

Evaluación del efecto del ultrasonido en la homogenización del helado a base de leche

Evaluation of the effect of ultrasound on the homogenization of milk-based ice cream.

^{a,*}Yesenia Campo-Vera, ^bNidia Yazmín Luna-Granados; ^cMaría Fernanda Silva-Pinto

 ^a Magister en ciencia y tecnología de alimentos, investigacion@iser.edu.co, Instituto Superior de Educación Rural, Pamplona, Colombia.

 ^b Magister en ciencia y tecnología de alimentos, nluna@unipamplona.edu.co, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia.

 ^c Estudiante en tecnología en procesos agroindustriales, fergie9907@outlook.com, Instituto Superior de Educación Rural, Pamplona, Colombia.

Recibido: Julio 1 de 2022 Aceptado: Noviembre 8 de 2022

Forma de citar: Y. Campo-Vera, N. Y. Luna-Granados, M.F. Silva-Pinto, "Evaluación del efecto del ultrasonido en la homogenización del helado a base de leche", *Mundo Fesc*, vol. 12, no. s1, pp. 113-124 2022

Resumen

Antecedentes. El ultrasonido (US) ha presentado ventajas al ser aplicado en el procesamiento de alimentos mejorando notablemente las características y calidad de los productos. **Objetivo.** La investigación tiene como objetivo evaluar el efecto del ultrasonido a diferentes frecuencias (40 y 80 kHz) durante 30 min en el parámetro de viscosidad y cristalización del helado a base de leche a nivel de laboratorio. **Métodos.** Para lo cual, se realizó el proceso de elaboración del helado aplicando US (40-80kHz/30min) en la etapa de homogenización. Para la determinación de viscosidad se utilizó una aguja No.4 a velocidad de rotación de 10, 20, 50, 70 y 100 rpm, la medida se realizó sobre 600 mL de muestra. Para la identificación de la cristalización se realizó técnica de microscopia de luz transmitida a 4X con tinción con verde de malaquita. **Resultados.** Los resultados del parámetro de viscosidad mostraron que al aplicar US se observó una disminución significativa ($p < 0.05$) respecto a la muestra control, debido probablemente a la cavitación que produce ruptura de los glóbulos de grasa logrando una distribución de tamaño más fina mejorando la textura del producto. La cristalización de las muestras de helado tratadas con US evidencio la disminución significativa ($p < 0.05$) del tamaño del cristal con respecto a la muestra control, debido probablemente a que la cavitación reduce el tamaño del cristal logrando una distribución fina mejorando la textura del producto. **Conclusión.** Mostrando que el US es una tecnología eficiente y rentable para producir emulsiones estables.

Palabras clave: cavitación, cristal, emulsión, textura, viscosidad.

Autor para correspondencia:

*Correo electrónico: investigacion@iser.edu.co



Abstract

Background. Ultrasound (US) has presented advantages when applied in food processing, significantly improving the characteristics and quality of the products. **Objective.** The objective of the research is to evaluate the effect of ultrasound at different frequencies (40 and 80 kHz) for 30 min on the viscosity and crystallization parameter of milk-based ice cream at the laboratory level. **Methods.** For which, the ice cream production process was carried out by applying US (40-80kHz/30min) in the homogenization stage. For the determination of viscosity, a No.4 needle was used at a rotation speed of 10, 20, 50, 70 and 100 rpm, the measurement was made on 600 mL of sample. To identify crystallization, a 4X microscopy technique was performed with malachite green staining. **Results.** The results of the viscosity parameter showed that when applying US, a significant decrease was observed ($p < 0.05$) compared to the control sample, probably due to cavitation that produces rupture of the fat globules, achieving a finer size distribution, improving texture. of the product. The crystallization of the ice cream samples treated with US showed a significant decrease ($p < 0.05$) in the size of the crystal with respect to the control sample, probably due to cavitation that reduces the size of the crystal, achieving a finer distribution, improving the texture of the ice cream. product. **Conclusions.** Showing that US is an efficient and profitable technology to produce more stable emulsions.

Keywords: cavitation, crystal, emulsion, texture, viscosity.

Introducción

En la actualidad la demanda de los consumidores referente a los alimentos ha cambiado, prefieren productos inocuos y mínimamente procesados con un impacto mínimo en los parámetros nutricionales y de calidad [1], [2]. El ultrasonido (US) es una técnica novedosa usada en la industria alimentaria, ya que representa ventaja sobre los procesos tradicionales, al reducir tiempos de proceso, mejorar atributos de calidad, no alterar las principales características de los productos, reduce riesgos químicos, físicos y se considera tecnología verde al ser sustentable, debido a que emplea menos tiempo, agua y energía [3], [4].

El US son ondas acústicas que cubren un rango de frecuencias que va desde 20 hasta 100 MHz, y están fuera del rango normal del oído humano [5]. Otra definición la realizó Hoover, [6] en la cual establece como una forma de energía que viaja en ondas de sonido iguales o mayores a 20000 vibraciones por segundo. El US causa diferentes cambios en el medio que se propaga, iniciando por un calentamiento que se produce como consecuencia de la absorción específica de energía acústica por membranas y biomateriales, ocurriendo un aumento de

temperatura [7]. Este fenómeno se llama transmisión acústica o corriente acústica isotérmica, promoviendo la transferencia de calor siendo provocado por la vibración de las ondas [8].

