

Tecnología de ultrasonido: Innovación en la modificación de proteínas alimentarias

Ultrasound technology: Innovation in the modification of food proteins

Ilse Monroy Rodríguez^a, Judith Jaimez Ordaz^b, Raúl E. López Hernández^c, Elizabeth Contreras López^d, Javier Añorve Morga^e

Abstract:

Ultrasound waves have multiple applications in various industries, especially in the food sector. They are helpful for equipment cleaning, food analysis, reduction of bacterial load, compound extraction, and protein modification. Proteins are essential for the functioning of the body. This article presents the foundations and advancements of ultrasound as an emerging non-thermal technology that enhances the functional and nutritional properties of proteins in food, providing an innovative alternative that preserves nutrients and promotes the creation of safer and more appealing products for consumers.

Keywords:

Ultrasonic, food technology, modification, protein

Resumen:

Las ondas ultrasónicas tienen múltiples aplicaciones en la industria, especialmente en el sector alimentario. Son útiles para la limpieza de equipos, el análisis de alimentos, la reducción de la carga bacteriana, la extracción de compuestos y la modificación de compuestos como las proteínas. Estas últimas son nutrientes esenciales para el funcionamiento del organismo. Este artículo presenta los fundamentos y avances más relevantes del ultrasonido como una tecnología emergente no térmica que mejora las propiedades funcionales y nutricionales de las proteínas en los alimentos, ofreciendo una alternativa innovadora que preserva nutrientes y fomenta la creación de productos más seguros y atractivos para los consumidores.

Palabras Clave:

Ultrasonido, tecnología de alimentos, modificación, proteína

Introducción

El uso de tecnologías emergentes no térmicas ha cobrado gran relevancia en la investigación y desarrollo de alimentos, gracias a los beneficios que ofrecen para potenciar sus propiedades nutricionales. Una de estas técnicas es el ultrasonido, que consiste en la generación de ondas sonoras con frecuencias superiores a 20 kHz, un rango inaudible para el oído humano. 1. Cuando estas ondas ultrasónicas se propagan a través de estructuras biológicas, provocan compresiones y expansiones en las partículas, lo que se traduce en la transmisión de la

energía de alta intensidad emitida. El ultrasonido puede inducir cambios estructurales a diferentes niveles de organización biológica (molecular, celular y en tejidos) lo que resulta particularmente interesante para el desarrollo de nuevos alimentos, mejorando de manera significativa su calidad nutricional y fisicoquímica. 2. Una de las aplicaciones más destacadas de esta técnica en el procesamiento de alimentos es su uso como sistema de homogenización o dispersión, facilitando la formación de sistemas coloidales como emulsiones y suspensiones. En comparación con las técnicas tradicionales de

^a Ilse Monroy-Rodríguez, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Pachuca, Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-5042-4966>, Email: ilse_monroy@uaeh.edu.mx

^b Judith Jaimez-Ordaz, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Pachuca, Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0001-6655-0759>, Email: jjaimiez@uaeh.edu.mx

^c Raúl Eduardo López-Hernández, Instituto Politécnico Nacional | Ciudad de México | México, <https://orcid.org/0000-0001-9738-7026>, Email: raullhdez@gmail.com

^d Elizabeth Contreras-López, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Pachuca, Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-9678-1264>, Email: elizac@uaeh.edu.mx

^e Javier Añorve-Morga, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Pachuca, Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-0076-1526>, Email: anorvej@uaeh.edu.mx

homogenización, el ultrasonido ofrece ventajas como la mejora de atributos de calidad y la reducción del tiempo de procesamiento. En este artículo, se presentan algunos avances sobre el efecto de la modificación de la estructura de las proteínas presentes en los alimentos y sus aplicaciones potenciales para la innovación en la industria alimentaria. 3

Aplicaciones del ultrasonido en la industria alimentaria: ¿para qué sirve?

