

Artículo

Efectos del tratamiento térmico sobre las propiedades tecnofuncionales de la harina de grillo.

Evelyn Regalado Rentería¹, Elsa Nelly Flores Hernández², Iza Fernanda Pérez Ramírez¹, Rosalía Reynoso Camacho¹ y Miguel Ángel Martínez Maldonado^{2*}

¹ Afiliación 1; Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro 76010, México.

² Afiliación 2; Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Licenciatura en Gastronomía, México

* Correspondencia: mamartinez@iteshu.edu.mx.

Resumen: Este estudio evaluó el efecto de diferentes tratamientos térmicos (25–95 °C) en las propiedades tecnofuncionales de la harina de grillo. Se analizaron la capacidad de absorción de agua y aceite, el pH, la viscosidad y la solubilidad proteica. Los resultados mostraron una disminución en la absorción de agua y el pH con el aumento de la temperatura, mientras que la absorción de aceite se incrementó. El análisis SDS-PAGE evidenció una reducción en la intensidad de las bandas proteicas, lo que sugiere desnaturalización y agregación proteica. Los tratamientos térmicos modificaron significativamente las propiedades tecnofuncionales de la harina de grillo, destacando un aumento en la absorción de aceite y cambios estructurales proteicos, sugiriendo aplicaciones en alimentos procesados

Keywords: *Desnaturalización proteica; Viscosidad; Entomofagia; Ingredientes sostenibles*

1. Introducción

En los últimos años, la sostenibilidad en la producción de alimentos ha cobrado mayor relevancia debido al crecimiento acelerado de la población mundial y los impactos ambientales de las prácticas agrícolas y ganaderas convencionales [1]. Este crecimiento demográfico ha intensificado la demanda de proteínas, ejerciendo una presión significativa sobre los recursos naturales, lo que resalta la necesidad urgente de encontrar fuentes alternativas de proteína que sean más sostenibles y eficientes que los sistemas convencionales. Los insectos comestibles representan una alternativa viable y prometedora para enfrentar estos desafíos debido a su alto valor nutricional y bajo impacto ambiental [2].

Entre los insectos comestibles, el grillo común (*Acheta domestica*) destaca particularmente en su forma procesada como harina. Este ingrediente ha captado la atención de la comunidad científica y de la industria alimentaria por su excelente perfil nutricional, que incluye proteínas de alta calidad, ácidos grasos esenciales, vitaminas y minerales. A diferencia de las fuentes proteicas tradicionales, como el ganado bovino, los grillos requieren menos agua, tierra y alimento, lo que reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y minimiza su huella ecológica [3-6]. Este modelo de producción más sostenible convierte a la harina de grillo en una opción atractiva tanto para consumidores como para los productores que buscan alternativas ecológicas en la industria alimentaria.

Citar este trabajo: Regalado Rentería, Evelyn; Flores Hernández, Elsa Nelly; Pérez Ramírez, Iza Fernanda; Reynoso Camacho, R; Martínez Maldonado, Miguel Ángel. *Efectos del tratamiento térmico sobre las propiedades tecnofuncionales de la harina de grillo*. RELITEC'S 2024, 7ma, edición.

ISSN 2395-972X

<https://relitecs.iteshu.edu.mx>

Recibido: 18-10-2024

Aceptado: 12-11-2024

Publicado: 30-11-2024

La harina de grillo destaca por su versatilidad, siendo adecuada para una variedad de productos alimenticios, desde panes y galletas hasta suplementos proteicos [6]. Sin embargo, para que su uso sea ampliamente adoptado en la producción de alimentos, es importante considerar la optimización de las propiedades tecnofuncionales, ya que estas influyen directamente en la integración del ingrediente en los procesos industriales y en el desarrollo de productos alimenticios procesados.

Propiedades tecnofuncionales como la retención de agua y aceite, la viscosidad y la solubilidad proteica son esenciales para la formulación de alimentos procesados. Estas características afectan la textura, estabilidad y aceptabilidad de los productos finales [7,8]. Por ello, comprender cómo los diferentes procesos, como el tratamiento térmico, afectan dichas propiedades en la harina de grillo es esencial para maximizar su funcionalidad en la industria alimentaria y garantizar su éxito tanto entre los consumidores como en los procesos productivos.