El US genera una frecuencia intermitente por los electrodos que son conducidos por el material ferroeléctrico que polarizan las moléculas, que ocasiona atracción entre ellas en el campo eléctrico que causa deformación elástica del material ferroeléctricos [5]. Posteriormente, se logra la conversión a oscilación mecánica donde el sonido se trasmite a un amplificador junto al medio expuesto al US, este proceso se lleva a cabo por medio de transductores para medios líquidos, de magneto rígido y los piezoeléctricos que son los más utilizados por su eficacia y practicidad [5, 6].

La cavitación depende de muchos aspectos, entre éstos [5, 6]:

- **Frecuencia.** A mayores frecuencias, el tiempo dado a la burbuja para que crezca y afecte al sistema es pequeño, por lo que el efecto de la cavitación es menor.
- **Viscosidad.** Cuanto más viscoso es un líquido, menor es el efecto de la cavitación.
- **Temperatura.** Cuanto mayor es la

temperatura, la cavitación tiene lugar para intensidades acústicas menores.

- **Presión externa.** El aumento de este factor provoca una mayor violencia en la colisión de las burbujas.

- **Intensidad.** En general, a mayor intensidad ultrasónica, mayor es el efecto de este fenómeno.

- **Efectos estructurales.** La exposición de los fluidos a US de alta intensidad afecta sus propiedades estructurales, en particular su viscosidad; causado por la tendencia a la rigidez de los fluidos tixotropicos y dilatantes haciéndose menos viscosos.

- **Comprensión y extensión.** El material expuesto a US de alta intensidad, es sujeto a una serie de contracciones y extensiones alternadas rápidamente, facilitando el movimiento de agua por la creación de nuevos canales; los materiales densos se fracturan bajo esta acción.

- **Turbulencia.** El US de alta intensidad en líquidos de viscosidad baja produce agitación violenta, la cual es utilizada para dispersión de partículas.

Según sus frecuencias se dividen en dos clases: Los de baja frecuencia que van de los 16 hasta los 100 KHz y son aplicados a la industria alimentaria y los de alta frecuencia que van de los 100 KHz hasta los 1 MHz y son aplicados para técnica analíticas [5].

Al combinarse con otras técnicas o procesos industriales se conocen como [5, 6]:

- El US al unirse a temperaturas menores a los 100 °C se denomina termoultrasonificación.
- El US al unirse a presiones menores a los 600 MPa se denomina manosonificación.
- El US al unirse a presiones menores a los 600 MPa y temperaturas menores a los 100 °C se denomina manotermosonificación.

Las dos clases de equipos de US que se utilizan en laboratorio, basados en los transductores que generan las ondas ultrasónicas, se encuentra

de primera el baño de US que maneja diferentes capacidades de volumen según la aplicación y el segundo la sonda ultrasónica que debe penetrar la muestra [7].

El efecto más relevante del US es la cavitación que es la formación, crecimiento y destrucción violento de pequeñas burbujas o vacíos en líquidos como consecuencia de la fluctuación de la presión [5], generando temperaturas altas (5000°C) y presiones en puntos definidos dentro del líquido (1000atm) [9]. Causa efectos mecánicos como: presión de colapso, turbulencias y tensiones tangenciales y químicos formación de radicales libres, debido al hidrólisis del agua dentro de las burbujas oscilantes que conduce a la formación de H⁺ y OH⁻ [10].

En la industria alimentaria, el US se ha utilizado en gran variedad de procesos alimentarios como: extracción, homogenización, secado, cristalización, fermentación, inactivación microbiana, enzimática, entre otros [2]. El US se ha utilizado en el procesamiento de productos lácteos para mejorar la ultrafiltración de suero, homogenización, inactivación y descontaminación microbiana, fermentación, emulsiones, detección de cuerpos extraños y en una amplia variedad de productos como; yogurt, helado, leche, queso, mantequilla [9], [11], [12].

El ultrasonido en la industria alimentaria presenta ventajas como: ser amigable con el medio ambiente, al reducir la utilización de solventes, costos de operación y energía (tasa de transferencia de calor y masa), sin alterar la calidad del producto final, tiene efectos positivos en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de diferentes materias primas y procesos alimentarios, mejora la eficiencia de procesos como secado, filtrado, fermentación y descongelación. Así mismo, el US mejora la calidad y pureza del producto final, al potenciar sus propiedades

nutricionales, organolépticas, firmeza y textura, conservando mejor el producto al incrementar los tiempos de almacenamiento y conservación- [11, 12, 13].

Entre las desventajas que presenta el US al aplicarse en altas intensidades es que causa pérdida de propiedades fisicoquímicas, sensoriales y nutricionales en algunos alimentos por las altas temperaturas que genera, no es efectivo ante algunos microorganismos o enzimas y por ultimo genera radicales libres que forma durante la cavitación que causan oxidación de lípidos que generan enranciamiento y alteración a la estructura de la proteína que modifica negativamente el producto final [10].

