un flujo constante de 10-30 g/min durante una presión de 300-450 bar durante 8-12 h a 30-80 °C. La harina desgrasada se etiquetó como HGS y se almacenó a -5 °C hasta su posterior análisis.

Propiedades tecnofuncionales

Actividad y estabilidad de emulsión

La actividad de la emulsión (AE) se evaluó según la metodología reportada por Alfaro-Diaz *et al.* (2021) y Villaseñor *et al.* (2022) con modificaciones. Se realizaron soluciones de HGS y HG al 2.5% (p/v) mezclando en buffer citrato (pH 3.0), buffer acetato (pH 4.0), buffer acetato (pH 5.0) y buffer fosfato (pH 7.0). Se centrifugó a 3,000 g por 5 min, se tomaron 2 mL de sobrenadante y se mezcló con aceite de girasol en una relación 1:1 en un tubo cónico de 15 mL. Las muestras se emulsionaron a 20,000 rpm con un homogeneizador (Ultra Turrax® IKA T25, Carolina del Norte, EUA.) y se centrifugaron a 400 g por 5 min. La actividad de la emulsión se midió como la altura de la capa emulsionada entre la altura de la solución total usando la ecuación 1.

$$AE(\%) = \frac{\text{altura de la capa emulsificada}}{\text{altura de la solución total}} \times 100 \quad [1]$$



La estabilidad de emulsión (EE) de las muestras se realizó calentando las emulsiones durante 30 min a 80 °C. Posteriormente, los tubos se centrifugaron a 400 g por 5 min. Los resultados se calcularon con la ecuación 1.

Retención de agua y aceite

La capacidad de retención de agua (RA) y capacidad de retención de aceite (RE) se evaluó según la metodología reportada por Alfaro-Díaz *et al.* (2021) y Villaseñor *et al.* (2022). Se realizaron soluciones de HGS y HG al 1% (p/v) en agua o aceite de girasol agitados por 30 s en vortex. Las soluciones fueron centrifugadas a 1,240 g por 10 min y decantadas. El resultado fue expresado en gramos de agua/aceite retenido por gramo de muestra.

Gelificación

La capacidad gelificante (CG) se evaluó según la metodología reportada por Alfaro-Díaz *et al.* (2021) y Villaseñor *et al.* (2022) con modificaciones. Se realizaron soluciones de HGS y HG a diferentes concentraciones (5-30% p/v) en tubos de 15 mL. Las soluciones fueron calentadas en termobañó a 80 °C por 1 h y refrigerados a 4 °C por 2 h. La identificación de concentración mínima de gel fue determinada por inversión de los tubos.

Actividad espumante

La capacidad espumante (CE) y la estabilidad espumante (EES) se evaluaron según la metodología reportada por Alfaro-Díaz *et al.* (2021) y Villaseñor *et al.* (2022) con modificaciones. Se realizaron soluciones de HGS y HG al 1% (p/v) utilizando los buffers mencionados con anterioridad a pH 3.0, 4.0, 5.0 y 7.0. Se centrifugaron a 400 g por 5 min, se tomaron 5 mL de cada solución y se homogeneizaron a 13,000 rpm durante 1 min. La espuma se midió a tiempo cero y después de 30 min. La CE se midió como la altura de la espuma entre el volumen inicial de acuerdo con la ecuación 2.

$$CE(\%) = \frac{\text{altura de la espuma}}{\text{altura del volumen inicial}} \times 100 \quad [2]$$

Digestibilidad proteica *in vitro*

La digestibilidad proteica de HGS y HG fue determinada por la metodología reportada por Sandoval-Oliveros y Paredes-López (2013) utilizando caseína (Cas) como control. Se realizaron soluciones con un volumen de 50 mL de HGS y HG a una concentración de 6.25 mg/mL, las soluciones se ajustaron a pH 8.0 utilizando HCl y NaOH. Se agregaron 5 mL de solución multienzimática (1.6 mg/mL de tripsina, 3.1 mg/mL de quimotripsina y 1.3 mg/mL de peptidasa) y fueron incubadas en



termobañó con agitación constante a 37 °C por 10 min. Las soluciones fueron inmediatamente enfriadas con hielo y se midió el pH para determinar el porcentaje de solubilidad utilizando la ecuación 3.

$$y = 210.464 - 18.3x \quad [3]$$

Análisis estadístico

Cada unidad experimental fue tomada de un lote de harina de grillo. Los tratamientos fueron ejecutados por triplicado. Los resultados fueron reportados como promedio y desviación estándar (DS). Los resultados se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) de una vía con un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$) y las diferencias entre tratamientos se determinaron mediante la prueba de Tukey. Las pruebas analíticas fueron ejecutadas en STATGRAPHICS Centurion XV.II.