El tratamiento térmico, ampliamente utilizado en la industria alimentaria, impacta significativamente las propiedades funcionales de ingredientes ricos en proteínas. La aplicación de calor puede modificar directamente la estructura y la funcionalidad de las proteínas, afectando su comportamiento en los productos alimenticios. Existen diferentes tipos de tratamiento térmico, siendo los más comunes el tratamiento en condiciones húmedas y secas. La elección del método y la temperatura de aplicación dependerá de los objetivos específicos de la formulación y de las propiedades que se busquen optimizar [9-11].

En el caso de la harina de grillo, el tratamiento térmico tiene el potencial de influir significativamente en propiedades clave, como la capacidad de retención de agua y aceite, la viscosidad y la solubilidad proteica. El calentamiento húmedo, que puede realizarse a través de métodos como el baño María o la cocción al vapor, es particularmente efectivo para mejorar la solubilidad de las proteínas y favorecer su capacidad de gelificación [9]. Durante este proceso, el calor induce la desnaturalización de las proteínas, lo que permite que estas se desplieguen y se vuelvan más accesibles para interactuar con el agua [11]. Este fenómeno favorece redes gelificadas útiles en productos con alta retención de agua o textura viscosa. Por otro lado, el calentamiento seco, como el horneado o la deshidratación, provoca un efecto diferente sobre las proteínas. A temperaturas elevadas, las proteínas tienden a desnaturalizarse y agregarse, lo que puede reducir su solubilidad y alterar otras propiedades tecnofuncionales, como la viscosidad. Este proceso de agregación proteica ocurre cuando las proteínas desnaturalizadas forman enlaces covalentes, lo que altera su capacidad de interactuar con otros componentes, como lípidos o carbohidratos [12,13]. Aunque la desnaturalización proteica podría parecer negativa, en algunos casos es deseable, ya que puede mejorar la textura o estabilidad del producto final, dependiendo de la aplicación.

A pesar del interés creciente en la harina de grillo como ingrediente alimentario, la información disponible sobre los efectos específicos del tratamiento térmico en sus propiedades funcionales es aún limitada. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es analizar los efectos del tratamiento térmico sobre las propiedades tecnofuncionales de la harina de grillo, evaluando aspectos como la viscosidad, la capacidad de retención de agua y aceite, y las características proteicas bajo diferentes condiciones térmicas.

2. Materiales y Métodos

2.1 Preparación y tratamiento térmico de la harina de grillo

La harina de grillo utilizada en este estudio se obtuvo de la empresa In Insect Nutrition (Santiago de Querétaro, México) y se entregó en presentaciones de un kilogramo. Las

propiedades funcionales de la harina de grillo se evaluaron mediante un tratamiento térmico aplicado a temperaturas de 65, 75, 85, 90 y 95 °C. Las muestras sin tratamiento se mantuvieron a 25 °C y se consideraron como grupo control. Para cada nivel de temperatura, se emplearon 20 gramos de harina de grillo, los cuales se colocaron en tubos Falcon junto con 20 ml de agua destilada. Las muestras se homogenizaron a velocidad máxima durante 1 minuto, después de lo cual se calentaron en un baño María a la temperatura correspondiente durante 15 minutos. Una vez finalizado el tratamiento térmico, las muestras se enfriaron a temperatura ambiente y se almacenaron a 4 °C durante 12 horas antes de su análisis.