En la fabricación de helados el proceso de homogenización es relevante para determinar la calidad final del producto, diferentes estudios han demostrado que el US causa en la homogenización reducción del tamaño de los glóbulos de la grasa, dando mayor estabilidad de la emulsión y una mejor distribución del tamaño de las partículas [12], [13], [14]. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del ultrasonido a diferentes frecuencias (40 y 80 kHz) durante 30 min en el parámetro de viscosidad y cristalización del helado a base de leche a nivel de laboratorio.

Materiales y métodos

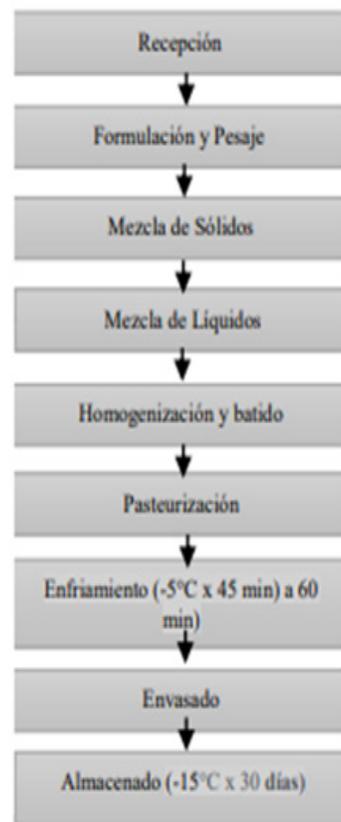
• **Localización.** La investigación se llevó a cabo en la Planta Agroindustrial del Instituto Superior de Educación Rural – ISER de Pamplona, Norte de Santander, Colombia, a una altitud de 2200 ms.n.m. La temperatura media diurna dentro del laboratorio fue de $14 \pm 2^\circ\text{C}$ y una humedad relativa promedio del 80%.

• **Elaboración del helado.** Se realizó la elaboración del helado siguiendo la metodología de Palma et al. [13] como se describe en el flujograma 1, con una formulación que

consistía en 15% de grasa láctea, 5% de leche en polvo, 20% la mezcla de azúcar, 60% de leche y 0,2% de emulsificante, se pasteurizó por lotes a 75°C por 15 min y homogenizado. El enfriado a 4°C y madurado durante 24h, con almacenamiento a -15°C durante 30 días.

• **Tratamiento con ultrasonido.** Se realizó en la etapa de homogenización, empleando baños ultrasónicos marca Branson 1510 (40KHz) y BIOBASE UC-20S (80KHz) durante 30 min con 3 réplicas de cada uno para los análisis estadísticos.

• **Determinación de la Viscosidad.** Se utilizó un viscosímetro (Brookfield modelo RVT) con aguja No.4 y velocidad de rotación de 10, 20, 50, 70 y 100 rpm. La medida se realizó sobre 600 mL de muestra y los resultados se expresaron en centipoises (cps).



Flujograma 1. Proceso de elaboración de los helados a base de leche

Fuente: Palma et al. [13]

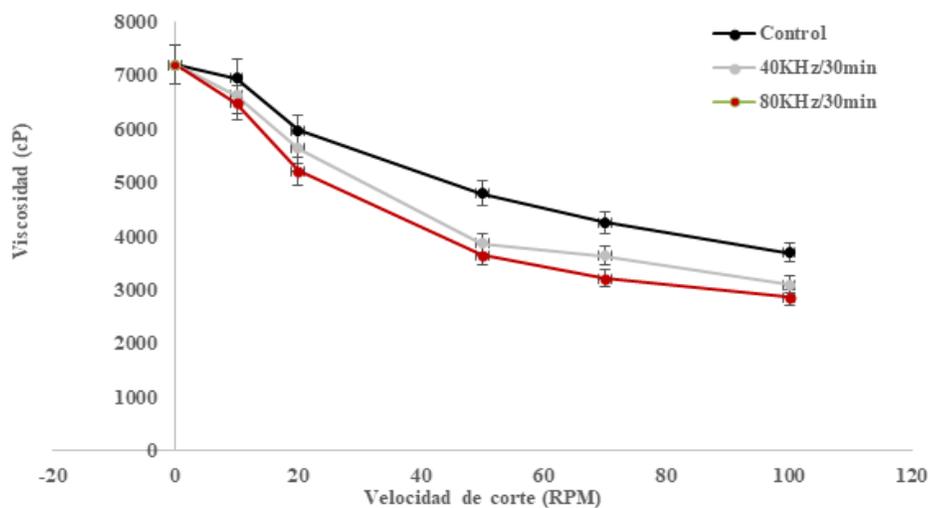
• **Observación con microscopio de luz**

transmitida. Se realizó en microscopio binocular de luz transmitida (CARL ZEISS), siguiendo la metodología de Nisa et al. [15], donde se colocó un 1 mL de crema del helado en un portaobjeto y se mezclaron con 100 ml de azul Nilo (0,33% w/w solución en agua), tinte específico para grasa; las muestras se observaron con lente de objetivo 4x.

• **Análisis estadístico.** Los resultados obtenidos fueron tratados estadísticamente a través de análisis normal de varianza (ANOVA) y con el fin de discernir mejor los resultados del ANOVA se utilizó la prueba post hoc de Diferencias Mínimas Significativas (DMS). Los experimentos se realizaron por triplicado y fueron efectuados utilizando el paquete de software estadístico SPSS versión 26.0.

