

## EFFECTO DEL ULTRASONIDO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA LECHE ENTERA

**Víctor M. GelvezOrdoñez<sup>1</sup>,Yesenia Campo-Vera<sup>2</sup>;Dora C. Villada –Castillo<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Universidad de Pamplona.Programa Ingeniería de Alimentos. Facultad de Ingenierías y Arquitectura. Sede Villa de Rosario. Colombia.

<sup>2</sup>Universidad Francisco de Paula Santander. Programa Ingeniería Agroindustrial. Grupo de Investigación en Ciencia y Tecnología Agroindustrial (GICITECA). Cúcuta. Colombia.

**Resumen:**En Colombia existen gran diversidad de estudios sobre aspectos relacionados con la calidad de leche, pero muy pocos sobre métodos de conservación en fresco del producto utilizando nuevas tecnologías, lo que motiva a realizar estudios sobre como alargar su vida útil sin alterar o modificar sus propiedades utilizando tecnologías emergentes como el Ultrasonido (US). El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto del US sobre las propiedades fisicoquímicas de la leche entera natural almacenada en refrigeración ( $5\pm 2^{\circ}\text{C}$ /durante 15 días). Se tomaron 500 mL de leche empacada al vacío y se sometió a termosonicación (40 KHz/40, 50, 60 y  $70^{\circ}\text{C}$ ) durante 30 minutos. Se observó el efecto del tratamiento, cada 3 días, en el pH, acidez, viscosidad y densidad. Se encontró un incremento significativo ( $p<0,05$ ) en el pH, acidez, viscosidad en los tratamientos de US 40 KHz y temperaturas de 50 y  $60^{\circ}\text{C}$ , sin embargo estos cambios no inciden en cumplimiento de los rangos exigidos, para estos parámetros, en la normatividad vigente para leche; en comparación con las demás muestras. Por su parte la densidad que no presentó cambios significativos. El US mantiene los parámetros de pH, acidez y viscosidad de la leche durante el tiempo estudiado, ratificando que esta tecnología es eficiente para la conservación del producto bajo condiciones de refrigeración y tiene potencial en la industria alimentaria para desarrollar procesos seguros, económicos que impacten positivamente las propiedades de los alimentos, comparadas con los métodos tradicionales.

**Palabras clave:** Ultrasonido, leche, acidez, viscosidad, densidad, pH.

## EFFECT OF ULTRASOUND ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF WHOLE MILK.

### **Abstract.**

In Colombia there are wide range of studies on aspects related to milk quality, but few on methods of keeping fresh the product

using new technologies, what motivates studies on how to extend its life without altering or modifying their properties using Emerging technologies such as ultrasound (US). The objective of the research was to evaluate the effect of the US on the physicochemical properties of natural whole milk stored in the refrigerator ( $5 \pm 2^{\circ}\text{C}$  / 15 days) .It took 500 mL of milk vacuum packed and underwent thermosonication (40 KHz / 40, 50, 60 or  $70^{\circ}\text{C}$ ) for 30 minutes. Treatment effect, every 3 days, in the pH, acidity, viscosity and density was observed. A significant increase ( $p < 0.05$ ) in pH, acidity, viscosity treatments US 40 KHz and temperatures of 50 and  $60^{\circ}\text{C}$  was found as they retained the parameters within the ranges allowed by current regulations for milk during the 15 days of storage compared to the other samples, except for the density not introduce significant changes. El US positively affects the parameters of pH, acidity and viscosity of milk during storage, confirming that this technology is efficient for the preservation of the product under refrigeration and has potential in the food industry to develop safe, economic processes that positively impact the properties of food, compared with traditional methods.