El procesamiento por ultrasonido se basa en la capacidad de las ondas sonoras para generar perturbaciones mecánicas en medios sólidos, líquidos o gaseosos a velocidades específicas. La frecuencia del sonido está determinada por la velocidad con la que las partículas del medio vibran debido a estas perturbaciones, y se mide en hertzios (Hz). Cuando la frecuencia supera los 20 kHz, el sonido se vuelve agudo e inaudible para el oído humano; estas ondas se conocen como ultrasonido. Los ultrasonidos se clasifican en dos categorías: baja intensidad, que abarca frecuencias de 0.1 a 20 MHz, y alta intensidad, con frecuencias inferiores a 0.1 MHz. 2, 3

El ultrasonido de baja frecuencia es ideal para medir las propiedades del medio en el que se propaga, ya que no provoca alteraciones significativas. Por el contrario, el ultrasonido de alta intensidad puede inducir cambios físicos y químicos en los materiales a los que se aplica. En la industria alimentaria, se utilizan ambas frecuencias para diversas aplicaciones. Por ejemplo, para la limpieza de equipos, la energía de las ondas ultrasónicas genera vibraciones capaces de desprender residuos. 3

En la Figura 1 se presentan varios ejemplos de aplicaciones del ultrasonido en la industria alimentaria. 4 Una de las principales ventajas del tratamiento con ultrasonido es que se considera como un tratamiento no térmico, lo que implica que no aumenta drásticamente la temperatura en el alimento, tradicionalmente, muchos procesos como la cocción, pasteurización y deshidratación son procesos necesarios para disminuir la carga microbiana en los alimentos. 5. El crecimiento de la población de microorganismos y la actividad enzimática son capaces de provocar cambios indeseables en los alimentos que afectan su calidad y seguridad para ser consumidos. La desventaja de los procesos que implican un aumento de temperatura es la pérdida de nutrientes de gran valor como las vitaminas. El ultrasonido puede causar alteraciones en la estructura de las células microbianas y en las enzimas, reduciendo su actividad lo suficiente como para asegurar la inocuidad del alimento. 6



Figura 1. Aplicaciones de la tecnología de ultrasonido en la industria alimentaria

Para asegurar la calidad y mejorar los procesos en la industria alimentaria, es fundamental contar con técnicas de análisis que permitan conocer la composición de los alimentos e identificar materia extraña. Esto se logra gracias a que, al tratar un alimento con ultrasonido, se puede medir un patrón de cambio en las ondas ultrasónicas que inciden en la materia. Al identificar este patrón, es posible relacionarlo con el contenido de azúcares u otros componentes del alimento y, en caso de detectar un cambio, asociarlo con la presencia de materia extraña o contaminantes. 4. Una de las aplicaciones más comunes del ultrasonido es como método de homogenización o mezclado, un proceso crucial para la incorporación de ingredientes y para la textura y apariencia de los alimentos. La eficiencia de un proceso de homogenización depende de la reducción del tamaño de las partículas y de la uniformidad de la estructura de los componentes del alimento, lo que se puede observar en la disminución de grumos y en la formación de una sola fase homogénea. 7. En la Figura 2 se presenta el modelo de un agitador ultrasónico, que ilustra el mecanismo de transmisión de las ondas ultrasónicas hasta los sonotrodos, un accesorio metálico en contacto directo con la muestra. 8

Una de las aplicaciones más interesantes, que continúa en investigación y desarrollo, es la modificación de la estructura de macromoléculas, como polisacáridos y proteínas. En particular, las proteínas desempeñan un papel muy relevante en los alimentos, ya que su incorporación es deseable para mejorar el valor nutricional. Además, son fundamentales para la estructura del alimento, ayudando a la integración adecuada de los ingredientes y contribuyendo a la textura. 2, 5, 9