Resultados y discusión

Los resultados del parámetro de viscosidad se pueden observar en la figura 1 donde se evidencia que al aplicar US (40 y 80 KHz durante 30 min) se observó una disminución significativa respecto a la muestra control, debido probablemente a la cavitación que produce ruptura de los glóbulos de grasa logrando una distribución de tamaño más fina mejorando la textura del producto y el procesos de emulsificación [3], [9].



Según LeGris et al. [10] la reducción del tamaño de la grasa de las partículas por US depende de la potencia aplicada, la vibración acústica conduce a una dispersión de las gotas de grasa en la fracción acuosa de la leche a través de turbulencia; con la ruptura y reducción del globo de grasa menores de 1 μm . Este cambio produce un aumento en la unión de la caseína con los glóbulos de grasa que mejoran el proceso de gelificación [17], [18].

Figura 2. Resultados del parámetro de viscosidad de las muestras de helado a base de leche control y tratadas con ultrasonido. Las barras verticales corresponden al error estándar n=3.

Estudios realizados por Mudri et al. [19] observaron una disminución de la viscosidad y mejora de la estabilidad térmica de los ingredientes que contienen las proteínas de suero de leche debido a la reducción del tamaño de las partículas. Chandrapala et al. [20] reportaron disminución de la viscosidad debido a la ruptura agregados de proteína de caseína de suero de leche reconstituida tratada con ultrasonido (450 W, 20 kHz, 10°C, durante 1-60 min).

Nguyen & Anema, [21] evaluaron la aplicación de US (frecuencia de 22,5 kHz/50 W/20 a

80°C/0 a 30 min) en leche entera, observando que este reduce significativamente el tamaño los glóbulos de grasa en comparación de la homogenización convencional, en productos como yogures y leche descremada a base de leche entera termosonicada causa una incremento en la firmeza; debido a la cavitación que causa turbulencia, colisiones violentas, fuerzas cizalla y aumento de temperatura durante el proceso [20],[22]. En la figura 2 se describe el proceso de cavitación provoca cizalla, que en el caso de los fluidos tixotrópicos provocan una disminución de la viscosidad, si se aplica suficiente energía, el peso molecular puede ser disminuido dando lugar a una disminución permanente de la viscosidad [23].

Nguyen & Anema, [21] observaron que al aplicar a la leche entera una frecuencia de 22,5 kHz/50 W a 20 a 80°C durante 0 a 30 min de US se reduce considerablemente el tamaño de la partícula grasa en comparación a la homogenización convencional en yogures y leche descremada, mejorando la firmeza del producto final [20],[22]. La cavitación provoca cizalla, que en el caso de los fluidos tixotrópicos provocan una disminución de la viscosidad, si se aplica suficiente energía, el peso molecular puede ser disminuido dando lugar a una disminución permanente de la viscosidad [23].

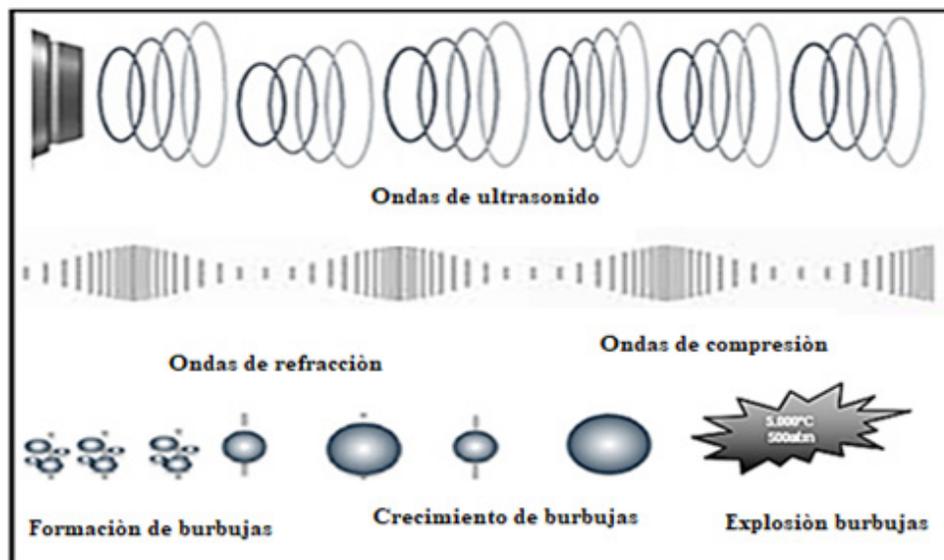


Figura 3. Representación grafica del efecto causado por el ultrasonido

Fuente: Adaptada de Soria y Villamiel, [23].

Caballero et al. [9] reportan que el ultrasonido de alta intensidad (UIH) en el procesamiento de lacteos mejora la emulsificación y homogeneización, al disminuir el tamaño de glóbulos de grasa, mejorar la viscosidad, reduce el tiempo de la fermentación mejorando la hidrólisis de lactosa y la capacidad de retención de agua al reducir la sinéresis; además, de contribuir a la formación de un gel más firme y estable, debido a la desnaturalización del suero de proteínas y a la coagulación de estas.