**Keywords:** Ultrasound, milk, acidity, viscosity, density, pH.

\*Paracitaresteartículo:Gelvez Ordoñez VM., Campo-Vera Y.; Villada –Castillo DC  
Efecto del ultrasonido en las propiedades físicas de la leche entera.Revista  
Bistua.2015.13(2):79-90

✚Autor para el envío de correspondencia y la solicitud de las separatas: Gelvez Ordoñez V.M.  
Universidad de Pamplona. Facultad de Ingenierías y Arquitectura. Departamento de Alimentos.  
email: vmgelvez@unipamplona.edu.co

Recibido: Diciembre 15 de 2014

Aceptado: Julio 15 de 2015

## INTRODUCCIÓN

La leche es un alimento de alto consumo, por sus cualidades nutricionales que le confieren gran importancia en la dieta humana; durante el procesamiento la leche se homogeniza ocasionando cambios fisicoquímicos que afectan las características de los productos lácteos como la textura y el sabor<sup>1,2</sup>. La homogeneización es el proceso mecánico que reduce el tamaño de los glóbulos de grasa mediante presión y temperatura mayores de 45°C causando la separación de la parte cremosa del producto y la inactivación de enzimas microbianas<sup>2-4</sup>.

El ultrasonido (US) es una tecnología emergente de preservación que puede clasificarse en dos: Baja Intensidad (frecuencias superiores a 100 kHz a intensidades inferiores a 1 Wcm<sup>-2</sup>) y alta intensidad (utiliza intensidades superiores a 1 Wcm<sup>-2</sup> a frecuencias entre 20 y 500 kHz). Puede mejorar las características de calidad de los productos lácteos causando cambios físicos y químicos en la leche en comparación con los procesos convencionales<sup>5-7</sup>. El US afecta significativamente: el tamaño de los glóbulos de grasa, el pH, la densidad, las propiedades funcionales de las proteínas y aumenta la estabilidad y consistencia de las emulsiones. Además modifica la viscosidad y la conductividad térmica como consecuencia de la fricción interna entre moléculas causada por efecto del tratamiento<sup>5,8,9</sup>. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del tratamiento ultrasonido sobre en

propiedades físicas de la leche entera almacenada durante 15 días bajo refrigeración (5±2°C).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Preparación de las muestras

La leche de vaca se obtuvo de granjas del municipio de Chinacota, Norte de Santander, Colombia. Se tomaron 500 mL de la muestra, y se empacaron al vacío en bolsas de polietileno de baja densidad.

### Tratamiento con Ultrasonido

Se empleó un equipo Branson 1510 (40 KHz) y como medio de transmisión agua desionizada, el tratamiento de US se llevó a cabo a temperatura de 40, 50, 60 y 70°C durante 30 minutos y una muestra control. Las muestras se almacenaron en refrigeración (5± 2 °C). Todos los análisis fueron realizados por triplicado en los días 1, 3, 6, 9, 12 y 15 posteriores al tratamiento.

### Determinación del pH

Se midió el valor de pH con un potenciómetro Standard (Hanna instruments, HI-1208, Italia) previamente calibrado. Los resultados se reportaron como el promedio de dos lecturas.

### Determinación de la Acidez

La acidez se midió siguiendo el protocolo establecido en por la A.O.A.C<sup>10</sup>. Los resultados se expresaron como porcentaje de ácido láctico.

### Determinación de la Viscosidad

Se utilizó un viscosímetro (Brookfield modelo RVT) con aguja No.4 y velocidad de rotación de 10 rpm. La medida se hizo sobre 200 mL de muestra y los resultados se expresaron centipoises (cps)<sup>11</sup>.

### Determinación de la Densidad

Se pusieron 250 ml de la muestra en una probeta y se introdujo el lactodensímetro en la parte central; transcurridos aproximadamente 30 segundos se hizo la lectura en la escala correspondiente a 15 °C.

### Análisis estadístico

Se analizaron las diferencias significativas entre los resultados obtenidos con cada tratamiento, mediante prueba de análisis de varianza (ANOVA) y prueba *post hoc* de Diferencias Mínimas Significativas (DMS) del 5% ( $p < 0,05$ ) usando el programa SPSS versión 19.0. Todos los experimentos se hicieron por triplicado.

## RESULTADOS

### pH

En la tabla 1 se observa el efecto del ultrasonido, temperatura y tiempo de exposición sobre el pH de las muestras. En las muestras tratadas con US, el pH aumentó significativamente ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos en comparación con la muestra control de 6,12 a 6,23.

Los resultados muestran que al aumentar la temperatura de exposición al tratamiento con US (50, 60 o 70°C) se da un incremento significativo ( $p < 0,05$ ) en el valor del pH, en un promedio de 0,5 unidades en el transcurso de 15 días de almacenamiento, por el contrario al comparar la muestra control y la muestra tratada con US a menor temperatura (40°C) no presentaron DMS ( $p < 0,05$ ) durante el tiempo de observación.

