



## Uso del ultrasonido en el tratamiento de leche y su efecto en microorganismos patógenos

Use of ultrasound in milk treatment and its effect on pathogenic microorganisms

Rosel Juarez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n, Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

ORCID de los autores:

R. Juarez: <https://orcid.org/0009-0000-9551-794X>

### RESUMEN

El uso de ultrasonidos como nueva tecnología de procesamiento de leche ha demostrado ser un método innovador y prometedor en la industria láctea. El propósito de esta revisión es (i) analizar el efecto del ultrasonido, especialmente el método termosónico, en la reducción de patógenos en la leche, (ii) evaluar su efectividad y ventajas sobre los métodos tradicionales de pasteurización, y (iii) su potencial para explorar aplicaciones en el procesamiento de lácteos. Se describen detalladamente los principios básicos y aplicaciones del ultrasonido, destacando su capacidad para mejorar la calidad microbiológica de la leche sin comprometer sus propiedades sensoriales y nutricionales.

Se concluye que el ultrasonido es una tecnología con efecto positivo y prometedor en la optimización de los procesos de procesamiento de leche. Su uso permite minimizar las consecuencias negativas de los métodos tradicionales de pasteurización, aumentando así la calidad y seguridad de los productos lácteos. Se recomienda realizar más investigaciones y pruebas a escala industrial para confirmar estos hallazgos y explorar nuevas aplicaciones del sonido térmico en otros sectores de la industria alimentaria.

**Palabras clave:** Ultrasonido; tratamiento; ultrasonicado; leche; microorganismos patógenos.

### ABSTRACT

The use of ultrasound as a new milk processing technology has proven to be an innovative and promising method in the dairy industry. The purpose of this review is (i) to analyze the effect of ultrasound, especially the thermosonic method, in reducing pathogens in milk, (ii) to evaluate its effectiveness and advantages over traditional pasteurization methods, and (iii) its potential to explore applications in dairy processing. The basic principles and applications of ultrasound are described in detail, highlighting its ability to improve the microbiological quality of milk without compromising its sensorial and nutritional properties. It is concluded that ultrasound is a technology with a positive and promising effect in optimizing milk processing processes. Its use allows to minimize the negative consequences of traditional pasteurization methods, thus increasing the quality and safety of dairy products. Further research and industrial-scale testing are recommended to confirm these findings and to explore new applications of thermal sonication in other sectors of the food industry.

**Keywords:** Ultrasound; treatment; ultrasonication; milk; pathogenic microorganisms.

## 1. Introducción

En la industria láctea, la búsqueda de métodos innovadores para garantizar la seguridad alimentaria y mejorar la calidad del producto ha llevado al desarrollo y adopción de tecnologías emergentes. Entre estas tecnologías, el ultrasonido aparece como una herramienta prometedora que ofrece nuevas posibilidades en el tratamiento de la leche (Lázaro Nolasco & Villanueva Valentin, 2021). A lo largo de los años, se han desarrollado varias técnicas de procesamiento para garantizar que la leche y sus derivados sean seguros para el consumo humano, manteniendo sus propiedades nutricionales y sensoriales.

El principal objetivo de cualquier método de tratamiento de la leche según (Mayta-Hanco et al., 2020) es garantizar la seguridad microbiológica del producto final sin comprometer su calidad. Tradicionalmente, la pasteurización ha sido el método predominante para eliminar patógenos mediante calor, pero este proceso puede afectar las características organolépticas y nutricionales de la leche. Esta se utiliza principalmente en la leche cruda para eliminar microorganismos y enzimas. Acevedo et al. (2010) menciona que los dos métodos comunes son la pasteurización HTST (High Temperature Short Time) y la pasteurización UHT (Ultra High Temperature), cada uno con diferentes temperaturas y tiempos de exposición. Por el contrario, el ultrasonido ofrece la ventaja de la inactivación selectiva de microorganismos indeseables sin degradar significativamente los componentes esenciales de la leche, como las proteínas y las vitaminas. De acuerdo con Calderón et al. (2019) el ultrasonido (US) son ondas de sonido que, debido a su tono muy alto, con frecuencias superiores a 16 kHz, no pueden ser captadas por el oído humano. Su capacidad para generar cavitación, la formación de microburbujas que inactivan microorganismos, lo convierte en una herramienta valiosa. El ultrasonido, definido como una vibración mecánica de alta frecuencia que se propaga a través de un medio, ha encontrado diversas aplicaciones en diversos campos, desde la medicina hasta la industria alimentaria. Ortiz