En la figura 3 se observan las microestructuras usando microscopia de luz transmitida de las muestras de crema del helado tratadas con y sin US a -5°C. La muestra control se observa las gotas de grasa de mayor tamaño respecto a la tratada con US (Figura 2a). La microestructura de crema del helado sonicada a 40KHz durante 30min (Figura 2b) mostró zonas de color negro grisáceo que contienen cristales de grasa de tamaño menor. La microestructura

de crema del helado sonicada a 80KHz durante 30min (Figura 4), se aprecian unos glóbulos de grasa coloreados de marrón oscuro de menor tamaño a las otras dos muestras.

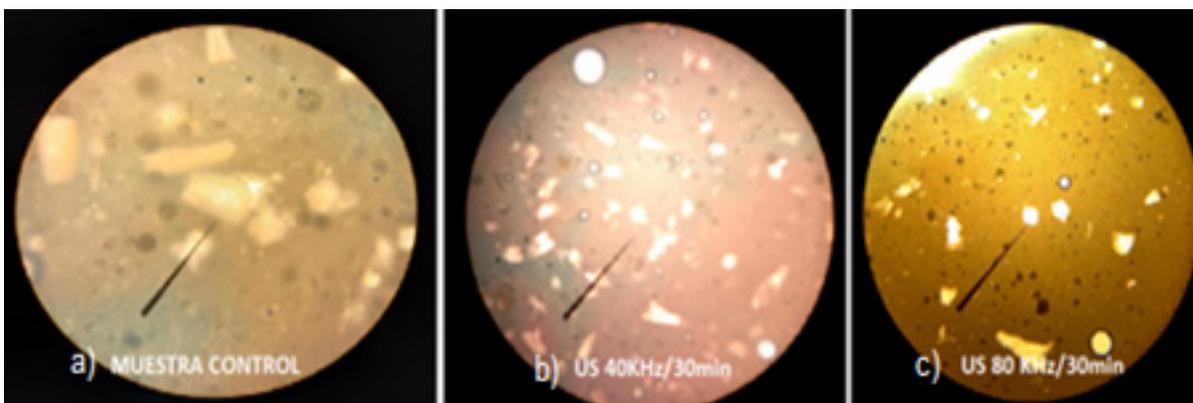


Figura 4. Observación de microestructuras usando microscopia de luz transmitida de las muestras de helado a base de leche control y tratadas con ultrasonido.

Resultados similares obtuvieron Gregersen et al. [24] al mezclar grasa de leche anhidra y grasa de leche/aceite de colza en un sistema de celda de flujo de 110 ml aplicando US a 20 kHz, 40 W a 28 °C, el US redujo el tamaño de los cristales de grasa, debido probablemente a que la cavitación induce la nucleación y la reducción en el tamaño del cristal y aumenta el número de cristales muy pequeños en la suspensión que da como resultado una mayor superficie de área que aceleran el proceso de cristalización [25].

Gregersen et al. [24] han demostrado un uso potencial del HIU para acelerar la cristalización de lípidos, creando una red cristalina que consta de muchos cristales pequeños, debido a los cambios de presión que pueden aumentar el punto de fusión y generar fuerzas de cizallamiento y turbulencia que afectan la cinética de cristalización formando sitios activos para la nucleación secundaria [20].

Carrillo et al. [9] afirman que el US constituye una tecnología con potencial de aplicación para acelerar la cristalización de mezclas de grasa láctea anhidra y aceites vegetales. De igual manera estudios realizados por Martini et al. [26] mostraron que mediante la aplicación de HIU se alteró el comportamiento de cristalización de un sistema modelo de lípidos (grasa de leche anhidra) mejorando la red cristalina de los lípidos obteniendo productos más viscosos como mayonesa, margarina y pastas para untar; sin afectar las cualidades fisicoquímicas y sensoriales.

El método de congelación asistido por ultrasonidos permite acelerar la congelación mejorando la nucleación del hielo y mejorando la tasa de transferencia de masa y calor, causando la formación de cristales pequeños que permiten una mayor retención de los atributos de calidad inicial de los alimentos; en comparación a los métodos de congelación convencionales [27]. El US mejora la tasa de transferencia de calor en la etapa descongelación, evitando así el deterioro causado por microorganismos y enzimas sobrevivieron en los productos alimenticios conservando los atributos originales de los alimentos congelados [28],[29].

En el procesamiento de helados se ha evidenciado que el US mejora el proceso de congelación, la transferencia de calor y masa, mejora la nucleación, reduciendo el tamaño de los cristales de

grasa y en la formación uniforme de estos mejorando la textura del producto[14],[30]. Estudios realizados Mortazavi y Tabatabaie [31] mostraron que al aplicar 20 KHz durante 20 min se observó una reducción del 30% en el tiempo de congelación en la fabricación de helados, mejorando la calidad del producto, al evitar las incrustaciones en la superficie de congelación y potencializar la percepción del sabor.

Kim & Suslick, [32] realizaron una revisión de la aplicación del ultrasonido en el proceso de cristalización de diferentes soluciones, concluyendo que esta tecnología afecta significativamente las propiedades del producto final y la eficiencia; la figura 4 muestra como el ultrasonido genera cristales con un tamaño más pequeño y una distribución más homogénea en comparación con la técnica de cristalización tradicional.