### Acidez

82

En la figura 1 se presenta el efecto del US en los % de acidez de las muestras, observando un incremento significativo ( $p < 0,05$ ) después de los 9 días de almacenamiento para todos los tratamientos, pero muy significativo en la muestra control y el tratamiento 40KHz/40°C/30min que presentaron los valores mayores que superan el 40% de acidez.

Los tratamientos con US y temperaturas de 50, 60 y 70°C no mostraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre si durante todo el almacenamiento, manteniéndose en un rango de 15 a 21% acidez.

### Densidad

La figura 1 relaciona los efectos de la frecuencia 40 KHz, la temperatura y el tiempo de exposición y la muestra control, en donde se evidencia que todas las muestras tuvieron comportamientos similares, mostrando diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) con el tratamiento 40KHz/70°C/30min que presenta del día 6 al 12, los mayores valores de densidad de 1,0322 a 1,034g/mL. La muestra control presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) al final de almacenamiento al exhibir el mayor valor de densidad 1,035g/mL en comparación con los tratamientos con US, sin embargo estos en el día 1 y 12 de almacenamientos tuvieron un comportamiento muy similar que no mostró diferencia mínimas significativas (DMS- $p < 0,05$ ) entre todos los tratamientos.

### Viscosidad

La tabla 2 muestra el efecto del US en la viscosidad de todos los

tratamientos, observando que el primer día fue entre 6 a 9 cps en las muestras tratadas con US; el incremento fue significativo ( $p<0,05$ ) en un promedio de 6 unidades en el valor comparada con la muestra control que alcanzó  $2\pm 1$  cps; los siguientes días de almacenamiento todos los tratamientos mostraron un comportamiento similar disminuyendo significativamente la viscosidad de  $2\pm 1$  cps, presentando comportamientos similares. El tratamiento 40KHz/60°C/30min mostró diferencias significativas ( $p<0,05$ ) con los demás tratamientos por presentar los mayores valores de viscosidad durante todo el almacenamiento.

La muestra control presentó diferencias significativas ( $p<0,05$ ) durante todo el almacenamiento al exhibir los menores valor de viscosidad de  $3\pm 2$  cps en comparación con los tratamientos con US, sin embargo estos a partir del día 9 de almacenamiento tuvieron un comportamiento muy similar que no mostró diferencia mínimas significativas (DMS- $p<0,05$ ) entre las muestras.

## DISCUSIÓN

En este estudio, se evaluó el efecto del tratamiento con US a diferentes temperaturas 40, 50, 60 o 70°C sobre el pH, encontrando que ninguna muestra superó el rango normal de la leche cruda de 6,5 a 6,7 durante los 15 días de almacenamiento<sup>12,13</sup>. Se encontró que la muestra control junto a la tratada con 40KHz/40°C/30min presentaron los pH más bajos al

final del almacenamiento; la aplicación de 40KHz/50 y 60°C/30min mantiene el pH en el rango normal del producto desde el inicio de la observación hasta el final del almacenamiento (tabla 1).

Al comparar los resultados con otros estudios sobre productos como hongo comestibles y coliflor se observa que el tratamiento con ultrasonido aumenta significativamente el pH, este efecto es más visible a mayor tiempo y temperatura de exposición; debido a la cavitación que generan el crecimiento y colapso de burbujas en el interior de los líquidos<sup>14-16</sup>.

Otros estudios han demostrado el efecto del US (25 y 45 KHz/20°C) durante 15, 30, 45 y 60 min) sobre la pulpa de mango (*Mangifera indica*/variedad común), presenta menor disminución en el pH las muestras expuestas durante menor tiempo de exposición<sup>17</sup>.

Como se observa en la tabla 1, el tratamiento con US aumenta los valores de pH inmediatamente después del tratamiento en comparación con la muestra control, esto podría deberse a la liberación de sustancias volátiles aromáticas durante la cavitación que causa el aumento de la temperatura; el comportamiento creciente en el pH que presentaron las muestras control los primeros días de almacenamiento, pudo ser debido a ácidos producidos por la actividad metabólica de los microorganismos<sup>18-21</sup>.