2.2 Capacidad de absorción de agua y aceite

La capacidad de absorción de agua y aceite de la harina de grillo se evaluó siguiendo la metodología modificada de Dubey y Tripathy (2024) [14]. En este procedimiento, se colocaron 2 gramos de muestras de harina de grillo en tubos de centrifuga de 50 ml. Para la evaluación de la capacidad de absorción de agua, se añadieron 20 ml de agua destilada a cada tubo. De manera similar, se utilizaron 20 ml de aceite de girasol refinado para el análisis de absorción de aceite. Las muestras se agitaron inicialmente durante 1 minuto y luego se realizaron agitaciones adicionales a intervalos de 10 minutos durante un total de 30 minutos. Posteriormente, se sometieron a centrifugación a 3000×g durante 20 minutos. El sobrenadante se eliminó cuidadosamente, y los tubos se dejaron drenar durante 5 minutos. Para calcular la capacidad de absorción, se determinó el aumento en el peso de la harina, expresando los resultados en gramos de agua o aceite absorbidos por gramo de harina de grillo.

2.3 Determinación de pH

Para determinar el pH de la harina de grillo, se prepararon suspensiones que consistieron en 1.5 gramos de harina de grillo en 6 ml de agua destilada, siguiendo el método de Akullo et al. (2023) [15]. Las suspensiones se homogenizaron utilizando un vórtex y se midió el pH en triplicado con un potenciómetro calibrado.

2.4 Estudio de la capacidad de gelificación

La capacidad de gelificación de la harina de grillo se evaluó después de someterla a diferentes temperaturas (25, 65, 75, 85, 90 y 95 °C). Posteriormente, las muestras se centrifugaron a 1500 g durante 10 minutos para separar las proteínas solubles (sobrenadante) de las insolubles (pellet). Ambas fracciones proteicas se utilizaron para preparar dos series de tubos de ensayo de 10 ml cada una, en las que se mezclaron 1.5 g de la fracción proteica (15% p/p) y 0.25 g de NaCl (2.5% p/p). Las muestras fueron incubadas a 40 °C durante 30 minutos, seguidas de una incubación a 90 °C durante 15 minutos. Posteriormente, se sometieron a un choque térmico a 5 °C durante 10 minutos. Tras este tratamiento, las muestras se almacenaron a 4 °C durante 12 horas para favorecer el proceso de gelificación. La evaluación visual de la capacidad de gelificación se realizó registrando los siguientes criterios:

Pastosa (P): muestra con textura pastosa y sin estructura firme.

Viscosa (V): muestra con cierta resistencia al flujo, pero sin formación de gel.

Gelificada (G): muestra que ha formado un gel firme y homogéneo.

No gelificada (NG): muestra en estado líquido o con mínima viscosidad.

2.5 Evaluación de la fracción proteica mediante electroforesis en gel de poliacrilamida con dodecilsulfato sódico (SDS-PAGE)

La distribución del peso molecular de las proteínas de la harina de grillo se determinó mediante SDS-PAGE, siguiendo el método de Laemmli (1970) [16] con modificaciones. Se prepararon dispersiones al 5.5% p/p, tanto de muestras sin tratar como de muestras tratadas térmicamente, que fueron centrifugadas a 17,980 g durante 10 minutos a 20 °C. El sobrenadante y el pellet de cada muestra se mezclaron con el tampón de Laemmli en condiciones reductoras (usando β -mercaptoetanol como agente reductor) y se incubaron a 95 °C durante 4 minutos. La separación se realizó en geles de poliacrilamida al 14% p/v utilizando un sistema Mini-PROTEAN tetra cell (Bio-Rad, Richmond, CA, EE. UU.) a 120 V y 3.0 A. Los geles fueron teñidos con Coomassie Brilliant Blue G-250 y se utilizaron como marcadores los estándares no teñidos Precision Plus Protein™ (Bio-Rad, Hercules, CA, EE. UU.), que contienen diez bandas de proteínas de pesos moleculares conocidos (10 kDa, 15 kDa, 20 kDa, 25 kDa, 37 kDa, 50 kDa, 75 kDa, 100 kDa, 150 kDa y 250 kDa). La abundancia relativa de cada banda se estimó mediante análisis de imágenes utilizando el software ImageJ (Institutos Nacionales de Salud, Bethesda, Maryland, EE. UU.).

