

Capítulo 5 Ultrasonido Aplicado al Procesamiento de Alimentos, Una Opción Sustentable y Eficaz

Chapter 5 Ultrasound Applied to Food Processing, a Sustainable and Effective Option

RUIZ-COLORADO, Nora*†, ORTIZ- RODRIGUEZ, Lilia y ARCILA-LOZANO, Cynthia Cristina

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Perote

ID 1^{er} Autor: *Nora, Ruiz-Colorado* / **ORC ID:** 0000-0001-8994-7943 **CVU CONACYT ID:** 204018

ID 1^{er} Coautor: *Lilia, Ortiz-Rodríguez* / **ORC ID:** 0000-0002-5548-0078, **CVU CONACYT ID:** 291742

ID 2^{do} Coautor: *Cynthia Cristina, Arcila-Lozano* / **ORC ID:** 0000-0002-9979-2539, **CVU CONACYT ID:** 239113

DOI: 10.35429/H.2022.1.45.52

N. Ruiz, L. Ortiz y C. Arcila

*doc-034@itsperote.edu.mx

L. Ortiz, F. Sandoval, G. Morales y C. Arcila (VV. AA.). Tecnologías Emergentes Aplicadas en Alimentos. Handbooks-TI-©ECORFAN-Mexico, 2022.

Abstract

Ultrasound is considered a technique with high potential for the conservation and processing of food, its bases allow maintaining the nutritional conditions appropriate to the requirements and needs currently demanded by society. Implementation has been carried out mainly at the enzymatic, cellular, meat and grain processing levels. There are more and more proposals for applications at the experimental level, and considering its costs and low environmental impact, it could be assumed that at some point this technique will become a widely used tool in the area of food industrialization, since it reduces process times and improves quality attributes.

Ultrasound, Food processing, Organoleptic properties

Resumen

El ultrasonido es considerado una técnica con alto potencial para la conservación y procesamiento de alimentos, sus bases permiten mantener las condiciones nutricionales adecuadas a los requerimientos y necesidades que actualmente demanda la sociedad. La implementación se ha realizado principalmente a nivel de procesamiento enzimático, celular, cárnico y de granos. Cada vez hay más propuestas de aplicaciones a nivel experimental, y considerando sus costos y bajo impacto ambiental, se podría suponer que en algún momento esta técnica se convertirá en una herramienta muy utilizada en el área de la industrialización de alimentos, ya que reduce los tiempos de proceso y mejora los atributos de calidad.

Ultrasonido, Procesamiento de alimentos, Propiedades organolépticas

5.1 Introducción

El humano ha desarrollado a lo largo de la historia técnicas y métodos para la conservación o mejora de los alimentos, siempre buscando las opciones más adecuadas para la conservación de sus características nutrimentales, organolépticas incluso visuales. Dentro de estas técnicas se encuentra el ultrasonido, la cual es una opción cada vez más viable.

Las técnicas de implementación del ultrasonido en alimentos se han convertido en una tecnología emergente, para analizar y modificar alimentos, las cuales está compuesta por ondas cuya frecuencia se encuentra fuera del límite del oído humano, tan altas para ser detectadas por estar aproximadamente cerca de los 20KHz (Awad *et al.* 2012; Natarajan, 2020). El ultrasonido cuando es propagado a través de una estructura biológica como son los alimentos induce una compresión y una depresión en las partículas propagando un alta de energía que puede ser emitida.

Por los equipos y requerimientos utilizados, el ultrasonido se podría considerar ambientalmente sustentable, una situación importante a considerar, según las tendencias actuales a observar el impacto en el ambiente debido a los recursos usados y los residuos producidos (Robles-Ozuna 2012). En este capítulo se presentan las generalidades del ultrasonido aplicado al procesamiento de los alimentos, su funcionamiento y aplicaciones.