Rodiles, (2020) menciona que el US de alta potencia genera cambios en la estructura de los alimentos conocida como cavitación por la formación de burbujas. En el contexto específico del procesamiento de lácteos, los ultrasonidos se utilizan para afectar directamente la estructura y composición de la leche, con el objetivo de mejorar su calidad y seguridad.

En comparación con las tecnologías de tratamiento térmico convencionales, como la pasteurización y la esterilización, que usan el calor como herramienta de eliminación de microorganismos (López & García, 2010), los ultrasonidos ofrecen importantes ventajas. A diferencia de la pasteurización, que implica calentar la leche a altas temperaturas durante un período de tiempo (72 – 85 °C) y tiempos cortos (entre 15 y 20 segundos), el ultrasonido utiliza ondas sonoras de alta frecuencia para generar efectos físicos y químicos que pueden inactivar microorganismos no deseados sin el uso de calor extremo. Esto no sólo preserva mejor las propiedades sensoriales y nutricionales de la leche, sino que también puede reducir el tiempo de procesamiento y el consumo de energía asociado.

Este artículo revisa críticamente la literatura actual sobre el uso de ultrasonido en el tratamiento de la leche, explorando el uso de esta tecnología en la mejora de la seguridad alimentaria y la calidad del producto. Se discute cómo el ultrasonido afecta específicamente a los microorganismos patógenos presentes en la leche, comparando sus efectos con los métodos tradicionales y evaluando su potencial para transformar las prácticas de procesamiento de lácteos.

## 2. Fundamentos sobre el uso de ultrasonido en diferentes campos de aplicación

La tecnología de ultrasonido ha emergido como una herramienta innovadora y versátil con aplicaciones en múltiples campos científicos e industriales. Desde su descubrimiento, el ultrasonido ha sido aprovechado para mejorar procesos y productos, gracias a sus propiedades únicas de propagación de ondas sonoras de alta frecuencia. Estas ondas generan efectos mecánicos y térmicos que pueden ser utilizados para diversas aplicaciones, desde la medicina hasta la industria alimentaria.

El uso de la tecnología de ultrasonido en diversos campos ha demostrado ser una herramienta revolucionaria con aplicaciones significativas. En el campo de la ciencia de los alimentos, el ultrasonido ha sido utilizado para mejorar la calidad y seguridad de los productos alimenticios. Por ejemplo, Lavrentev et al. (2024) destacaron la eficacia del ultrasonido en la preservación de los valores nutricionales y la mejora de las propiedades texturales de los alimentos, lo que subraya su importancia en la industria alimentaria. En el ámbito de los componentes funcionales de los alimentos, Wang et al. (2023) investigaron el uso del ultrasonido en el tratamiento de luteolina, mostrando mejoras en las propiedades antioxidantes y la estabilidad estructural de los productos, promoviendo así alimentos más saludables.

La tecnología de ultrasonido también juega un papel crucial en los estudios moleculares. Sergeev et al. (2021) utilizaron técnicas de EPR y NMR para estudiar la movilización de componentes moleculares mediante ultrasonido, revelando cambios estructurales e interacciones dentro de las matrices alimentarias, lo que destaca la utilidad del ultrasonido en la investigación científica de los alimentos.

Además, el ultrasonido ha demostrado ser eficaz en la emulsificación asistida, creando emulsiones estables en productos a base de leche, mejorando así la textura y consistencia. Nina et al. (2023) evidenciaron los beneficios de esta técnica en la producción de productos lácteos de alta calidad. La versatilidad del ultrasonido también se ilustra mediante su aplicación en técnicas de ajuste de pH para construir sistemas avanzados de liberación de proteínas. Ye et al. (2023) destacaron cómo el ajuste de pH asistido por ultrasonido mejora la formación de estos sistemas, demostrando su eficiencia en aplicaciones novedosas de procesamiento de alimentos.