Resultados y discusión

Composición nutrimental

La Tabla 1 muestra la composición nutrimental de HGS y HG, donde los principales parámetros donde se observaron diferencias son proteína y grasa. Como se esperaba, HGS mostró un mayor contenido de proteína y un menor contenido de grasa comparado con HG. La eficiencia de desgrasado para HGS fue de 84.88%, el cual es un valor superior al reportado por Sipponen *et al.* (2018) de 79% utilizando un flujo de CO₂ 12.5 L/h, con una temperatura de 40-46 °C a una presión de 300 bar.

Tabla 1. Composición nutrimental de harinas de grillo

Parámetro (%)	HG	HGS
Humedad	3.94 ± 0.06 ^A	3.84 ± 0.04 ^A
Cenizas	4.01 ± 0.01 ^B	5.05 ± 0.01 ^A
Grasa	22.74 ± 0.05 ^A	3.44 ± 0.02 ^B
Proteína	58.06 ± 0.04 ^B	77.38 ± 0.05 ^A
Hidratos de carbono totales	11.25 ± 0.08 ^A	10.29 ± 0.01 ^B
Fibra cruda	5.27 ± 0.04 ^B	8.21 ± 0.03 ^A
Fibra dietética total	11.16 ± 0.04 ^A	10.16 ± 0.01 ^B
Fibra dietética soluble	0.14 ± 0.01 ^A	<0.1 ± 0.00 ^B
Fibra dietética insoluble	11.02 ± 0.04 ^A	10.16 ± 0.01 ^B

HG: harina de grillo, HGS, harina de grillo desgrasada por hexano, HGS: harina de grillo desgrasada por extracción de fluido supercrítico. Los resultados se expresaron como media ± desviaciones estándar. Diferentes letras indican diferencias significativas entre las muestras ($p < 0.05$) de acuerdo a la prueba de Tukey.

El contenido de grasa disminuyó de 22.74% ± 0.05 en HG a 3.44% ± 0.02 en HGS. Sipponen *et al.* (2018) reportan un mayor contenido de grasa de 4.8% tras el desgrasado. Mayores contenidos de grasa en harina de grillo desgrasada han sido reportados por otros autores utilizando solventes. Tzompa-Sosa *et al.* (2014) reportan



un contenido de grasa del 6% utilizando método Soxhlet; por otro lado, Ndiritu *et al.* (2017) reportan un contenido de 6.46% utilizando hexano 1:5 (p/v).

El contenido de proteína aumentó de $58.06\% \pm 0.04$ en HG a 77.38 ± 0.05 en HGS. Sipponen *et al.* (2018) reportan un menor contenido de proteína del 60% tras el desgrasado con CO₂. Otros autores reportan contenidos similares de proteína en harina de grillo desgrasada con solventes. Bolat *et al.* (2021) reportan contenido de proteína 79-81% tras desgrasar con hexano con extracción asistida por altas presiones hidrostáticas utilizando diferentes presiones y temperaturas. Ndiritu *et al.* (2017) reportan un contenido de proteína 72.63% tras desgrasar con hexano; mientras que Turck *et al.* (2022), un contenido de proteína de 75.3% en harina parcialmente desgrasada con hexano.

El contenido de proteína fue determinado por el método de Kjeldahl utilizando un factor de conversión de nitrógeno de 6.25; sin embargo, el contenido de proteína podría verse sobreestimado debido al contenido nitrógeno no proteico presente en la quitina. Boulos *et al.* (2020) proponen un factor de conversión de nitrógeno de 5.33 para harinas y 5.6 para aislados de proteína de insectos, y específicamente un factor de conversión de 5.25 para *Acheta domesticus*, esto basado en revisiones bibliográficas del contenido de aminoácidos. Ritvanen *et al.* (2020) proponen un factor de conversión de nitrógeno de 5 para dos especies de grillos (*Acheta domesticus* y *Grillus bimilicus*), esto tras analizar el contenido de nitrógeno y aminoácidos.