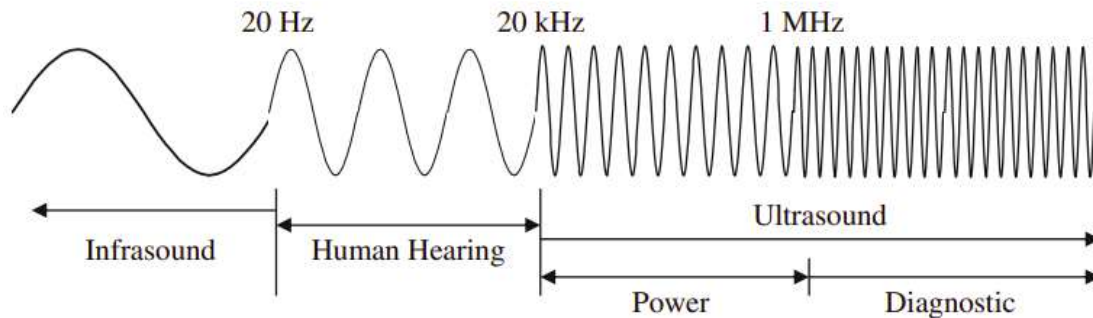
5.2 Generalidades del ultrasonido

El ultrasonido para el procesamiento y conservación de alimentos (Chemat *et al.* 2004; Robles-Ozuna, 2012) representa una onda alta de presión de frecuencia, la presión de onda pasa a través de un medio, allí observamos las regiones de alta y baja frecuencia. El tamaño de variación de presión de la onda será la amplitud de presión y será directamente proporcional al promedio de energía aplicado al sistema (Feng *et al.* 2011).

Esta onda pasa a través de un medio viscoso ya sea por agua y por aire, donde se disipará esta energía a través de un medio de flujo viscoso, esto referido a un proceso transmisión constante. Esta es una forma de energía que viaja en ondas de sonido aproximadamente a 20000 vibraciones por segundo (Hoover, 2000).

El rango del ultrasonido puede ser dividido en Alta frecuencia, ultrasonido de baja energía en el rango de MHz y el de baja frecuencia, ultrasonido de alta energía en el rango KHZ Figura 5.1 (Robles-Ozuna, 2012). Según Robles-Ozuna el ultrasonido es generado por una corriente eléctrica que se transforma mediante transductores, los más empleados son: transductores conducidos por líquidos, de magneto rígido y piezoeléctricos. Algo importante a mencionar, las ondas ultrasónicas de alta intensidad generan una sinergia con otros tipos de energía estimulando, acelerando o mejorando diversos procesos (Knorr *et al.* 2004).

Figura 5.1 Espectro del sonido



Fuente: Espectro de frecuencias del sonido, se pueden observar la Alta frecuencia MHZ y la baja frecuencia KHZ, Feng, 2011

5.3 Mecanismos

Los mecanismos del Ultrasonido se pueden clasificar en dos térmicos y no térmicos, en los primeros encontramos generación de energía calórica y en el segundo proceso como: cavitación, rarefacción, radiación, formación de radicales libres y choques micromecánicos (Delgado, 2012).

5.3.1 Proceso de Cavitación

Este proceso está ligado al efecto del ultrasonido, se refiere en general a que la mayoría de los líquidos son inelásticos e incompresibles cuando son pasados a través del ultrasonido se forman microburbujas de gas y en forma de vapor, las cuales se destensan por la presión de onda (Feng, 2011; Krasulya *et al.* 2016).

Las burbujas formadas empezaran a expandirse y posteriormente colapsar bajo la influencia de un campo de ultrasonido, este colapso podrá ser sinusoidal, alternativamente para ciertos tamaños de burbujas y presiones acústicas, la fase expansión de la burbuja está acompañada de un violento colapso regresando al tamaño de una burbuja pequeña. Después de este colapso se generan cambios de temperatura y cambios de presión causando cambios químicos. Lo interesante del proceso, es que, según la frecuencia y la longitud de onda utilizadas, se logra controlar los cambios esperados o requeridos. Los efectos que genera el Ultrasonido pueden ser a diferente nivel, como es celular, enzimático mecánico, entre otros, lo que permite utilizarlo a diferente escala según los requerimientos.