Según Akdeniz & Akalın, [33] el ultrasonido mejora la distribución de las burbujas de aire y reduce el tamaño de los cristales en la mezcla de helado, proporcionando una mayor consistencia y viscosidad en el producto al lograr una percepción sensorial en la boca más cremosa; parámetros relevantes para determinar la calidad ante los consumidores, favoreciendo la rentabilidad y eficiencia de la fabricación de helados al reducir tiempos en el proceso de congelación y disminución energética.

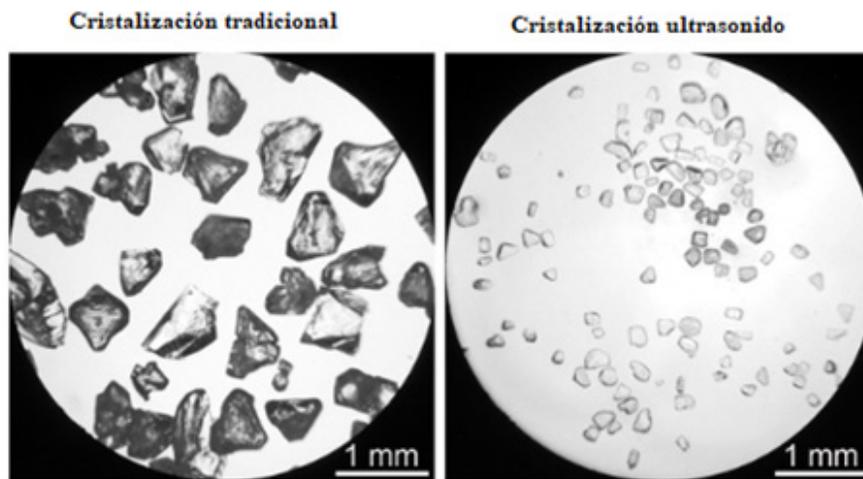


Figura 5

trasonido.

Fuente: Kim & Suslick, [32].

Así mismo, Chow et al. [34] evaluaron el efecto del ultrasonido a 67 kHz en los cristales de hielo en solución de sacarosa al 15 %, observando detalladamente como se forman las dendritas del hielo por una nucleación primaria y como el ultrasonido las fragmenta, produciendo una segunda nucleación alrededor de estos (Figura 5).

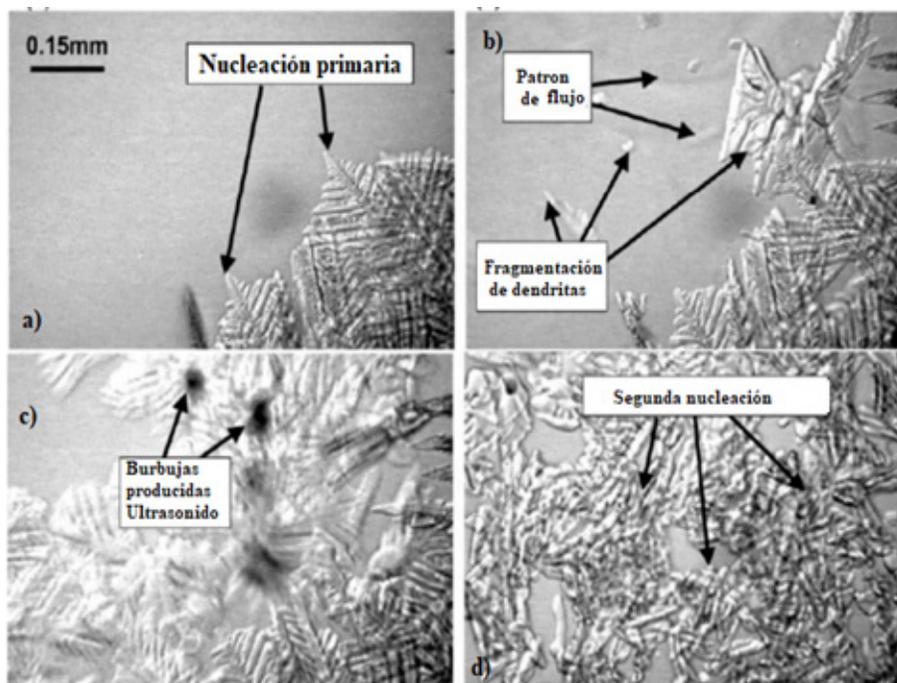


Figura 5. Micrografías ópticas de cristales de hielo en solución de sacarosa al 15 %, (a) Nucleación primaria sin ultrasonido, (b) patrones de flujo y fragmentación de dendritas de hielo después 1,36 s de sonicación, (c) sonofragmentación de cristales de hielo después de 2,38 s de sonicación, y (d) secundaria nucleación y crecimiento de cristales después de 17,38 s de sonicación. Fuente: Chow et al. [34]

Conclusiones

En este estudio, mostro que el US a diferentes frecuencias (40 y 80 kHz/30min) causa disminución en el parámetro de viscosidad y disminuye notablemente el tamaño de los cristales de grasa del helado a base de leche a nivel de laboratorio; evidenciando que la aplicación del US es una técnica complementaria potencial para mejorar el rendimiento de los procesos de congelación y descongelación de alimentos. El US puede mantener mejor la microestructura, reducir la pérdida por goteo, disminuir los cambios de color y textura y retener algunos nutrientes naturales de los alimentos durante la congelación.