El ultrasonido también ha encontrado aplicaciones significativas en el procesamiento de proteínas. (Zhou et al., 2020) investigaron el pretratamiento con ultrasonido y líquidos iónicos en proteínas, demostrando que el ultrasonido puede desnaturar proteínas de manera controlada. Este hallazgo tiene importantes implicaciones para las industrias alimentaria y farmacéutica.

Otro estudio de (Cho & Kang, 2024) se centraron en la aplicación del ultrasonido (US) como método para inhibir patógenos como *Escherichia coli* y *Listeria monocytogenes* en leche de almendras.

Para evaluar la efectividad del ultrasonido se utilizó un diseño experimental aleatorio (DoE), combinando diferentes variables de tratamiento como potencia, duración y pulso. Este estudio destacó la capacidad del ultrasonido como técnica eficaz para inhibir patógenos en la leche de almendras. La optimización de los parámetros del tratamiento podría maximizar la eficacia antimicrobiana del ultrasonido, mejorando la seguridad y la vida útil del producto. Estos hallazgos concuerdan con los estudios realizados por Iorio et al. (2019) donde los resultados fueron especialmente relevantes para la industria de bebidas no lácteas, ya que proporcionaron una alternativa viable y sostenible para controlar patógenos sin comprometer la calidad del producto. Además, la implementación de esta tecnología podría representar un avance significativo en la producción de bebidas seguras y de alta calidad, respondiendo a la creciente demanda de productos no lácteos por parte de los consumidores.

Gregersen et al. (2019), nos dan a demostrar que la homogeneización ultrasónica de la leche entera produce cambios significativos en el comportamiento de gelificación inducido por ácido, acelerando la formación de gel y aumentando su fuerza. Este estudio investigó la dependencia de estos cambios en el nivel de potencia ultrasónica y la temperatura del tratamiento, utilizando un sistema de celda de flujo ultrasónico que minimiza el aumento de temperatura durante el proceso. La formación de gel se estudió mediante acidificación con gluconato- $\delta$ -lactona a 30 °C utilizando reología de cepa pequeña. Los efectos de la ultrasonificación se evaluaron en términos de desnaturación de la proteína del suero, distribución del tamaño de los glóbulos de grasa de la leche y proteínas asociadas con la membrana de los glóbulos de grasa de la leche.

Los resultados del estudio demostraron que el aumento en la fuerza del gel ácido después de la ultrasonificación se debió, en parte, a la desnaturación de las proteínas séricas. Además, se han identificado cambios en la membrana del glóbulo de grasa de la leche, específicamente el aumento de la asociación de caseínas con la membrana, que desempeñan un papel crucial a la hora de facilitar la formación de complejos altamente funcionales entre el glóbulo de grasa de la leche y la proteína.

Este estudio destaca la importancia de la potencia ultrasónica y la temperatura de tratamiento en la homogeneización ultrasónica de la leche entera,

destacando cómo estos parámetros pueden optimizarse para mejorar las propiedades funcionales del gel ácido. La comprensión detallada de estos mecanismos proporciona una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones industriales, promoviendo el desarrollo de productos lácteos de alta calidad y funcionalmente mejorados.

Finalmente, estos estudios subrayan el potencial transformador de la tecnología de ultrasonido en diversos campos. Su capacidad para mejorar la calidad, estabilidad y valor nutricional de los productos, junto con la facilitación de métodos innovadores de procesamiento, posiciona al ultrasonido como una piedra angular de los futuros avances en tecnología y procesamiento de alimentos.

### 3. Fundamentos sobre el uso de ultrasonido en leche y derivados

Un estudio reciente evaluó el impacto del tratamiento ultrasónico en la actividad enzimática de diferentes productos lácteos. La investigación encontró que la aplicación de ultrasonido a diversas potencias y duraciones puede influir significativamente en las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la leche, mejorando su calidad y seguridad. Estos hallazgos son particularmente relevantes para explorar cómo la termosonicación, una técnica similar, puede afectar las características de la leche desnatada cruda (Wu et al., 2021).