3. Resultados

3.1. Evaluación de la capacidad de absorción de agua y aceite de la harina de grillo

En la figura 1A., se muestra que la capacidad de absorción de agua (CAAg) de la harina de grillo disminuye progresivamente con el aumento de la temperatura del tratamiento térmico. A 25°C, la CAAg es máxima con un promedio de 3.66 g/g. Este valor disminuye a 3.54 g/g a 65°C y 75°C, luego a 3.45 g/g a 85°C, y alcanza el valor más bajo de 3.4 g/g a 90°C y 95°C. Estos resultados indican que el tratamiento térmico reduce la capacidad de la harina de grillo para absorber agua, con una tendencia decreciente clara a medida que se incrementa la temperatura.

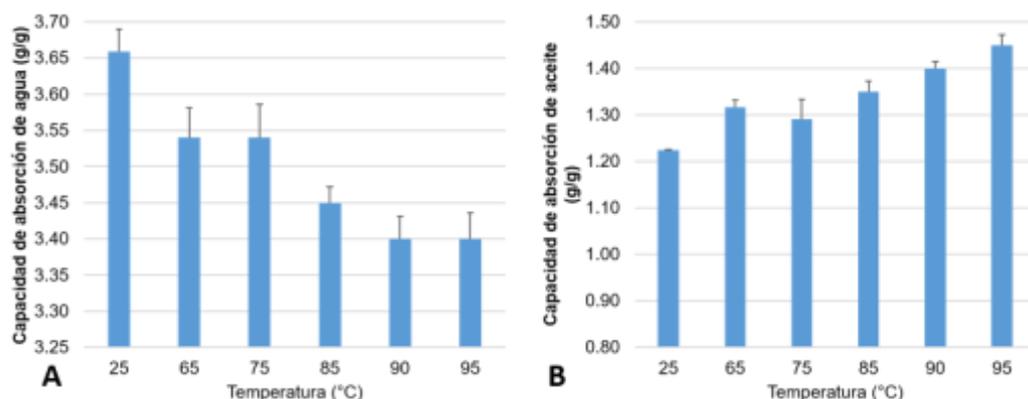


Figura 1. Determinación de la capacidad de absorción de agua y aceite

La figura 1B., se presenta los resultados de la capacidad de absorción de aceite (CAAc) de la harina de grillo sometida a diferentes tratamientos térmicos. A 25°C, la CAAc es de 1.22 g/g, aumentando a 1.32 g/g a 65°C. A 75°C, la CAAc disminuye ligeramente a 1.29 g/g, pero vuelve a aumentar a 1.35 g/g a 85°C. La capacidad de absorción de aceite sigue incrementándose con la temperatura, alcanzando 1.4 g/g a 90°C y 1.45 g/g a 95°C. Estos resultados indican que, en general, el tratamiento térmico mejora la capacidad de la harina de grillo para absorber aceite, con un aumento progresivo desde 25°C hasta 95°C.

3.2. Análisis del pH de la harina de grillo tratada a diferentes temperaturas

La tabla 1 muestra los resultados del pH de la harina de grillo tratada con diferentes temperaturas. A 25°C, el pH es de 6.76 ± 0.025 . Al incrementar la temperatura a 65°C, el pH

disminuye ligeramente a 6.74 ± 0.028 . Este patrón de disminución continua con el aumento de la temperatura: a 75°C , el pH es de 6.72 ± 0.024 ; a 85°C , 6.70 ± 0.022 ; y a 90°C , 6.68 ± 0.014 . Sin embargo, a 95°C , el pH muestra un leve aumento a 6.69 ± 0.022 . Estos resultados indican que el pH de la harina de grillo disminuye gradualmente con el aumento de la temperatura hasta los 90°C , seguido de un ligero aumento a 95°C . Esto sugiere que el tratamiento térmico afecta el pH de la harina de grillo, con una tendencia general de disminución que se revierte marginalmente a temperaturas más altas.