El US se considera una tecnología versátil, innovadora y verde al ser no tóxica y respetuosa del medio ambiente, ya que ahorra energía y maximiza la producción. El campo de aplicación del US es diverso en la ciencia y tecnología de los alimentos, incluyendo métodos de análisis y elaboración de alimentos, como la congelación, secado, templado, la homogeneización, la desgasificación, antiespumante, filtración, extracción, estudio de la composición y conservación de alimentos. Con ventajas significativas en comparación a tratamientos térmicos como: minimizar la pérdida de sabor, el aumento de la homogeneidad, el ahorro de energía, alta productividad, mejorar la calidad, la reducción de riesgos químicos y físicos, entre otras; sin efectos adversos sobre la salud humana [35].

Futuras tendencias

El siglo XXI, ha demostrado que los avances tecnológicos en la industria alimentaria han

sido de gran relevancia al ofrecer productos mínimamente procesados que conservan su valor nutricional y calidad, siendo prácticos e innovadores en sus preparaciones. Para lo cual, se requieren de investigaciones e inversión de empresas privadas y públicas, para evaluar el efecto de diferentes tecnologías como: ultrasonido, campos magnéticos y microondas, entre otros; que aseguren la calidad del producto y su conservación durante largos periodos de almacenamiento [35].

Conflictos de intereses

El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

Financiación

Este estudio fue financiado por Instituto Superior de Educación Rural-ISER de Pamplona.

Referencias

- [1] A. L. Bevilacqua, M. Petruzzi, B. Perricone, D. Speranza, M. Campaniello, Sinigaglia and M. R. Corbo, “Nonthermal technologies for fruit and vegetable juices and beverages: overview and advances”, *Comprehensive Reviews in Food Science Food Safety*, vol. 17, no.1, pp. 2–62, November 2018
- [2] A. Bevilacqua, D. Campaniello, B. Speranza, C. Altieri, M. Sinigaglia and M. Corbo, “Two Nonthermal Technologies for Food Safety and Quality—Ultrasound and High-Pressure Homogenization: Effects on Microorganisms”, *Advances, and Possibilities: A Review. Journal of Food Protection*, vol. 82, no.12, pp. 2049–2064, December 2019
- [3] J. Senrayan and S. Venkatachalam, “Ultrasonic Acoustic-Cavitation as a Novel and Emerging Energy Efficient Technique for Oil Extraction from Kapok Seeds”, *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* vol. 62, 102347, April 2020
- [4] V. Akdeniz and A. S. Akalin, “New Approach for Yoghurt and Ice Cream Production: High-Intensity Ultrasound”, *Trends in Food Science & Technology*, vol. 86, pp. 392-398, April 2019
- [5] T. J. Mason, “Ultrasonic cleaning: An historical perspective”, *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 29, pp. 519-523, March 2016
- [6] D. Hoover, “Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies”, *Journal of Food Science*, vol. 65, no. 8, pp. 93-95, November 2000
- [7] A. Corma, S. Iborra and A. Velty, “Chemical routes for the transformation of biomass into chemicals”, *Chemical reviews*, vol. 107, no. 6, pp. 2411-2502, May 2007
- [8] J. Zhang, and L. Fan, “Effects of Preliminary Treatment by Ultrasonic and Convective Air Drying on the Properties and Oil Absorption of Potato Chips”, *Ultrason. Sonochem.*, vol. 74, 105548, June 2021
- [9] L.M. Carrillo, I.A. Garcia, J. Tirado, et al., “Recent advances in the application of ultrasound in dairy products: Effect on functional, physical, chemical, microbiological and sensory properties”, *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 73, 105467, May 2021
- [10] A.M. Sani, and M. Sardarodiyani, “Ultrasound applications for the