El contenido de fibra dietética total disminuyó de $11.6\% \pm 0.04$ en HG a $10.16\% \pm 0.01$ en HGS tras el desgrasado, afectando consigo el contenido de fibra soluble e insoluble que también se ven disminuidos tras el desgrasado, esto podría deberse al tipo de polisacáridos que podría estar ligado a la grasa. Inversamente, el contenido de fibra cruda se ve aumentado de $5.27\% \pm 0.04$ en HG a $8.21\% \pm 0.03$ en HGS, esto puede estar relacionado al contenido de quitina, aumentando su proporción tras el desgrasado.

Propiedades tecnofuncionales

Actividad y estabilidad de emulsión

La Figura 1 A) muestra que no existe diferencias significativas en la AE entre HG y HGS a pH 3 y pH 5; sin embargo, en la Figura 1 B) se puede observar que HGS a pH 3.0 muestra una EE del 100% comparada con HG y HGS a pH 3.0 y pH 5.0. Kim *et al.* (2017) reportan una AE de 45% en soluciones a 2.1 M de NaOH. Para EE Lucas-González *et al.* (2019) reportan 95% de estabilidad en harina liofilizada, similar a lo observado en este trabajo.

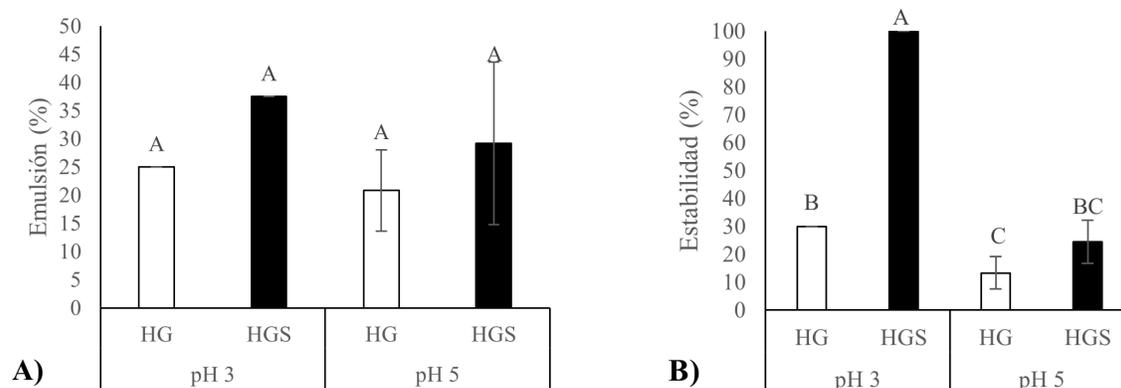


Figura 1. A) Actividad de emulsión de HG y HGS. B). Estabilidad de emulsión 30 minutos después. HG: harina de grillo, HGS: harina de grillo desgrasada por fluido supercrítico. Los resultados se expresaron como media \pm desviaciones estándar. Diferentes letras indican diferencias significativas entre las muestras ($p < 0.05$) de acuerdo a la prueba de Tukey.

El aumento de EE en HGS podría estar relacionado al bajo contenido de grasa, permitiendo una mayor interacción de las grasas entre las regiones hidrofílicas e hidrofóbicas de los aminoácidos (Purschke *et al.*, 2018).

Retención de agua y aceite

La Figura 2 muestra la capacidad de retención de agua (A) y aceite (B), para ambas pruebas HGS mostró una mayor capacidad de retención. Lucas-González *et al.* (2019) reportan una RA 2.86 g/g de muestra y una RE de 3.21 g/g de muestra, siendo muy similar a lo observado para HGS para retención de agua. El aumento en el contenido de proteína en HGS podría estar relacionado con el aumento de RA y RE, ya que la concentración de proteína, conformación de proteínas y el perfil de aminoácidos pueden afectar la retención (Verhoeckx *et al.*, 2014).