a) Efecto en células vivas: a través de la estimulación de actividad

Un ejemplo de esta técnica utilizando baja potencia en los alimentos, es que activa el medio del líquido nutriente para aumentar la tasa de crecimiento de las células, este resultado se ve esencialmente en el incremento de producción de proteína, tal es el caso del yogurt que es sometido a este proceso (Mason T.J. 1996).

b) Efecto en células vivas: Destrucción sonoquímica

Utilizada como técnica de limpieza ha sido probada como una eficiente tecnología, es particularmente utilizada descontaminar superficies, así como esterilizar ya sea en proceso de la industria alimentaria, instrumentos para medicina y dentales. También utilizada para la limpieza de los huevos, los cuales al ser retirados de los criaderos para que no se contaminen explotan después de 10 días, utilizando el ultrasonido en ellos es posible evitar esta problemática (Mason T.J. 1996)

c) Efecto en enzimas

El poder del ultrasonido en las enzimas puede tener un efecto positivo, aunque si la intensidad es muy alta puede desnaturalizar la enzima. El ultrasonido puede ser utilizado como una actividad enzimática inhibida (Mason T.J. 1996).

5.3.2 Antecedentes en la aplicación de Ultrasonido en la industria alimentaria

Las aplicaciones de la técnica de ultrasonido en los alimentos comenzaron después de la segunda guerra mundial. Para los 60s los usos industriales fueron aceptados. Recientemente la mayoría de las técnicas que aplican ultrasonido son no invasivas (Dolatowski *et al.* 2007). Se está probando en procesos celulares, desinfección de superficies y efectos enzimáticos. Los usos más comunes son en procesos como Secado, extracción, sellado ultrasónico, cristalización, detección de fugas en latas y botellas, emulsificación, filtración, Cambio de fase, congelado entre otros. Básicamente la aplicación de Ultrasonido es de las siguientes maneras: Aplicación directa, utilizando un dispositivo o mediante un baño ultrasónico (Chemat *et al.* 2011). A continuación, se describen algunos de los procesos que actualmente presentan mayor desarrollo al usar Ultrasonido:

a) Procesos de extracción asistidos por ultrasonidos

La técnica para la extracción de un solvente de un material vegetal, está basada en la elección del solvente adecuado y el uso correcto de agitación y calor. Este proceso de extracción ha sido mejorado a través del uso del ultrasonido ya que proporciona una mejor acción del solvente dentro de los materiales celulares y mejora la transferencia de masa. Este estudio se ha comprobado a través de la extracción de azúcar en la remolacha, otro ejemplo es la extracción de proteína en la soya (Mason T.J. 1996).

b) Ultrasonido en productos cárnicos

Esta técnica consiste abrir la miofibrilla de la carne la cual libera una parte pegajosa la cual es la que une la carne lo cual provoca un aumento en la fuerza del producto o alimento, al abrir estas microfibrillas la carne tendrá más suavidad (Mason T.J. 1996).

c) Cristalización y congelamiento

El proceso de ultrasonido durante la cristalización ha resultado muy útil en varias etapas desde el inicio y durante formación de cristales, debido a la acción de cavitación los cristales provocados por el congelamiento no son incrustados en el producto, provocando una eficiente transferencia de calor, ha sido reportado este uso para clarificar los vinos (Mason T.J. 1996).

d) Ultrasonido por emulsión

Las emulsiones generadas por ultrasonido son más estables ya que las gotas obtenidas son más pequeñas comparadas con los productos por emulsión tradicional sin este método, ejemplos de este método es en la producción de salsa de tomate y mayonesa (Mason T.J. 1996).

e) Filtración y secado

Remover suspensiones de sólidos de un líquido es común en muchas industrias como lo es la alimentaria. Mediante la técnica de ultrasonido en la extracción La tasa de flujo que pasa a través de un filtro se puede incrementar. Las metodologías convencionales utilizan filtros los cuales al ser utilizado se empiezan a obstruir y deben ser remplazados. Existen dos efectos durante el proceso de extracción por ultrasonido, se provoca una aglomeración de partículas fina las cuales abastecen una gran energía vibracional al sistema para conservar las partículas suspendidas, dejando más caminos para separar el solvente, provocando una excelente filtración, utilizado para extraer la pulpa del jugo de manzana (Mason T.J. 1996).