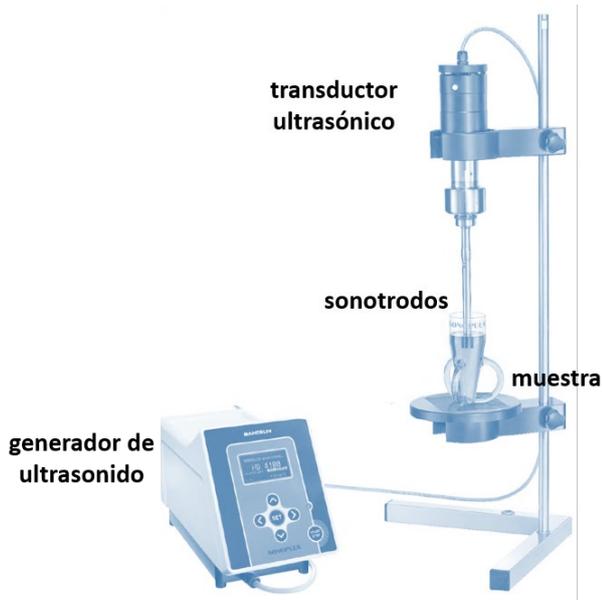


Figura 2. Partes de un homogeneizador ultrasónico

Modificación de proteínas mediante ultrasonido

El ultrasonido es una tecnología prometedora para el desarrollo de alimentos con alto contenido de proteína, ya que puede mejorar tanto su extracción como sus propiedades nutricionales. 10

El ultrasonido de alta intensidad puede modificar la estructura y funcionalidad de las proteínas a través de varios mecanismos, entre los que destacan:

1. Efectos de la cavitación acústica:

La cavitación se refiere a la formación de burbujas en un líquido debido a cambios de temperatura o vibración. Cuando estas burbujas colapsan en el medio donde se encuentran las proteínas generan aumentos de temperatura y presión de forma localizada, lo que puede provocar la ruptura de enlaces en las moléculas de proteína.

2. Producción de radicales libres:

Los radicales libres son especies químicas reactivas muy inestables capaces de oxidar otras moléculas. Como efecto secundario de la cavitación, es posible que se generen radicales libres en los alimentos, que transforman grupos tiol (-SH) en enlaces disulfuro (S-S). Este cambio puede afectar la solubilidad de la proteína en agua. 5, 11

Es posible estudiar los cambios estructurales en las proteínas mediante análisis que determinan las variaciones en sus estructuras secundaria y terciaria. La funcionalidad de las proteínas depende del tipo de enlaces e interacciones entre las cadenas de aminoácidos. La modificación de la estructura molecular de una proteína se conoce como desnaturalización. 9

En la Figura 3 se presentan modelos tridimensionales de las estructuras cuaternaria, secundaria y desnaturalizada de una proteína genérica para ilustrar estos conceptos.

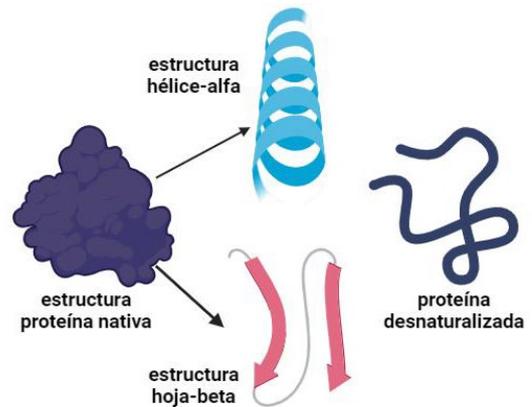


Figura 3. Modelo tridimensional de las estructuras de la proteína

Se ha reportado que, al aumentar la potencia ultrasónica, existe una tendencia hacia un incremento en el porcentaje de la estructura hélices alfa y una disminución en la estructura hoja beta en la configuración secundaria de la proteína. Estos cambios impactan la capacidad de las proteínas para formar estructuras alimentarias como emulsiones, espumas y geles. 5, 11