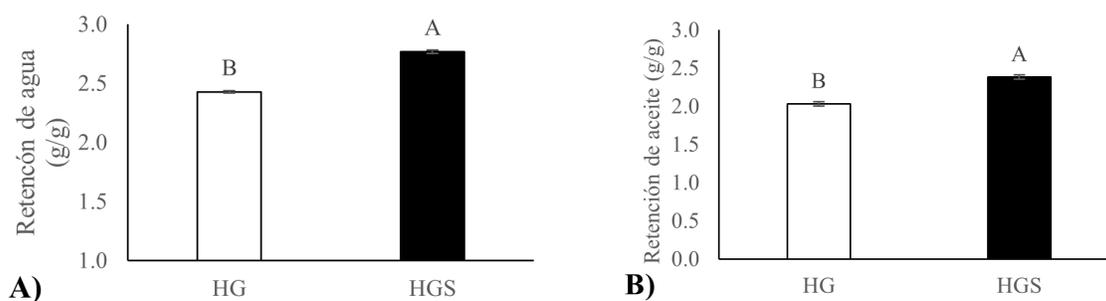


Figura 2. A) retención de agua (RA) en HG y HGS. B) retención de aceite (RE) en HG y HGS. HG: harina de grillo, HGS: harina de grillo desgrasada por fluido supercrítico. Los resultados se expresaron como media \pm desviaciones estándar. Diferentes letras indican (Villaseñor *et al.*, 2021) diferencias significativas entre las muestras ($p < 0.05$) de acuerdo a la prueba de Tukey.

Gelificación

La Tabla 2 muestra la capacidad gelificante de HG y HGS, observando aparición de gel hasta una concentración del 30% (p/v). Yi *et al.* (2013) mencionan la aparición



de gel en concentraciones mayores de 30% de proteína de grillo en pH neutro o alcalino, siendo similar a lo observado en este trabajo. La capacidad gelificante está relacionada a la capacidad de agregación de las proteínas debido a las interacciones de los puentes disulfuro e interacciones hidrofóbicas (Purschke *et al.*, 2018; Yi *et al.*, 2013). La aparición de gel en este trabajo podría estar relacionado al procesamiento y a la desnaturalización de las proteínas generadas por el tratamiento térmico (Villaseñor *et al.*, 2021).

Tabla 2. Concentración mínima para la formación de gel

Muestra	Concentración (p/v)					
	5%	10%	15%	20%	25%	30%
HG	X	X	X	X	X	O
HGS	X	X	X	X	X	O

X: sin formación de gel, O: formación de gel. HG: harina de grillo, HGS: harina de grillo desgrasada por fluido supercrítico.

Capacidad espumante y estabilidad

La Figura 3 A) muestra la CE a diferente pH, observándose una mayor capacidad espumante en HGS a pH 7.0, HG a pH 3.0 no mostró capacidad espumante. Así mismo, HGS a pH 7.0 mostró una mayor EES después de 30 min (Figura 3 B). Este comportamiento podría estar relacionado a estar cerca de un pH alcalino donde existe una mayor solubilidad de proteína. Yi *et al.* (2013) mencionan una mayor CE a pH 3.0; sin embargo, no se observó CE a pH 3.0 en este trabajo. Lucas-González *et al.* (2019) reportan una EES de 75% en harina liofilizada, mayor a lo observado en este trabajo. El aumento en CE y EES para HGS podría estar relacionado a una posible alteración en la estructura de las proteínas generadas por la aplicación de presión en el proceso de desgrasado, la cual podría afectar la hidrofobicidad de la superficie de las proteínas (Mishyna *et al.*, 2021; Sipponen *et al.*, 2018).