Los efectos físicos y mecánicos de cavitación son importantes y las aplicaciones son amplias a continuación se enlistan en la tabla 5.1, al tener en cuenta los sustratos donde se tiene diversos efectos, nos dan la pauta para aplicar la técnica según los requerimientos.

Tabla 5.1 Aplicaciones de ultrasonido en alimentos (Tomado de Mason T.J. 1996)

| Efectos o aplicaciones | Actividad |
|----------------------------------|---|
| Efectos en células vivas | Estimulación de la actividad Destrucción sonoquímica |
| Efectos en enzimas | Estimulación de la actividad controlada para desnaturalizar |
| Efecto de impacto en superficies | Mejora de impregnación Mejora de extracción |
| Aplicaciones varias | Procesamiento de carne Cristalización y Congelamiento Emulsificación Filtración y Secado Tratamiento en granos de arroz |

Efectos del ultrasonido en distintos sustratos, se muestra la actividad que tiene sobre cada uno de ellos

La combinación de técnicas, genera procesos combinados de mayor impacto, por ejemplo, en la tabla 5.2, el uso del Ultrasonido y tratamientos térmicos o de presión, generan opciones de mayor impacto, con mejores resultados, manteniendo así las condiciones óptimas del alimento.

Tabla 5.2 Procedimientos innovadores generados por el uso de Ultrasonido

| Procedimiento | Tratamiento |
|------------------------|--|
| Termoultrasonificación | Tratamiento Térmico Suave (<100°C, Habitualmente entre 50-60°C) |
| Manosonicación | Incrementos de presión (<600 MPa) |
| Manotermosonicación | Tratamiento Térmico suave Incrementos de presión Ultrasonido |
| Sonocristalización | Control de la microestructura y modificar las características texturales de productos Grasos |

Nuevos procedimientos obtenidos por la combinación de diversos procedimientos. Fuente Herrero y Avila, 2006

5.4 Ultrasonido de Baja y Alta potencia en alimentos

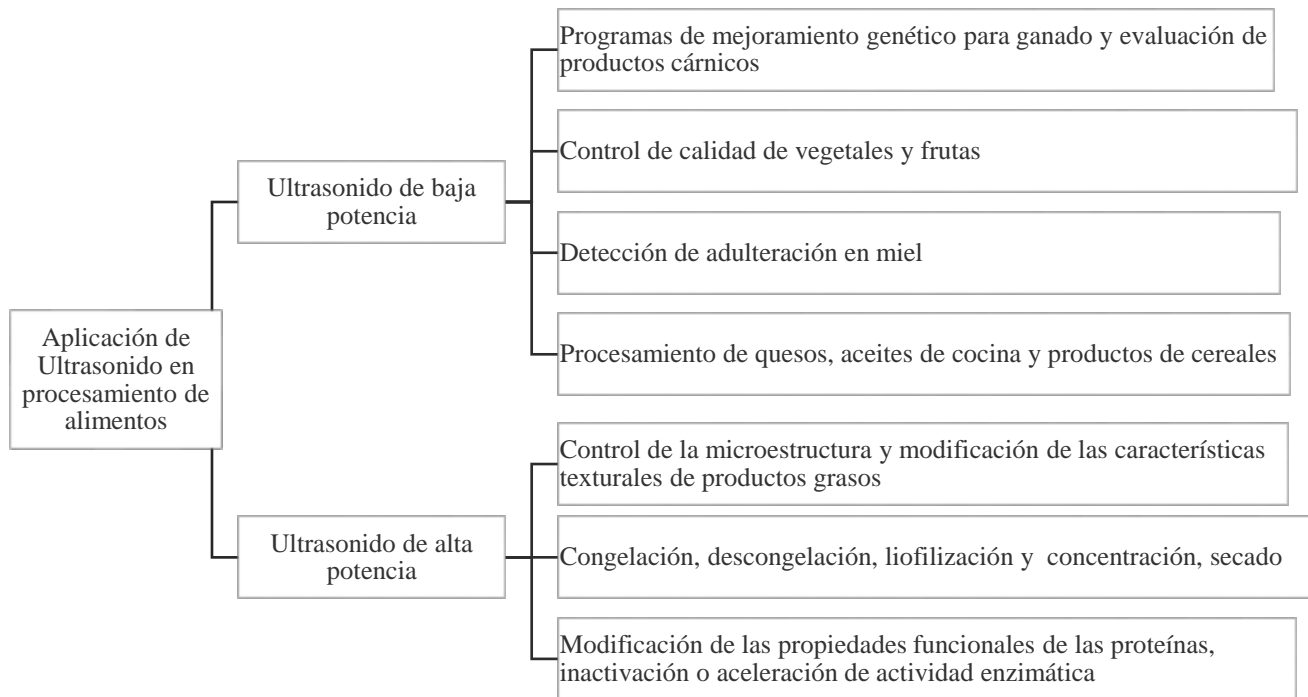
La baja potencia del ultrasonido es usada para monitorear propiedades y composición fisicoquímicas de los alimentos a través de la cavitación esta técnica es utilizada durante el proceso de almacenamiento, la cual es crucial para controlar las propiedades y calidad de los alimentos (tabla 5.3). El uso de Ultrasonido de Baja o Alta densidad genera diferentes condiciones en el alimento, por ello dependiendo de los requerimientos debe ser el tratamiento utilizado.