Zhang et al. (2020) realizaron un estudio sobre el efecto del tratamiento ultrasónico térmico sobre la desnaturalización de proteínas y la inactivación de microorganismos en productos lácteos. Los resultados demostraron que la combinación de calor y ultrasonido no sólo mejora la calidad microbiológica al reducir la carga bacteriana, sino que también mantiene las propiedades fisicoquímicas de la leche, como su viscosidad y contenido proteico. Estos resultados son fundamentales para comprender cómo se puede aplicar eficazmente el procesamiento ultrasónico térmico a la leche cruda desnatada, garantizando tanto su calidad como su seguridad.

Otro estudio examinó la ultrasonicación como una alternativa a la pasteurización térmica de la leche de camello y de vaca, centrándose en cómo los diferentes niveles de potencia y tiempos de procesamiento afectan las propiedades bioactivas y la inactivación microbiana. Los resultados proporcionaron una eliminación completa de los microorganismos sin cambiar significativamente

las propiedades de las proteínas. Además, se observó una mejora o retención de las propiedades bioactivas con la sonicación. Estos resultados resaltan la efectividad de la ultrasonicación para preservar la calidad microbiológica y bioactiva de la leche, lo cual es relevante para evaluar su aplicación en leche cruda desnatada (Mudgil et al., 2022).

Juraga et al. (2021) realizaron un estudio sobre la termosonicación como alternativa a la pasteurización, evaluando su impacto en la composición química y las propiedades sensoriales de la leche. El estudio también reveló que la leche desnatada producía menos compuestos volátiles de degradación y oxidación, obteniendo mejores calificaciones en el análisis sensorial en comparación con la leche entera. Sin embargo, se observó que un tratamiento prolongado con ultrasonido generaba un sabor desagradable, lo que resalta la importancia de controlar el tiempo de exposición para mantener la calidad organoléptica de la leche.

Un estudio reciente investigó la influencia de diversos métodos de pretratamiento, incluido el ultrasonido, en la calidad de la leche. Se descubrió que la aplicación de ultrasonido antes de otros procesos puede mejorar la estabilidad y la estructura molecular de la leche, lo que sugiere que el ultrasonido puede ser una técnica efectiva para mantener la calidad durante el procesamiento y almacenamiento (Lavrentev et al., 2024).

Investigaciones que emplearon técnicas avanzadas como la Resonancia Electrónica Paramagnética (EPR) y la Resonancia Magnética Nuclear (NMR) revelaron que el tratamiento ultrasónico afecta significativamente la movilidad de los componentes moleculares en la leche. Este hallazgo es clave para comprender cómo el ultrasonido puede modificar la microestructura y, por ende, las propiedades fisicoquímicas de la leche, lo que tiene implicaciones directas en su procesamiento industrial (Peralta et al., 2022).

Otro estudio de Şen & Okur, (2023), examinaron el impacto del ultrasonido en la leche de avellana, enfocándose en cómo la interacción con diferentes concentraciones de hidrocoloides y el tipo de avellana afecta las propiedades sensoriales y físicas del producto final. Los resultados demostraron que el tratamiento ultrasónico puede mejorar la textura y estabilidad de la leche de avellana, lo que es crucial para el desarrollo de productos lácteos vegetales de alta calidad.

La aplicación de ultrasonido de baja frecuencia en la leche ha mostrado efectos prometedores en la mejora de sus propiedades microbiológicas y fisicoquímicas. Niamah (2019) encontró que este tipo de tratamiento puede reducir significativamente la carga microbiana sin comprometer las propiedades organolépticas de la leche, lo que lo convierte en una alternativa viable a los métodos tradicionales de pasteurización.

Sun et al. (2024) evaluaron las propiedades interfaciales y la estabilidad de la leche sometida a tratamientos ultrasónicos. Se concluyó que el ultrasonido mejora la capacidad de emulsificación y formación de espuma, lo que podría tener aplicaciones importantes en la producción de lácteos y bebidas basadas en leche con características mejoradas de textura y estabilidad.