Tabla 1. Determinación de pH de la harina de grillo tratada con diferentes temperaturas

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	pH
25	6.76 ± 0.025
65	6.74 ± 0.028
75	6.72 ± 0.024
85	6.70 ± 0.022
90	6.68 ± 0.014
95	6.69 ± 0.022

3.2. Evaluación de la visual de la gelificación de la harina de grillo

La tabla 2 presenta la evaluación visual de la harina de grillo tratada con diferentes temperaturas, diferenciando entre la fracción del pellet y la fracción del sobrenadante. Para todas las temperaturas probadas (25, 65, 75, 85, 90 y 95°C), la fracción del pellet mostró una consistencia pastosa (P). En contraste, la fracción del sobrenadante exhibió una consistencia viscosa (V) en todas las temperaturas. Estos resultados indican que el tratamiento térmico no afecta significativamente la consistencia visual de las fracciones de harina de grillo, ya que la fracción del pellet mantiene una consistencia pastosa y la fracción del sobrenadante permanece viscosa independientemente de la temperatura aplicada.

Tabla 2. Evaluación visual de la harina de grillo tratada con diferentes temperaturas

Fracción	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)					
	25	65	75	85	90	95
Pellet	P	P	P	P	P	P
Sobrenadante	V	V	V	V	V	V

Tipo de consistencia descritas. P= Pastosa; V= Viscosa

3.2. Análisis de las proteínas de grillo mediante SDS-PAGE

La figura 2, muestra los geles de SDS-PAGE utilizados para analizar la distribución de peso molecular de proteínas en la harina de grillo tratada térmicamente a diferentes temperaturas (25, 65, 75, 85, 90 y 95°C). El carril M contiene los marcadores de peso molecular, con bandas que van desde 10 kDa hasta 250 kDa. En la figura 2A., las muestras de proteínas tratadas a 25°C , 65°C , 75°C , 85°C , 90°C y 95°C muestran varias bandas prominentes. A medida que aumenta la temperatura, se observa una disminución en la intensidad de

algunas bandas, especialmente aquellas de menor peso molecular. Esto sugiere una posible desnaturalización o agregación de proteínas a temperaturas más altas. Las bandas más intensas se encuentran en rangos de 20 a 37 kDa, indicando la presencia de proteínas solubles predominantes en este rango de peso molecular en todas las temperaturas usadas. En la figura 2B, las muestras tratadas térmicamente presentan una reducción notable en la cantidad y la intensidad de las bandas en comparación con el panel A. Las muestras a temperaturas más altas (85 °C, 90 °C, y 95 °C) muestran bandas significativamente menos intensas, indicando una mayor desnaturalización y/o insolubilización de las proteínas. Las bandas principales visibles están entre 15 y 37 kDa, con una reducción considerable de bandas a temperaturas elevadas.

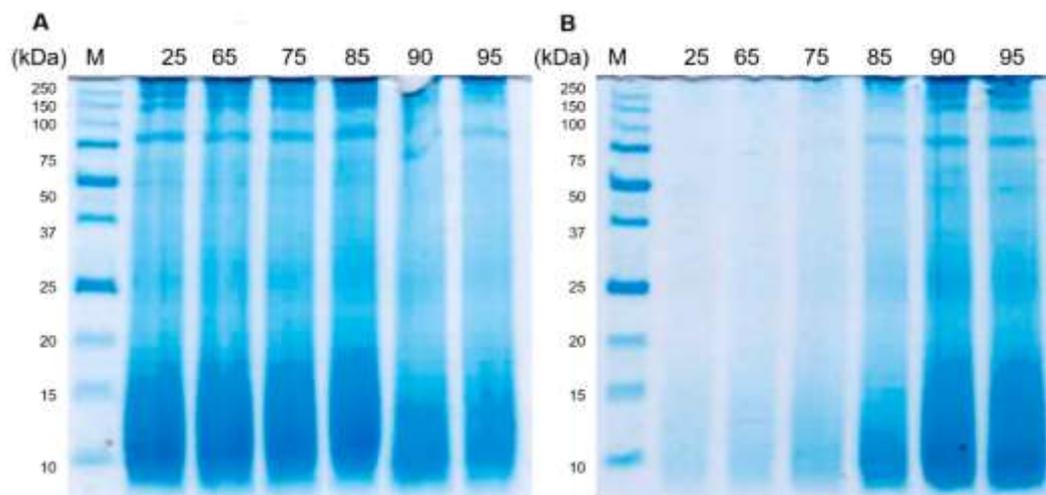


Figura 2. Análisis de proteínas de harina de grillo tratada térmicamente a diferentes temperaturas mediante SDS-PAGE.