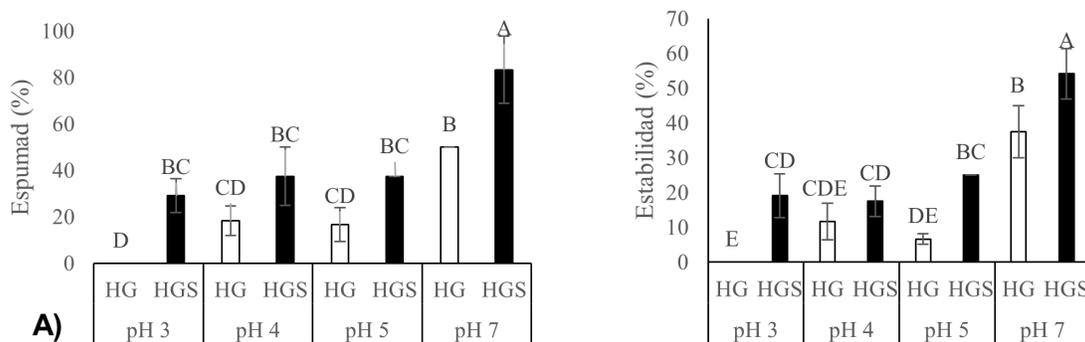


Figura 3. A) Capacidad espumante de HG y HGS. B) Estabilidad de espumado 30 minutos después. HG: harina de grillo, HGS: harina de grillo desgrasada por fluido supercrítico. Los resultados se expresaron como media \pm desviaciones estándar. Diferentes letras indican diferencias significativas entre las muestras ($p < 0.05$) de acuerdo a la prueba de Tukey.

Digestibilidad proteica *in vitro*

La Figura 4 muestra la digestibilidad proteica *in vitro* de HG y HGS comparada con caseína. No hay diferencia significativa en la digestibilidad proteica de HG y HGS, lo cual podría indicar que el proceso de desgrasado por SFE y la grasa en sí no afectan a la digestibilidad de la proteína. Valores similares de digestibilidad proteica se pueden encontrar en chícharo, frijol, lenteja, sorgo, cáñamo y concentrado de proteína de avena (Kaur *et al.*, 2022). Por otro lado, Xue *et al.* (2020) mencionan que los tratamientos a altas presiones mejoran la digestibilidad de las proteínas como actina, miosina y troponina.

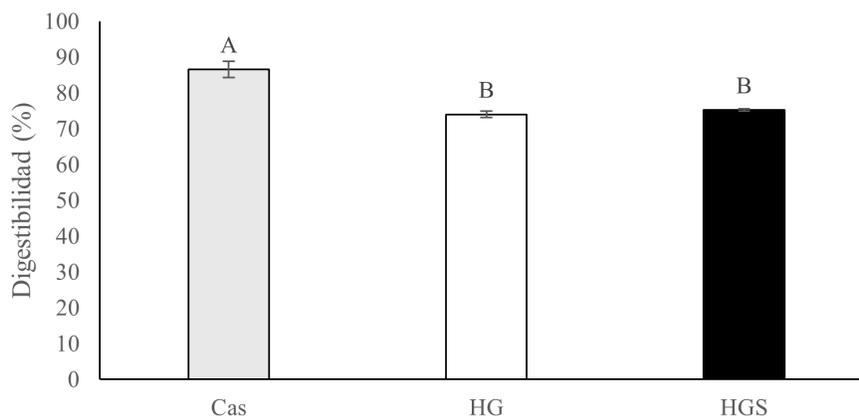


Figura 4. Digestibilidad proteica *in vitro*. Cas: caseína, HG: harina de grillo, HGS: harina de grillo desgrasada por fluido supercrítico. Los resultados se expresaron como media \pm desviaciones estándar. Diferentes letras indican diferencias significativas entre las muestras ($p < 0.05$) de acuerdo a la prueba de Tukey.

Conclusión

El método de desgrasado por extracción con fluidos supercríticos se postula como una alternativa innovadora al uso de solventes para la eliminación de grasa. Al comparar con la muestra sin desgrasar, este método de desgrasado ayuda a aumentar el contenido de proteínas hasta en un 80%; sin embargo, la utilización de un factor de conversión de nitrógeno adecuado para *Achetad domesticus* es importante para evitar sobreestimar el contenido de proteína. La harina de grillo desgrasada por extracción con fluido supercrítico mostró mejor estabilidad de emulsión, capacidad emulsificante, retención de agua/aceite y capacidad de espumado a diferentes condiciones comparada con la harina sin desgrasar. El método de desgrasado por extracción de fluidos supercríticos no afecta la digestibilidad proteica de la harina, conservando una alta digestibilidad. Debido a sus propiedades tecnofuncionales, las harinas de grillo podrían ser empleadas en la formulación de productos alimenticios para aumentar su contenido proteico. El contenido de fibra dietética y fibra cruda se ven afectados tras el desgrasado por extracción con fluidos supercríticos, por lo



cual sería necesario la descripción de polisacáridos presentes en las harinas de grillo para encontrar una relación con la grasa. El desarrollo de métodos innovadores para generar ingredientes proteicos de grillo podría mejorar la aceptabilidad de los consumidores y podrían aplicarse en la formulación de alimentos para aumentar su contenido proteico. Es necesario realizar ensayos para caracterizar su potencial biológico de los ingredientes derivados del grillo. Considerando que es una metodología libre de solventes, se considera un proceso amigable con el medio ambiente.