Al final del almacenamiento todas las muestras presentaron una disminución en el valor del pH, debido posiblemente a las

temperaturas elevadas que causan degradación de lactosa en ácidos orgánicos, especialmente en ácido fórmico; y/o a la temperatura de refrigeración debido a la concentración de solutos en la fase acuosa de la leche, a la precipitación del fosfato cálcico y a la liberación de iones hidrógenos<sup>12</sup>.

El efecto del tratamiento con US puede causar daño a la estructura celular, liberando iones en el citosol y por el cambio en la estructura de la proteína que conduce a una modificación en la posición de algunos iónica grupos; lo que incrementa el pH<sup>22</sup>. El aumento progresivo del pH puede deberse al almacenamiento que causan cambios estructurales asociado con la desnaturalización de las proteínas por el US y a la degradación proteolítica de las muestras<sup>23</sup>.

En este estudio, además del efecto del pH, se evaluó la influencia del ultrasonido sobre el porcentaje de ácido láctico, se encontró que la muestra control y las muestras tratadas a 40KHz/40 y 70°C/30min superaron el rango permitido por el Decreto 616 del 2006 que es de que 0,13-0,17 % de ácido láctico para leche fresca (Figura 2); las muestras que cumplieron con la normatividad durante los 15 días de almacenamiento fueron las de 40KHz/50 y 60°C/30min.

El aumento del porcentaje de acidez de la muestra control es atribuido a la existencia de microorganismos en particular las *Pseudomonas* y pequeñas trazas de bacterias lácticas, que degradan la lactosa y los lípidos de la leche y dependen de la temperatura y tiempo de

almacenamiento del producto; produciendo una variación de la acidez y del pH de la misma<sup>24-26</sup>; liberan ácido láctico como producto de desecho, éste provoca un incremento de la acidez haciendo a su vez que las proteínas de la leche precipiten, formando un gel; evitando la proliferación de bacterias potencialmente patógenas<sup>24,25,27</sup>.

El aumento en el porcentaje de acidez en los primeros días de las muestras tratadas con US puede estar asociado con el fenómeno de cavitación que trae como consecuencia la degradación del oxígeno disuelto y a la microevaporación del agua, con la consecuente concentración del ácido<sup>28</sup> ; valores altos de acidez natural son indicadores de leches ricas en proteína o de otros constituyentes<sup>29</sup>.

La evaluación del efecto del US en el porcentaje de acidez en las muestras de leche, es positivo, ya que se mantuvieron dentro del rango (0,13 a 0,17) exigido por la normatividad (Decreto 616 de 2006) y este es un parámetro que determina el grado de frescura del producto y sirve como medida para controlar los procesos de manufactura de los productos lácteos fermentados.

Al analizar los resultados obtenidos para el parámetro de densidad en las muestras de leche tratadas con US, podemos observar que todas cumplieron con el rango exigido por el decreto 616 del 2006 que es de 1,030-1,033 g/mL durante los 15 días de almacenamiento; el incremento de la densidad de las



muestras tratadas con US no es significativo al compararlo con la muestra control.

Este efecto se puede deber a las ondas de US que generan gradientes de presión y temperatura instantáneos en el interior de la célula debido a la cavitación; el gradiente de temperatura, que puede llegar hasta los 5500°C, forma una micro evaporación del agua contenida en la leche debido a la liberación de los iones de hidrógeno o sonó lisis y a la modificación estructuras de las proteínas y la grasa<sup>30,31</sup>.

### **Viscosidad**

Al evaluar el efecto del tratamiento con US a diferentes temperaturas (40, 50, 60 o 70°C) durante 30 min., se observó que el rango normal es de 1,7-2,2 cps a temperatura ambiente a 20°C para leche entera (32), parámetro que no difiere de la muestra control; por el contrario todas las muestras tratadas con US incrementaron significativamente en casi 7 unidades.

El tratamiento que presentó mayor viscosidad durante los primeros 9 días de almacenamiento fue el de 40KHz/60°C/30min, en los días siguientes ésta disminuyó a medida que se incrementa el tiempo de almacenamiento, lo cual puede atribuirse al calcio micelar se solubiliza y al solubilizarse parcialmente tiende a abandonar la micela, volviéndose más débil la estructura de la misma, por lo que sus coágulos son muchos más débiles en función al tiempo de almacenamiento<sup>33</sup>.