4. Discusión

El tratamiento térmico aplicado a la harina de grillo mostró efectos significativos sobre sus propiedades funcionales, particularmente en la capacidad de absorción de agua (CAAg), absorción de aceite (CAAc), el pH y la estabilidad de las proteínas. Los resultados obtenidos sugieren que la temperatura tiene un rol relevante en la modificación de las características de la harina, lo que puede ser aprovechado o evitado, dependiendo de las aplicaciones tecnológicas deseadas. Los resultados obtenidos muestran que la capacidad de absorción de agua disminuyó progresivamente con el aumento de la temperatura, indicando que el tratamiento térmico afecta negativamente la interacción entre las proteínas y el agua. Este comportamiento sugiere una desnaturalización parcial de las proteínas, lo que provoca la pérdida de sitios hidrofílicos responsables de la retención de agua. La máxima capacidad de absorción de agua a 25°C contrasta con la disminución observada a temperaturas más altas, alcanzando su valor más bajo a 90°C y 95°C. Este fenómeno está en línea con estudios previos que asocian la desnaturalización proteica con una reducción en la capacidad de retención de agua, lo que puede impactar negativamente en la funcionalidad de la harina en aplicaciones donde la hidratación es crucial. Por otro lado, la capacidad de absorción de aceite mostró un comportamiento opuesto al del agua, incrementándose con la temperatura. Este resultado sugiere que el calor promueve la exposición de regiones hidrofóbicas de las proteínas, facilitando una mayor interacción con los lípidos. El aumento progresivo de la capacidad de absorción de aceite desde los 25°C hasta los 95°C puede ser un indicativo de que las proteínas de la harina de grillo son más estables frente a la interacción con lípidos bajo condiciones térmicas elevadas. Estos resultados

son consistentes con los hallazgos de [7], quienes reportaron que el calor facilita la exposición de regiones hidrofóbicas en proteínas, promoviendo una mayor interacción con lípidos. El comportamiento observado en la harina de grillo respalda este fenómeno, indicando que las proteínas desnaturizadas interactúan más eficientemente con el aceite bajo condiciones térmicas elevadas. Esto es particularmente relevante para aplicaciones industriales donde la retención de grasa es una propiedad deseable, como en alimentos procesados o productos cárnicos reestructurado

El análisis del pH también revela una tendencia interesante. La disminución gradual del pH con el aumento de la temperatura hasta los 90°C puede estar asociada con la liberación de grupos ácidos provenientes de la desnaturización proteica, lo que afecta la acidez de la harina. Sin embargo, el ligero aumento del pH a 95°C sugiere que podrían estar ocurriendo otras interacciones moleculares, como la formación de agregados proteicos o la neutralización de grupos ionizables. Este comportamiento del pH refleja la sensibilidad de las proteínas de insecto a los cambios térmicos y sugiere que la estructura proteica se modifica de manera compleja a altas temperaturas.