Además, el procesamiento por ultrasonido podría aumentar la solubilidad de las proteínas en agua al destruir grupos hidrófobos, lo que mejoraría las propiedades de las bebidas fortificadas con proteínas. Otra ventaja analizada es la mejora de las propiedades gelificantes y emulsionantes, lo cual podría ser beneficioso para la industria láctea, especialmente en productos de consumo masivo como yogur, crema y helados. 7,9

Aplicación del ultrasonido para disminuir la alergenicidad de las proteínas

La alergenicidad se refiere a las reacciones adversas provocadas por alérgenos, como las proteínas presentes en los alimentos. Los epítopos, que son regiones específicas de estas proteínas, son reconocidos por el sistema inmunológico, lo que activa la producción de anticuerpos. 12

Estas reacciones pueden manifestarse como síntomas locales o sistémicos, que van desde urticaria y malestar digestivo hasta, en casos graves, anafilaxis. La anafilaxis es una reacción grave que puede causar inflamación en múltiples sistemas del cuerpo y, en ocasiones, resultar en asfixia, lo cual puede ser fatal. 13

Por esta razón, la normativa alimentaria nacional exige que los alérgenos más comunes, como lácteos, mariscos, soya, huevo, carne, trigo y cacahuete, se indiquen claramente en las etiquetas de los alimentos procesados. 14

Existen evidencias científicas que sugieren que el tratamiento por ultrasonido podría reducir la alergenicidad de las proteínas. A través del efecto de la cavitación, los enlaces en las moléculas proteicas pueden alterarse de tal manera que se disminuyan o destruyan los epítomos responsables de las reacciones alérgicas. 9, 10

Este procedimiento también podría mejorar la actividad de enzimas que hidrolizan los enlaces peptídicos, reduciendo así el riesgo de alergias alimentarias. Se ha reportado que el tratamiento ultrasónico puede disminuir la alergenicidad en alimentos como la soya, el cacahuete, el kiwi y las legumbres en hasta un 50%. 9

Además, el ultrasonido podría reducir la concentración de compuestos antinutrientes, que son sustancias en los alimentos capaces de inhibir la absorción de nutrientes y causar problemas digestivos. Ejemplos de estos antinutrientes incluyen saponinas, oxalatos y lectinas. 9, 10, 12

El procesamiento con ultrasonido es una tecnología emergente con el potencial de mejorar la calidad nutricional de los alimentos ricos en proteínas al disminuir tanto la alergenicidad como la concentración de antinutrientes. Sin embargo, es fundamental llevar a cabo más estudios para optimizar los parámetros operativos y validar su aplicación a escala industrial. Estas aplicaciones son especialmente relevantes, debido a que la mayoría de los alimentos ultraprocesados más vendidos dependen de aditivos para mejorar sus propiedades de textura, propiedades que las proteínas modificadas por tratamientos físicos adecuados podrían proporcionar de manera más natural. 10. La mayoría de estos aditivos no aportan valor nutricional y, en algunos casos, pueden resultar nocivos para la salud. En este contexto, el objetivo principal de la industria alimentaria actual es ofrecer formulaciones y procesos que beneficien la salud de los consumidores.

Conclusión

El uso del ultrasonido para la modificación de proteínas representa un avance significativo en la industria alimentaria, ofreciendo un enfoque no térmico que preserva los nutrientes y mejora la calidad de los productos. Mediante la cavitación acústica, este tratamiento transforma la estructura de las proteínas,

umentando su solubilidad y propiedades emulsionantes, al mismo tiempo que reduce la alergenicidad. Esto permite la creación de alimentos más seguros y atractivos para los consumidores. Además, el ultrasonido disminuye la dependencia de aditivos sintéticos, promoviendo formulaciones más saludables y naturales. Esta tecnología emergente abre un panorama prometedor para el desarrollo de alimentos contribuyendo a una nutrición de calidad y un bienestar sostenible. La industria alimentaria debe continuar explorando y adoptando estas innovaciones para satisfacer las demandas de un mercado en constante evolución, garantizando así un futuro más saludable para los consumidores.