85

La presencia de las caseínas y los glóbulos grasos tiene gran influencia en la viscosidad de la leche, mientras que las lactosas y las proteínas de suero contribuyen minoritariamente a este parámetro<sup>34</sup>. Cuando la temperatura de la leche es inferior a 40°C puede presentarse aglutinación por frío de glóbulos grasos y en estas condiciones la leche se comporta como fluido no newtoniano<sup>33</sup>.

Otros estudios han demostrado el efecto del US (40KHz) y 20, 40, 60°C durante 20 y 30 min) sobre la viscosidad aparente del yogurt, observando un aumento significativo 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<sup>35,36</sup>. Además, se ha observado reducción de la sinéresis y una mejor viscosidad por la fusión de la caseína y proteínas del yogurt, los efectos se atribuyeron al aumento en la retención de agua de la caseína que estaría disponible conforme aumenta el área de la superficie de la membrana de los glóbulos de grasa<sup>26</sup>.

El US actúa como tratamiento homogenizador causando que la leche aumente su viscosidad, probablemente por la disminución de atracción de los glóbulos grasos. Además, las altas temperaturas que provocan el US causan un incremento en la viscosidad de la leche debido a la desnaturalización de las  $\beta$ -lactoglobulinas y a su posterior asociación con las micelas de caseína. Así mismo, un

incremento del pH en la leche causa un aumento en su viscosidad, probablemente debido al hinchamiento de las moléculas de caseína y su interacción con las proteínas del suero<sup>37,37-40</sup>.

## CONCLUSIONES

La presente investigación permitió establecer los efectos de la aplicación de ultrasonido sobre las propiedades físicas de la leche entera, concluyendo que el US afecta el pH, acidez y viscosidad de la leche durante el almacenamiento. Los efectos producidos no representan cambios que afecten los parámetros de calidad de la leche durante el tiempo de observación; a excepción de la densidad que no presentó cambios significativos. Los tratamientos que conservaron los parámetros (pH, Acidez, Viscosidad, Densidad) dentro de los rangos permitidos (Decreto 616 de 2006) de la leche durante los 15 días fueron los que utilizaron ondas sonoras a 40KHz a temperaturas de 50 o 60°C durante 30min., mostrando que esta tecnología es eficiente para la conservación del producto bajo condiciones de refrigeración y tiene potencial de aplicación en la industria alimentaria para desarrollar procesos seguros, económicos que impacten positivamente las propiedades de los alimentos, comparadas con los métodos tradicionales.

## Referencias bibliográficas

1. Sfakianakis P, Tzia C. Conventional and innovative

processing of milk for yogurt manufacture; development of texture and flavor: a review. Foods. Multidisciplinary Digital Publishing Institute; 2014;3(1):176–93.

2. Massoud R, Belgheisi S, Massoud A. Effect of High Pressure Homogenization on Improving the Quality of Milk and Sensory Properties of Yogurt: A.

3. Olorunnisomo OA, Ososanya TO, Adedeji OY. Homogenization of milk and its effect on sensory and physico-chemical properties of yoghurt. African J Food Sci. Academic Journals; 2014;8(9):465–70.

4. Chandan RC, Kilara A. Dairy ingredients for food processing. John Wiley & Sons; 2010.

5. Karlović S, Bosiljkov T, Brnčić M, Semenski D, Dujmić F, Tripalo B, et al. Reducing Fat Globules Particle-Size in Goat Milk: Ultrasound and High Hydrostatic Pressures Approach. Chem Biochem Eng Q. Hrvatsko društvo kemijskih inženjera i tehnologa; 2015;28(4):499–507.

6. Semenski D, Brnčić M, Bosiljkov T, Karlović S, Ježek D, Tripalo B. Ultrasonic processing and mechanical testing in food technology and biotechnology. In: 15th International Conference on Experimental Mechanics. 2012.

7. Ertugay MF, ŞENGÜL M, ŞENGÜL M. Effect of ultrasound treatment on milk homogenisation and particle size distribution of fat. Turkish J Vet Anim Sci. 2004;28(2):303–8.