La capacidad de gelificación de la harina de grillo, evaluada de forma visual, no mostró diferencias notables entre las distintas temperaturas. La fracción del pellet mantuvo una consistencia pastosa en todas las condiciones, mientras que la fracción del sobrenadante se mantuvo viscosa. Este resultado sugiere que la harina de grillo, bajo las condiciones experimentales empleadas, no desarrolla propiedades gelificantes estructuradas, lo que podría limitar su uso en aplicaciones que requieran formación de geles firmes. La falta de variación en la textura indica que las proteínas presentes no sufrieron cambios suficientes para alterar su comportamiento viscoelástico, lo que también podría estar relacionado con la naturaleza de las proteínas de *Acheta domestica*, que no siempre son adecuadas para formar geles sin aditivos o tratamientos adicionales. Este comportamiento podría explicarse por la naturaleza de las proteínas presentes en *Acheta domestica*, que no siempre son capaces de formar redes gelificadas sin la adición de agentes estructurantes o modificaciones adicionales. Mishyna et al. (2021) señalaron que la formación de geles proteicos depende de la capacidad de las proteínas para desnaturizarse y reordenarse en una red tridimensional estable, lo cual puede estar limitado por la composición específica de las proteínas de insectos. Asimismo, estudios previos en proteínas vegetales y animales han demostrado que la formación de geles firmes se ve favorecida por la presencia de un balance entre regiones hidrofílicas e hidrofóbicas, así como por la capacidad de las proteínas de interactuar con sales u otros aditivos [7]. La ausencia de estas interacciones clave podría explicar por qué las proteínas de la harina de grillo no logran formar estructuras gelificadas significativas.

El análisis de proteínas mediante SDS-PAGE refuerza las observaciones sobre la desnaturización proteica. A medida que la temperatura aumentó, se observó una reducción en la intensidad de las bandas correspondientes a proteínas solubles, especialmente en el rango de 15 a 37 kDa. Este fenómeno sugiere que las proteínas de menor peso molecular son más susceptibles a la desnaturización y agregación a altas temperaturas, lo que coincide con la disminución de la capacidad de absorción de agua y el aumento en la absorción de aceite. La formación de agregados proteicos insolubles a temperaturas elevadas puede explicar la reducción de bandas en el SDS-PAGE, y sugiere que el calor induce cambios estructurales importantes en las proteínas de grillo, afectando sus propiedades funcionales.

5. Conclusiones

El presente estudio evaluó el efecto de diferentes tratamientos térmicos (25–95 °C) sobre las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la harina de grillo. Los resultados indican

que la capacidad de absorción de agua disminuye ligeramente con el aumento de la temperatura, mientras que la capacidad de absorción de aceite aumenta a medida que sube la temperatura, lo que indica una mayor exposición de regiones hidrofóbicas en las proteínas. Asimismo, se observó una ligera acidificación del pH con el aumento de la temperatura, probablemente asociada con la desnaturalización proteica. La evaluación visual de la capacidad de gelificación mostró que, independientemente de la temperatura, las fracciones de pellet se mantuvieron pastosas (P), mientras que las fracciones de sobrenadante fueron consistentemente viscosas (V). Esto sugiere que la capacidad de gelificación de la harina de grillo no desarrolla propiedades gelificantes estructuradas, lo que podría limitar su aplicación en ciertos productos alimentarios. El análisis SDS-PAGE corroboró la desnaturalización térmica de las proteínas, destacando una mayor agregación e insolubilización a temperaturas más altas. Estos resultados sugieren que la harina de grillo puede ser optimizada para aplicaciones específicas, como productos que requieran alta retención de lípidos o estabilidad térmica. Sin embargo, futuras investigaciones deberían enfocarse en explorar estrategias para mejorar su capacidad de gelificación, como la adición de coadyuvantes o modificaciones en las condiciones de procesamiento.

Contribución: Conceptualización, RRC y MAMM.; metodología, ERR, IFPR y MAMM; validación, ENFH.; análisis de datos, ERR, IFPR y MAMM; investigación, ERR, RRC y MAMM.; recursos, IFPR, RRC, y MAMM; redacción—preparación del borrador original, ERR, RRC y MAMM; redacción-revisión y edición, ENFH, IFPR y MAMM; visualización, ENFH, IFPR y MAMM; supervisión, RRC, y MAMM; administración del proyecto, IFPR, RRC, y MAMM; adquisición de financiación, MAMM.

Financiamiento: Esta investigación fue financiada por el Tecnológico Nacional de México, número de proyecto 20879.24-PD.