Conflicto de interés

Los autores declaran que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un potencial conflicto de interés.

Financiamiento

Esta investigación fue financiada por el fondo del COECYTJAL “GRUPO DE TRABAJO QUEBEC-JALISCO” 9831-2022 y el CONAHCYT por la beca (822320) para el primer autor.

Agradecimientos

Gracias a la empresa CrickeX® por donar la muestra para realizar el presente estudio.

Referencias

- Alfaro-Díaz, A., Urías-Silvas, J. E., Loarca-Piña, G., Gaytan-Martínez, M., Prado-Ramírez, R., & Mojica, L. (2021). Techno-functional properties of thermally treated black bean protein concentrate generated through ultrafiltration process. *LWT*, 136. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110296>
- Biconsin-Júnior, A., Rodrigues, H., Behrens, J. H., da Silva, M. A. A. P., & Mariutti, L. R. B. (2022). “Food made with edible insects”: Exploring the social representation of entomophagy where it is unfamiliar. *Appetite*, 173. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2022.106001>
- Bolat, B., Ugur, A. E., Oztop, M. H., & Alpas, H. (2021). Effects of High Hydrostatic Pressure assisted degreasing on the technological properties of insect powders obtained from *Acheta domesticus* & *Tenebrio molitor*. *Journal of Food Engineering*, 292. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110359>
- Bose, U., Broadbent, J. A., Juhász, A., Karnaneedi, S., Johnston, E. B., Stockwell, S., Byrne, K., Limvipuvadh, V., Maurer-Stroh, S., Lopata, A. L., & Colgrave, M. L. (2021). Protein extraction protocols for optimal proteome measurement and arginine kinase quantitation from cricket *Acheta domesticus* for food safety assessment. *Food Chemistry*, 348, 129110. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.129110>



- Boulos, S., Tännler, A., & Nyström, L. (2020). Nitrogen-to-Protein Conversion Factors for Edible Insects on the Swiss Market: *T. molitor*, *A. domesticus*, and *L. migratoria*. *Frontiers in Nutrition*, 7. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00089>
- Brogan, E. N. (2018). *Protein and Lipid Characterization of Acheta domesticus, Bombyx Protein and Lipid Characterization of Acheta domesticus, Bombyx mori, and Locusta migratoria Dry Flours mori, and Locusta migratoria Dry Flours* [tesis de maestría, Davis College of Agriculture, Natural Resources and Design]. <https://researchrepository.wvu.edu/etd/7498>
- Fornari, T. (2016). Supercritical CO₂ Extraction: Relevance to Food Processing. En *Reference Module in Food Science*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.03111-5>
- Ibáñez, E., Mendiola, J. A., & Castro-Puyana, M. (2015). Supercritical Fluid Extraction. En B. Caballero, P. M. Finglas & F. Toldrá (eds.), *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 227–233). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00675-9>
- Kaur, L., Mao, B., Beniwal, A. S., Abhilasha, Kaur, R., Chian, F. M., & Singh, J. (2022). Alternative proteins vs animal proteins: The influence of structure and processing on their gastro-small intestinal digestion. *Trends in Food Science and Technology*, 122, 275–286. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.02.021>
- Kim, H. W., Setyabrata, D., Lee, Y. J., 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>
- Liceaga, A. M. (2021). Processing insects for use in the food and feed industry. *Current Opinion in Insect Science*, 48, 32–36. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.08.002>
- Liceaga, A. M. (2022). Edible insects, a valuable protein source from ancient to modern times. *Advances in Food and Nutrition Research*, 101, 129–152. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2022.04.002>
- 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>
- Mishyna, M., Keppler, J. K., & Chen, J. (2021). Techno-functional properties of edible insect proteins and effects of processing. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2021.101508>
- Ndiritu, A. K., Kinyuru, J. N., Kenji, G. M., & Gichuhi, P. N. (2017). Extraction technique influences the physico-chemical characteristics and functional pro-