Tabla 5.3 Distinción entre baja y alta potencia

| Baja potencia | Alta potencia |
|---|--|
| – Técnica no destructiva | – Técnica destructiva |
| – Ayuda a conocer las propiedades fisicoquímicas tales como el estado físico, composición y estructuras | – Ayuda a conocer las propiedades fisicoquímicas como: velocidad de emulsión |
| – No modifica las propiedades de los alimentos | – Modifica las propiedades de los alimentos |

Descripción de los efectos en los alimentos de la Baja y la Alta frecuencia (Natarajan, 2020)

La figura 5.2 muestra algunas aplicaciones de alta o baja potencia, considerando las implicaciones que tienen sobre la materia, se han utilizado principalmente para mejorar condiciones como manipulación, conservación y modificación de los alimentos.

Figura 5.2 Aplicaciones de Ultrasonido de baja y alta potencia

Aplicaciones de Ultrasonido de baja y alta potencia en manejo, procesamiento y conservación de alimentos. Fuente Ulloa, et al. 2013

5.5 Ejemplos de aplicación de Ultrasonido en alimentos

- a. *Extracción de metabolitos secundarios:* En frutas y verduras se obtienen una serie de compuestos como pigmentos, antioxidantes, lípidos, saborizantes entre otros, dirigidos al área de los alimentos, cosmética, farmacéutica (CAMPO-VERA et al, 2018).
- b. *Eliminación de contaminantes en vegetales crudos y huevos.* Usando Ultrasonificación
- c. *Desactivación de pectin metilesterasa y poligalacturonasa.*
- d. *Inactivación de bacterias.* *Listeria innocua* y bacterias mesófilas presentes en leche (Earnshaw et al. 1995).
- e. *Prolongar vida de anaquel de semillas como cacahuates.* Al inhibir la oxidación lipídica y combinación de ultrasonido combinado con antioxidantes y recubrimientos de carboximetilcelulosa, (Wambura et al. 2010)
- f. *Limpieza de Superficies* (CAMPO-VERA et al. 2018).
- g. *Productos de panadería.* Mejoramiento de textura, propiedades como viscosidad y color, actividad de agua.
- h. *Aumentar la velocidad de secado en la liofilización del bacalao* (García, 2008).
- i. *Valoración del contenido de azúcar en jugos de frutas.* Uso de Ultrasonido para determinar el contenido de azúcares en bebidas frutales.
- j. *Medición de la cristalización de emulsiones.* Siendo una forma de identificar la calidad de margarinas, cremas, mantequillas y helados.
- k. *Congelación de alimentos.* Medición del grado de congelamiento de alimentos.
- l. *Sonocristalización.* Control de la cristalización de grasas en alimentos como chocolate, margarinas, mantequillas, helados.
- m. *Aplicación de Ultrasonido en pulpa de mango* (*Mangifera indica*). Aplicación sobre las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y reológicas (Porrás et al., 2011).
- n. *Esterilización de mermeladas, huevo líquido.* Uso de Manosonicación y manotermosonicación.
- o. *Extracción de polisacáridos con asistencia de ultrasonido* (Pérez-Campos, 2016).