Agradecimientos: Los autores expresan su agradecimiento a la alumna Iridia Guadalupe Callejas Martínez (no. de matrícula 22021216) de la carrera de Gastronomía, por su valiosa asistencia técnica en el laboratorio de Bioquímica, brindada durante su estancia de investigación en el verano de 2024.

Conflicto de interés: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Referencias

- Adesogan, A. T., Havelaar, A. H., McKune, S. L., Eilittä, M., & Dahl, G. E. Animal source foods: Sustainability problem or malnutrition and sustainability solution? Perspective matters. *Global Food Security*, **2020**, *25*, 100325.
- Olivadese, M., & Dindo, M. L. Edible insects: a historical and cultural perspective on entomophagy with a focus on Western societies. *Insects*, **2023**, *14*(8), 690.
- Barton, A., Richardson, C. D., & McSweeney, M. B. Consumer attitudes toward entomophagy before and after evaluating cricket (*Acheta domesticus*)-based protein powders. *Journal of food science*, **2020**, *85*(3), 781-788.
- Pilco-Romero, G., Chisaguano-Tonato, A. M., Herrera-Fontana, M. E., Chimbo-Gándara, L. F., Sharifi-Rad, M., Giampieri, F., & Álvarez-Suárez, J. M. House cricket (*Acheta domesticus*): A review based on its nutritional composition, quality, and potential uses in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, **2023**, 104226.
- Ho, I., Peterson, A., Madden, J., Wai, K., Lesniasuskas, R., Garza, J., ... & Lammert, A. The crick-eatery: A novel approach to evaluate cricket (*Acheta domesticus*) powder replacement in food products through product eating experience and emotional response. *Foods*, **2022**, *11*(24), 4115.
- Nino, M. C., Reddivari, L., Ferruzzi, M. G., & Liceaga, A. M. Targeted phenolic characterization and antioxidant bioactivity of extracts from edible *Acheta domesticus*. *Foods*, **2021**, *10*(10), 2295.
- Mishyna, M., Keppler, J. K., & Chen, J. Techno-functional properties of edible insect proteins and effects of processing. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, **2021**, *56*, 101508.
- Schmitt, C., Sanchez, C., Desobry-Banon, S., & Hardy, J. Structure and technofunctional properties of protein-polysaccharide complexes: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, **1998**, *38*(8), 689-753.
- Nasrabadi, M. N., Doost, A. S., & Mezzenga, R. Modification approaches of plant-based proteins to improve their techno-functionality and use in food products. *Food Hydrocolloids*, **2021**, *118*, 106789.
- Guo, C., Zhang, Z., Chen, J., Fu, H., Subbiah, J., Chen, X., & Wang, Y. Effects of radio frequency heating treatment on structure changes of soy protein isolate for protein modification. *Food and Bioprocess Technology*, **2017**, *10*, 1574-1583.
- Davis, P. J., & Williams, S. C. Protein modification by thermal processing. *Allergy*, **1998**, *53*, 102-105.
- Wang, C. H., & Damodaran, S. Thermal gelation of globular proteins: influence of protein conformation on gel strength. *Journal of agricultural and food chemistry*, **1991**, *39*(3), 433-438.

13. Peyrano, F., De Lamballerie, M., Speroni, F., & Avanza, M. V. Rheological characterization of thermal gelation of cowpea protein isolates: Effect of processing conditions. *Lwt*, **2019**, 109, 406-414.
14. Dubey, A., & Tripathy, P. P. Evaluation and multivariate analysis of antinutrients, bioactive and techno-functional attributes of finger millet and kodo millet as influenced by various germination regimes. *Journal of Food Measurement and Characterization*, **2024**, 1-15.
15. Akullo, J. O., Kiage-Mokua, B. N., Nakimbugwe, D., Ng'Ang'A, J., & Kinyuru, J. Color, pH, microbiological, and sensory quality of crickets (*Gryllus bimaculatus*) flour preserved with ginger and garlic extracts. *Food Science & Nutrition*, **2023**, 11(6), 2838-2851
16. Laemmli, U. K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, **1970**, 227(5259), 680-685