- preservation, extraction, processing and quality control of food”, *BioTechnology, An Indian Journal*, vol.12, no. 4, pp. 162-174, 2016
- [11] M. Ashokkumar, R. Bhaskaracharya, S. Kentish, J. Lee, M. Palmer and B. Zisu, “The ultrasonic processing of dairy products – An overview”, *Dairy Science and Technology*, vol. 90, no. 2, pp. 147–168, March 2010
- [12] M. S. Firouz, A. Farahmandi and S. Hosseinpour, “Recent Advances in Ultrasound Application as a Novel Technique in Analysis, Processing and Quality Control of Fruits, Juices and Dairy Products Industries: A Review”, *Ultrasonics Sonochemistry*, vol.57, pp. 73–88, October 2019
- [13] S. Palma-Santana, J. Espinoza-Zambrano, L. Flores-Holguín y K. Reyna-Arias, “Elaboración de helado con diferentes concentraciones de leche de soya (glycine max)”, *Revista ExpamCiencia para el agro*, vol.11, no. 2, pp. 120-130, Diciembre 2020
- [14] N. Bhargava, R. S. Mor, K. Kumar and V. Singh Sharanagat, “Advances in application of ultrasound in food processing: A review”, *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 70, 105293, January 2021
- [15] F. Nisa, F. Zhu, C. Perera, L. Huang and Y. Hemar, “Ultrasound homogenization of milk cream at low temperature. Advances in Food Science”, *Sustainable Agriculture and Agroindustrial Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 153-161, December 2021
- [16] T. Leong, L. Johansson, R.S. Mawson, R. Mcarthur, P. Manasseh and P. Juliano, “Ultrasonically enhanced fractionation of milk fat in a litre-scale prototype vessel”, *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 28, pp. 118–129, January 2016
- [17] Y. Cheng, P. Donkor, X. Ren, J. Wu, K. Agyemang, I. Ayim and H. Ma, “Effect of ultrasound pretreatment with mono-frequency and simultaneous dual frequency on the mechanical properties and microstructure of whey protein emulsion gels”, *Food Hydrocoll*, vol. 89, pp. 434–442, April 2019
- [18] D. Van Hekken, J. Renye, A. Bucci and P. Tomasula, “Characterization of the physical, microbiological, and chemical properties of sonicated raw bovine milk”, *Journal of Dairy Science*, vol. 102, no. 8, pp. 6928–6942, August 2019
- [19] N.H. Mudri, L.C. Abdullah, M.M. Aung, D.R.A. Biak and R. Tajau, “Structural and Rheological Properties of Nonedible Vegetable Oil-Based Resin”, *Polymers*, vol. 13, no. 15, 2490, July 2021
- [20] J. Chandrapala and T. Leong, “Ultrasonic Processing for Dairy Applications: Recent Advances”, *Food Engineering Reviews*, vol. 7, pp. 143-158, December 2015
- [21] N. Nguyen and S. Anema, “Effect of ultrasonication on the properties of skim milk used in the formation of acid gels”, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol.11, no. 4, pp. 616-622, October 2010
- [22] R.D. Vega-Mejía and J.G. Jiménez-Marcano, “Éster de aceite de palma (elaeis guineensis) como aditivo deshidratante de crudos”, *Tecnología en Marcha*, vol. 35, no. 2, pp. 139-151, Abril-Junio 2022
- [23] A. C. Soria and M. Villamiel, “Effect

- of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review”, *Trends in Food Science & Technology*, vol. 21, no. 7, pp. 323–331, July 2010
- [24] S. B. Gregersen, R. P. Frydenberg, M. Hammershøj, T. K. Dalsgaard, U. Andersen and L. Wiking, “Application of high intensity ultrasound to accelerate crystallisation of anhydrous milk fat and rapeseed oil blends”, *European Journal of Lipid Science and Technology*, vol. 121, no. 1, 1800200, January 2019
- [25] S. Ma, X. Yang, C. Zhao and M. Guo, “Ultrasound-induced changes in structural and physicochemical properties of β -lactoglobulin”, *Food Science & Nutrition*, vol. 6, no. 4, pp. 1053–1064, June 2018
- [26] S. Martini, H. SuzukiA and R. W. Hartel, “Effect of High Intensity Ultrasound on Crystallization Behavior of Anhydrous Milk Fat”, *Journal of the American Oil Chemists’ Society*, vol. 85 no. 7, pp. 621–628, May 2008
- [27] L. Qiu, M. Zhang, B. Chitrakar & B. Bhandari, “Application of Power Ultrasound in Freezing and Thawing Processes: Effect on Process Efficiency and Product Quality”, *Ultrasonics Sonochemistry*, 105230, November 2020
- [28] S. Mahato, Z. Zhu and D. Sun, “Glass transitions as affected by food compositions and by conventional and novel freezing technologies: A review”, *Trends in Food Science & Technology*, vol. 94, pp 1-11, December 2019
- [29] R. Chow, R. Blindt, R. Chivers and M. Povey, “A study on the primary and secondary nucleation of ice by power ultrasound”, *Ultrasonics*, vol. 43, pp. 227-230, February 2005
- [30] J. T. Guimarães, C. F. Balthazar, H. Scudino, T. C. Pimentel, E. A. Esmerino, M. Ashokkumar and A. G. Cruz, “High-intensity ultrasound: A novel technology for the development of probiotic and prebiotic dairy products”, *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 57, pp. 12–21, October 2019
- [31] A. Mortazavi, and F. Tabatabaie, “Study of Ice Cream Freezing Process after Treatment with Ultrasound”, *Journal World Appl. Science*, vol. 4, pp. 188-190, march 2008
- [32] H. Kim, and K. Suslick, “The Effects of Ultrasound on Crystals: Sonocrystallization and Sonofragmentation”, *Crystals*, vol. 8, pp. 280-300, July 2018
- [33] V. Akdeniz, and A. S. Akalın, “New Approach for Yoghurt and Ice Cream Production: High-Intensity Ultrasound”, *Trends in Food Science & Technology*, vol. 86, pp. 392-398, november 2019
- [34] R. Chow, R. Blindt, R. Chivers, M. Povey, “The sonocrystallisation of ice in sucrose solutions: Primary and secondary nucleation”, *Ultrasonics*, vol. 41, pp. 595–604, November 2003
- [35] Y. Campo-Vera, V. Gélvez-Ordoñez, and A. Ayala-Aponte, “Ultrasonido en el procesamiento (homogenización, extracción y secado) de alimentos”, *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 16, no. 1, pp. 102, January-June 2018