5.6 Sustentabilidad

La extracción por medio de Ultrasonido (aun combinando procesos), utiliza menos compuestos tradicionalmente utilizados en la conservación y transformación de alimentos, así como la cantidad de energía utilizada, ya que es más eficiente la transferencia de masa y energía (CAMPO-VERA *et al.* 2018; Chemat *et al.* 2011), esto nos presenta el uso de Ultrasonido como una opción adecuada para cumplir estándares sustentables, que van enfocados principalmente a la optimización de uso de agua y energía, así como brindar opciones saludables al alcance de la población.

5.7 Conclusión

El uso de Ultrasonido como tecnología emergente, que considere los requerimientos actuales en cuanto a la mejorar la vida de anaquel y calidad de productos alimenticios, potenciar el uso de otras técnicas en la industria alimentaria, cada vez se vislumbra más estable (Patil y Gogate, 2018), es importante considerar su efectividad al mantener las propiedades de las proteínas tratadas con este método (Higuera-Barraza *et al.* 2016). El Ultrasonido es una técnica adecuada considerando la interacción con el alimento, apoyado en el proceso de cavitación y considerando el tipo de potencia a utilizar, ya sea baja o alta (Chandrapala *et al.* 2012). Siendo más eficaz que otros procesos como por ejemplo uso de solventes, procesos térmicos tradicionales, entre otros. Además de su eficiencia al conservar los nutrientes y características organolépticas de los alimentos. Aunque se deben trabajar aun la implementación de equipos adecuados, cada vez se vislumbra como una realidad en la industria alimentaria.

5.8 Referencias

- Awad, T. S., Moharram, H. A., Shaltout, O. E., Asker, D. Y. M. M., & Youssef, M. M. (2012). Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food research international*, 48(2), 410-427. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.05.004>
- Campo-Vera, y, Gélvez-Ordoñez, V. M., & Ayala-Aponte, A., (2018). Ultrasonido en el procesamiento (homogenización, extracción y secado) de alimentos. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 16(1), 102-113. <http://dx.doi.org/10.18684/bsaa.v16n1.628>
- Chandrapala, J., Oliver, C., Kentish, S., & Ashokkumar, M. (2012). Ultrasonics in food processing. *Ultrasonics sonochemistry*, 19(5), 975-983. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2012.01.010>
- Chemat F, Grondin I, Costes P, Moutoussamy L, Sing AS, Smadja J. High power ultrasound effects on lipid oxidation of refined sunflower oil. *Ultrason Sonochem.* 2004 Jul;11(5):281-5. doi: 10.1016/j.ultsonch.2003.07.004. PMID: 15157856.
- Chemat F., Zill-e-Huma, Muhammed Kamran Khan (2011). Applications of ultrasound in food technology. Processing, preservation and extraction. *Ultrasonic Sonochemistry* 18:813P835. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.11.023>
- Delgado, J. O. (2012). Aplicación del Ultrasonido en la Industria de los Alimentos. *Publicaciones e Investigación*, 6, 141-152. DOI: <https://doi.org/10.22490/25394088.1098>
- DOLATOWSKI, Zbigniew J., STADNIK, Joanna, STASIAK, Dariusz. Applications of ultrasound in food technology. *Acta Sci.Pol. Technol. Aliment.*, 2007, 6.3: 88-99. http://www.food.actapol.net/issue3/volume/8_3_2007.pdf
- Earnshaw R.G., J. Appleyard and R.M. Hurst. (1995). Understanding physical inactivation processes: combined Preservation opportunities using heat, ultrasound and pressure. *Int. J. Food Microbiol.* 28:197P 209. [https://doi.org/10.1016/0168-1605\(95\)00057-7](https://doi.org/10.1016/0168-1605(95)00057-7)
- Feng, H., Barbosa-Canovas, G., & Weiss, J. (Eds.). (2011). *Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing*. Food Engineering Series. 3-15 <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7472-3>