Referencias

- [1] Muñoz-Almagro N, Morales-Soriano E, Villamiel M, Condezo-Hoyos L. Hybrid high-intensity ultrasound and microwave treatment: A review on its effect on quality and bioactivity of foods. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2021; 80: 105835.
- [2] Mendes Justino HF, Dos Santos IF, De Souza RM, Aparecido Sanches E, De Araújo Bezerra J, Lamarão CV, Dos Santos Pires AC, Campelo PH. Exploring ultrasound-assisted technique for enhancing techno-functional properties of plant proteins: A comprehensive review. *International Journal Food Science + Technology*. 2023;
- [3] Chandrapala J, Oliver C, Kentish S, Ashokkumar M. Ultrasonics in food processing. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2012; 19(5): 975-983.
- [4] Ruiz-Colorado N, Ortiz-Rodríguez L, Arcila-Lozano CC. Ultrasonido aplicado al procesamiento de alimentos, una opción sustentable y eficaz. En: Ortiz-Rodríguez L, Sandoval-Salas F, Morales-Olán G, Arcila-Lozano CC, editores. *Handbook Tecnologías Emergentes Aplicadas en Alimentos*. 1.a ed. Perote: ECORFAN. 2022;45-52.
- [5] Chen W, Ma H, Wang YY. Recent advances in modified food proteins by high intensity ultrasound for enhancing functionality: Potential mechanisms, combination with other methods, equipment innovations and future directions. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022; 105993-105993.
- [6] Nguyen Huu C, Rai R, Yang X, Tikekar RV, Nitin N. Synergistic inactivation of bacteria based on a combination of low frequency, low-intensity ultrasound and a food grade antioxidant. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2021; 74: 105567.
- [7] Qayum A, Rashid A, Liang Q, Wu Y, Cheng Y, Kang L, Liu Y, Zhou C, Hussain M, Ren X, Ashokkumar M, Ma H. Ultrasonic and homogenization: An overview of the preparation of an edible protein-polysaccharide complex emulsion. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2023; 22(6): 4242-4281.
- [8] BANDELIN. Homogeneizadores ultrasónicos *SONOPULS HD 4000*. 2024. Recuperado el 22 de septiembre de: <https://bandelin.com/es/productos/trabajo/homogeneizadores-ultrasonicos-sonopuls/sonopuls-hd-4000/>
- [9] Rao MV, Sunil CK, Rawson A, Chidanand DV, Venkatachopathy N. Modifying the plant proteins techno-functionalities by novel physical processing technologies: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2021; 63(5): 827-841.
- [10] Sengar AS, Thirunavookarasu N, Choudhary P, Naik M, Surekha A, Sunil CK, Rawson A. Application of power ultrasound for plant protein extraction, modification and allergen reduction – A review. *Applied Food Research*. 2022; 2(2): 100219.
- [11] Ashokkumar M. Applications of ultrasound in food and bioprocessing. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2015; 25: 17-23.
- [12] Wang Y, He S, Zhou F, Sun H, Cao X, Ye Y. Detection of lectin protein allergen of kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and

desensitization food processing technology. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2021; 69(49): 14723-14741.

- [13] Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization. Allergenicity of Foods Derived from Biotechnology. FAO/WHO. 2001. Recuperado el 22 de septiembre de: <https://www.who.int/foodsafety/publications/biotech/en/allergenicity.pdf>
- [14] Secretaría de Economía y Secretaría de Salud. NOM-051-SCFI/SSA1-2010. Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados, información comercial y sanitaria. 2020. Recuperado el 22 de septiembre de: *Diario Oficial de la Federación*. https://www.dof.gob.mx/2020/SEE/NOM_051.pdf