8. McClements DJ. Food emulsions: principles, practices, and techniques. CRC press; 2004.



87

9. Demirdöven A, Baysal T. The use of ultrasound and combined technologies in food preservation. *Food Rev Int.* Taylor & Francis; 2008;25(1):1-11.

10. International A. Official methods of analysis of AOAC International. AOAC International; 2005.

11. Fuentes Chaparro CC, Yáñez Chiriví CP, González Mariño GE, de Amaya C. Estudio del comportamiento en el tiempo de las variables relacionadas con la transferencia de masa, reológicas y de color, para un yogurt que contiene trozos de piña variedad Cayena Lisa (*Ananas Comosus*) deshidratados osmoticamente con previa impregnación. 2012.

12. Pereda J, Trujillo Mesa AJ. Utilización de la ultra alta presión por homogenización como alternativa al tratamiento de pasteurización para la obtención de leche en consumo. Universitat Autònoma de Barcelona; 2009.

13. Walstra P, Jenness R, Badings HT, Pérez BS. Química y física lactológica. Acribia ^ eZaragoza Zaragoza; 1987.

14. Vera YC, Gélvez VM. Efecto de la termosonicación sobre las propiedades fisicoquímicas del hongo comestible (*Pleurotus ostreatus*) fresco empacado al vacío. BISTUA Rev LA Fac CIENCIAS BASICAS. 2013;9(2).

15. Jambrak AR, Mason TJ, Paniwnyk L, Lelas V. Ultrasonic effect on pH, electric conductivity, and tissue surface of button mushrooms, brussels sprouts and cauliflower. *Czech J food Sci. Česká akademie zemědělských věd*; 2007;25(2):90-100.

16. Jambrak AR, Lelas V, Mason TJ,

Krešić G, Badanjak M. Physical properties of ultrasound treated soy proteins. *J Food Eng [Internet]*. 2009 Aug [cited 2015 Sep 21];93(4):386-93. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026087740900065X>

17. Porras O, González G, Castellanos A, Ballesteros J, Pacheco M. Efecto de la aplicación de ondas de ultrasonido sobre las propiedades fisicoquímicas, reológicas y microbiológicas de pulpa de mango (*mangifera indica* L.) Variedad común. *Aliment Hoy*. 2011;20(23):52-77.

18. McClements DJ. Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. *Trends Food Sci Technol.* Elsevier; 1995;6(9):293-9.

19. Hoover DG. Ultrasound. *J Food Sci.* Wiley Online Library; 2000;65(s8):93-5.

20. Ozuna C, Paniagua-Martínez I, Castaño-Tostado E, Ozimek L, Amaya-Llano SL. Innovative applications of high-intensity ultrasound in the development of functional food ingredients: Production of protein hydrolysates and bioactive peptides. *Food Res Int [Internet]*. 2015 Oct [cited 2015 Nov 9]; Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096399691530226X>.

21. Soria AC, Villamiel M. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. *Trends Food Sci Technol.* Elsevier; 2010;21(7):323-31.

22. Dolatowski ZJ, Stadnik J, Stasiak D. Applications of ultrasound in food technology. *Acta Sci Pol Technol Aliment.* 2007;6(3):89-99.