- García Pérez, J. V. (2008). Contribución al estudio de la aplicación de ultrasonidos de potencia en el secado convectivo de alimentos (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València). <https://doi.org/10.4995/Thesis/1025/1890>
- Herrero, A. M., & de Ávila, M. H. (2006). Innovaciones en el procesado de alimentos: Tecnologías no térmicas. *Revista de Medicina de la Universidad de Navarra*, 71-74. <https://revistas.unav.edu/index.php/revista-de-medicina/article/view/7633/6687>
- Hoover D.G. 2000. Ultrasound. Supplement Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies. *Journal of Food Science* pag.93 https://www.researchgate.net/publication/313047779_Kinetics_of_microbial_inactivation_for_alternative_food_processing_technologies
- Higuera-Barraza, O. A., Del Toro-Sanchez, C. L., Ruiz-Cruz, S., & Márquez-Ríos, E. (2016). Effects of high-energy ultrasound on the functional properties of proteins. *Ultrasonics Sonochemistry*, 31, 558-562. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.02.007>
- Knorr D., M. Zenker, V. Heinz and D.U Lee. 2004. Applications and potential of ultrasonic in food processing. *T. Food Science & Technol.* 15:261P266. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.12.001>
- Krasulya, O., Bogush, V., Trishina, V., Potoroko, I., Khmelev, S., Sivashanmugam, P., & Anandan, S. (2016). Impact of acoustic cavitation on food emulsions. *Ultrasonics sonochemistry*, 30, 98-102. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.11.013>
- Mason T.J., Paniwnyk L, Lorimer J.P., *The uses of ultrasound in food technology*, *Ultrasonics Sonochemistry* 1996, S253-S260. [https://doi.org/10.1016/S1350-4177\(96\)00034-X](https://doi.org/10.1016/S1350-4177(96)00034-X)
- Natarajan, S., & Ponnusamy, V. 2020. A review on the applications of ultrasound in food processing. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.516>
- Patil, L., & Gogate, P. R. (2018). Ultrasound assisted synthesis of stable oil in milk emulsion: Study of operating parameters and scale-up aspects. *Ultrasonics Sonochemistry*, 40, 135-146. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.07.001>
- Pérez-Campos, S. J., Chavarría-Hernández, N., Alfaro-Rodríguez, R. H., & Rodríguez-Hernández, A. I. (2016). Ultrasonido: tecnología emergente en la extracción de biomoléculas de interés para la industria de alimentos y farmacéutica. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*, 2(3). <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icap/n3/a5.html>
- Porras, O., González, G., Castellanos, A., Ballesteros, J., & Pacheco, M. (2011). Efecto de la aplicación de ondas de ultrasonido sobre las propiedades fisicoquímicas, reológicas y microbiológicas de pulpa de mango (*mangifera indica* L.) Variedad común. *Alimentos hoy*, 20(23), 52-77. <https://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/view/26>
- Robles-Ozuna, LE, & Ochoa-Martínez, LA (2012). ULTRASONIDO Y SUS APLICACIONES EN EL PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 13 (2),109-122. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81325441002>
- Ulloa, J., Rosas, P., Ramírez, J., & Ulloa, B. (2013). Ultrasonido: aplicaciones en el campo de los alimentos. *Revista: Nueva Época. Nayarit. México*. <https://mega.nz/file/wVR1UQrA#L3vDTxn5brRhJYRw6gZYqgeVr1R2u4IeWTU8bhFAZHM>
- Wambura P., W. Yang and N. Mwakatage. (2010). Reduction of roasted peanut lipid oxidative rancidity by power ultrasound and edible coatings containing natural extracts. *Journal of Food Process Engineering* 33:883–898. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2008.00313.x>