- properties of edible crickets (*Acheta domestica*) protein concentrate. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(4), 2013–2021. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9584-4>
- Psarianos, M., Dimopoulos, G., Ojha, S., Cavini, A. C. M., Bußler, S., Taoukis, P., & Schlüter, O. K. (2022). Effect of pulsed electric fields on cricket (*Acheta domestica*) flour: Extraction yield (protein, fat and chitin) and techno-functional properties. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 76. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102908>
- Purschke, B., Tanzmeister, H., Meinschmidt, P., Baumgartner, S., Lauter, K., & Jäger, H. (2018). Recovery of soluble proteins from migratory locust (*Locusta migratoria*) and characterisation of their compositional and techno-functional properties. *Food Research International*, 106, 271–279. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.067>
- Pushpangadan, P., & George, V. (2012). Basil. En K. V. Peter (ed.), *Handbook of Herbs and Spices: Second Edition* (Vol. 1, pp. 55–72). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1533/9780857095671.55>
- Ritvanen, T., Pastell, H., Welling, A., & Raatikainen, M. (2020). The nitrogen-to-protein conversion factor of two cricket species - *Acheta domestica* and *Gryllus bimaculatus*. *Agricultural and Food Science*, 29(1), 1–5. <https://doi.org/10.23986/afsci.89101>
- Sandoval-Oliveros, M. R., & Paredes-López, O. (2013). Isolation and characterization of proteins from chia seeds (*Salvia hispanica* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(1), 193–201. <https://doi.org/10.1021/jf3034978>
- Sipponen, M. H., Mäkinen, O. E., Rommi, K., Heiniö, R. L., Holopainen-Mantila, U., Hokkanen, S., Hakala, T. K., & Nordlund, E. (2018). Biochemical and sensory characteristics of the cricket and mealworm fractions from supercritical carbon dioxide extraction and air classification. *European Food Research and Technology*, 244(1), 19–29. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2931-1>
- 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. (2022). Safety of partially defatted house cricket (*Acheta domestica*) powder as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal*, 20(5). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7258>
- Tzompa-Sosa, D. A., Yi, L., van Valenberg, H. J. F., van Boekel, M. A. J. S., & Lakemond, C. M. M. (2014). Insect lipid profile: Aqueous versus organic solvent-based extraction methods. *Food Research International*, 62, 1087–1094. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.052>



- Verhoeckx, K. C. M., van Broekhoven, S., den Hartog-Jager, C. F., Gaspari, M., de Jong, G. A. H., Wichers, H. J., van Hoffen, E., Houben, G. F., & Knulst, A. C. (2014). House dust mite (Der p 10) and crustacean allergic patients may react to food containing Yellow mealworm proteins. *Food and Chemical Toxicology*, *65*, 364–373. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.12.049>
- Ververis, E., Boué, G., Poulsen, M., Pires, S. M., Niforou, A., Thomsen, S. T., Tesson, V., Federighi, M., & Naska, A. (2022). A systematic review of the nutrient composition, microbiological and toxicological profile of *Acheta domesticus* (house cricket). *Journal of Food Composition and Analysis*, *114*. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104859>
- Villaseñor, V. M., Enriquez-Vara, J. N., Urías-Silva, J. E., & Mojica, L. (2021). 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>
- Villaseñor, V. M., Navat Enriquez-Vara, J., Urías-Silva, J. E., del Carmen Lugo-Cervantes, E., Luna-Vital, D. A., & Mojica, L. (2022). Mexican grasshopper (*Sphenarium purpurascens*) as source of high protein flour: Techno-functional characterization, and *in silico* and *in vitro* biological potential. *Food Research International*, *162*, 112048. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112048>
- Xue, S., Wang, C., Kim, Y. H. B., Bian, G., Han, M., Xu, X., & Zhou, G. (2020). Application of high-pressure treatment improves the *in vitro* protein digestibility of gel-based meat product. *Food Chemistry*, *306*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125602>
- Yi, L., Lakemond, C. M. M., Sagis, L. M. C., Eisner-Schadler, V., Huis, A. Van, & Boekel, M. A. J. S. V. (2013). Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species. *Food Chemistry*, *141*(4), 3341–3348. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.115>