23. Jayasooriya SD, Torley PJ, D'arcy BR, Bhandari BR. Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine Semitendinosus and Longissimus muscles. *Meat Sci.* Elsevier; 2007;75(4):628–39.
24. Idrogo Rioja G. Efecto del tiempo de almacenamiento de la leche cruda y la adición de cloruro de calcio en la viscosidad del yogurt. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Peru). Facultad de Industrias Alimentarias; 2003.
25. Robinson RK. Microbiología Lactológica. Microbiología de la leche. 1987.
26. Moreno L, Alatríste K, Díaz E, Bermúdez D, Palou E, López-Malo A. Elaboración de yogurt natural con leche tratada térmicamente y con ultrasonido de alta intensidad.
27. Singh H, McCarthy OJ, Lucey JA. Physico-chemical properties of milk. In: *Advanced Dairy Chemistry Volume 3.* Springer; 1997. p. 469–518.
28. Miguel VFL, David ZT. Infrasonidos y Ultrasonidos. Universidad de Valladolid, España, [http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing\\_ond\\_1/trabajos\\_03\\_04/infra\\_y\\_ult/ra/aplicaciones\\_ultrasonidos.htm](http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_03_04/infra_y_ult/ra/aplicaciones_ultrasonidos.htm).
29. Van Hooydonk ACM. pH-induced physico-chemical changes of casein micelles in milk and their effect on renneting. 1. Effect of acidification on physico-chemical properties. *Netherlands Milk Dairy J.* 1986;40:281–96.
30. Mason T. Power ultrasound in food Process. 1998;105.
31. Guignon B, Rey I, Sanz Martínez PD. Efecto de la temperatura en la densidad de la leche entera bajo alta presión. Universidad de Castilla-La Mancha; 2012; 88
32. Kuo F-J, Sheng C-T, Ting C-H. Evaluation of ultrasonic propagation to measure sugar content and viscosity of reconstituted orange juice. *J Food Eng.* Elsevier; 2008;86(1):84–90.
33. Bermúdez-Aguirre D, Barbosa-Cánovas G V. Power ultrasound to process dairy products. In: *Ultrasound technologies for food and bioprocessing.* Springer; 2011. p. 445–65.
34. Long Z, Zhao M, Sun-Waterhouse D, Lin Q, Zhao Q. Effects of sterilization conditions and milk protein composition on the rheological and whipping properties of whipping cream. *Food Hydrocoll.* Elsevier; 2016;52:11–8.
35. Spreer E, Torres-Quevedo OD. Lactología industrial: leche, preparación y elaboración, máquinas, instalaciones y aparatos, productos lácteos. Acribia; 1991.
36. Wu H, Hulbert GJ, Mount JR. Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter. *Innov Food Sci Emerg Technol.* Elsevier; 2000;1(3):211–8.
37. Anema SG, Li Y. Reassociation of dissociated caseins upon acidification of heated pH-adjusted skim milk. *Food Chem.* Elsevier; 2015;174:339–47.
38. de Souza AB, Costa LCG, Stephani R, de Oliveira MAL, Perrone ÍT, Costa RGB. Evaluation of the viscosity profile obtained for dispersions containing different proportions of milk protein



concentrate/whey protein concentrate during simulated conditions of thermal processing. LWT-Food Sci Technol. Elsevier; 2015;64(2):536–9.

39. Ozcan T, Horne DS, Lucey JA. Yogurt made from milk heated at different pH values. J Dairy Sci. Elsevier; 2015;98(10):6749–58.

40. Anema SG, Lowe EK, Lee SK, Klostermeyer H. Effect of the pH of skim milk at heating on milk concentrate viscosity. Int Dairy J. Elsevier; 2014;39(2):336–43.

**Tabla 1.** Efecto de la frecuencia de tratamiento de ultrasonido, temperatura y tiempo de exposición sobre el pH de las muestras, durante 15 días de almacenamiento.

TRATAMIENTOS	pH					
	DÍAS DE ALMACENAMIENTO					
	1	3	6	9	12	15
40KHz/40°C/30min	6,27±0,3 <sup>a</sup>	6,59±0,5 <sup>a</sup>	6,28±0,4 <sup>a</sup>	6,46±0,3 <sup>a</sup>	5,6±0,2 <sup>a</sup>	4,07±0,3 <sup>a</sup>
40KHz/50°C/30min	6,24±0,4 <sup>a</sup>	6,69±0,2 <sup>a</sup>	6,35±0,5 <sup>a</sup>	6,69±0,3 <sup>a</sup>	6,7±0,4 <sup>a</sup>	6,53±0,4 <sup>a</sup>
40KHz/60°C/30min	6,21±0,3 <sup>a</sup>	6,33±0,2 <sup>a</sup>	6,42±0,2 <sup>a</sup>	6,71±0,2 <sup>a</sup>	6,8±0,2 <sup>a</sup>	6,57±0,2 <sup>a</sup>
40KHz/70°C/30min	6,73±0,5 <sup>b</sup>	6,71±0,3 <sup>a</sup>	6,7±0,2 <sup>a</sup>	6,69±0,3 <sup>a</sup>	6,8±0,3 <sup>a</sup>	6,6±0,3 <sup>a</sup>
Control	6,12±0,2 <sup>a</sup>	6,66±0,4 <sup>b</sup>	6,52±0,3 <sup>a</sup>	6,47±0,3 <sup>a</sup>	5,4±0,3 <sup>a</sup>	4,86±0,4 <sup>a</sup>

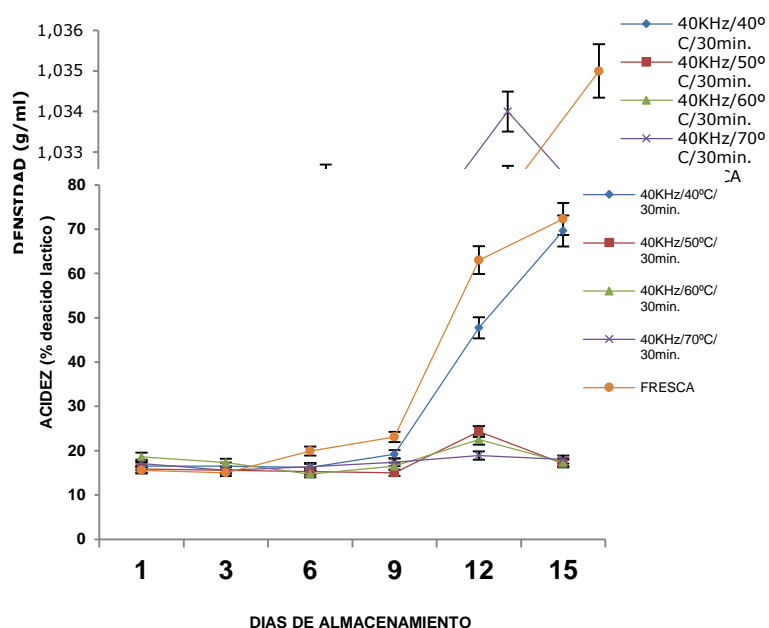
Letras diferentes indican diferencia mínimas significativas (DMS) entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ).  $\pm$  Desviación estándar.

**Tabla 2.** Efecto de la frecuencia de tratamiento de ultrasonido, temperatura y tiempo de exposición sobre la viscosidad de las muestras, durante 15 días de almacenamiento.

TRATAMIENTOS	VISCOSIDAD (cps)					
	DÍAS DE ALMACENAMIENTOS					
	1	3	6	9	12	15
40KHz/40°C/30min.	8,2±0,8 <sup>a</sup>	4,3±0,7 <sup>a</sup>	4,6±0,4 <sup>ab</sup>	3,2±0,8 <sup>a</sup>	3,1±0,5 <sup>ab</sup>	2,1±0,4 <sup>c</sup>
40KHz/50°C/30min.	6,1±0,9 <sup>b</sup>	5,6±0,4 <sup>ab</sup>	4,3±0,7 <sup>a</sup>	3,8±0,2 <sup>a</sup>	3,5±0,4 <sup>ab</sup>	1,8±0,6 <sup>c</sup>
40KHz/60°C/30min.	8,3±0,7 <sup>a</sup>	8,3±0,7 <sup>a</sup>	5,1±0,9 <sup>ab</sup>	4,9±0,1 <sup>a</sup>	3,7±0,9 <sup>ab</sup>	2,0±0,5 <sup>c</sup>
40KHz/70°C/30min.	7,5±0,5 <sup>b</sup>	4,2±0,8 <sup>a</sup>	4,0±1,0 <sup>a</sup>	3,7±0,3 <sup>a</sup>	3,1±0,8 <sup>ab</sup>	1,8±0,3 <sup>c</sup>
FRESCA	1,9±0,3 <sup>c</sup>	5,3±0,7 <sup>ab</sup>	4,2±0,8 <sup>a</sup>	3,1±0,7 <sup>ab</sup>	2,0±0,5 <sup>c</sup>	1,5±0,4 <sup>c</sup>

Letras diferentes indican diferencia mínimas significativas (DMS) entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ).  $\pm$  Desviación estándar.

**Figura 1.** Efecto de la frecuencia de tratamiento de ultrasonido, temperatura y tiempo de exposición sobre la densidad de las muestras, durante 15 días de almacenamiento.



**Figura 2.** Efecto de la frecuencia de tratamiento de ultrasonido, temperatura y tiempo de exposición sobre % de acidez de las muestras, durante 15 días de almacenamiento.