#### 4. Análisis bibliométrico

El análisis bibliométrico tiene la capacidad de extraer grandes cantidades de datos para retratar el estado de la estructura intelectual y las tendencias emergentes dentro de un tema o campo de estudio determinado (Donthu et al., 2021). Se siguió el procedimiento mostrado en la Tabla 1. La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo en la base de datos SCOPUS, que cubre diversas áreas de estudio, incluyendo más de 5 mil editoriales y 20 mil revistas arbitradas. La fiabilidad de esta base de datos la convierte en una fuente de datos bibliográficos para el análisis a gran escala en la evaluación y el estudio de la investigación científica (Baas et al., 2020).

**Tabla 1**

Etapas y procedimiento

Etapas	Descripción
1	Definición de palabras clave para la búsqueda de información
2	Búsqueda de la información y resultados
3	Selección de resultados iniciales
4	Análisis
5	Obtención de las tendencias de la temática

Los términos o palabras clave (Keywords) que se usó para la recolección de información de uso de la tecnología de ultrasonido en leche desnatada cruda fueron "tratamiento", "ultrasonido", "leche", "temperatura" y "ultrasónico", combinándolas se recaudó o se obtuvo los resultados mostrados en la Tabla 2.

Utilizando "título", "resumen" y "palabras clave" buscados en la base de datos Scopus, se recopilaron artículos para los términos identi-

ficados. En la primera indagación se encontró 948 artículos. Los resultados se descargaron en formato \*.csv incluyendo información esencial como: "título del artículo", "autor" y "resumen".

**Tabla 2**

Ecuaciones de búsqueda y resultados

Términos de búsqueda	Cantidad inicial	Cantidad final
"Tratamiento" AND "Ultrasonido"	158	96
"Ultrasonido" AND "Leche" AND "Tratamiento" AND "Ultrasónico"	771	325
"Ultrasonido" AND "Leche" AND "Tratamiento" AND "Ultrasónico"	49	31
	978	449

Para describir los indicadores bibliométricos se utilizó la función biblioshiny, la cual forma parte de la librería Bibliometrix en R Studio (Moral-Muñoz et al., 2020), mientras que para el análisis de redes se utilizó el software VOSviewer (Aria & Cuccurullo, 2017).

#### 5. Análisis de los resultados bibliométricos

La tendencia actual de aplicación de la tecnología ultrasónica en la leche muestra que los procesos de homogeneización y pasteurización se optimizan constantemente no solo para mejorar la calidad del producto, sino también para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de la producción (Anjitha Jacob et al., 2022). En particular, se ha demostrado que la homogeneización ultrasónica es eficaz para reducir el tamaño de los glóbulos de grasa y distribuirlos uniformemente en la matriz líquida, mejorando así la textura y la estabilidad de la leche tal como lo mencionan (Astráin-Redín et al., 2023). Además, la capacidad del ultrasonido para inducir la desnaturalización de las proteínas del suero y la unión de la caseína a las membranas de los glóbulos grasos contribuye a la formación de estructuras de gel más fuertes, lo cual es beneficioso para los productos lácteos fermentados.

Otra tendencia importante según Ge et al. (2021) es el uso de ultrasonido como método de inactivación microbiana. Este enfoque no sólo apunta a mejorar la seguridad alimentaria al reducir la carga de patógenos como E. coli y Listeria monocytogenes, sino que también tiene el potencial de extender la vida útil de los productos lácteos. Estudios recientes han demostrado que los ultrasonidos, combinados con bajas tempera-



En el centro del gráfico, los términos "ultrasonido", "química" y "animal" aparecen como nodos significativamente más grandes. Esto indica que estos términos son términos centrales relacionados con ultrasonido y se estudian con frecuencia. La prominencia de "Ultrasonido" refleja su papel fundamental como tecnología de investigación, mientras que "Química" y "Animales" enfatizan sus principales aplicaciones en la investigación química y biológica. Estos términos no sólo son comunes, sino que también sirven como puente entre diferentes áreas temáticas, destacando la versatilidad y amplia aplicabilidad del ultrasonido en la investigación científica (Soares et al., 2020).

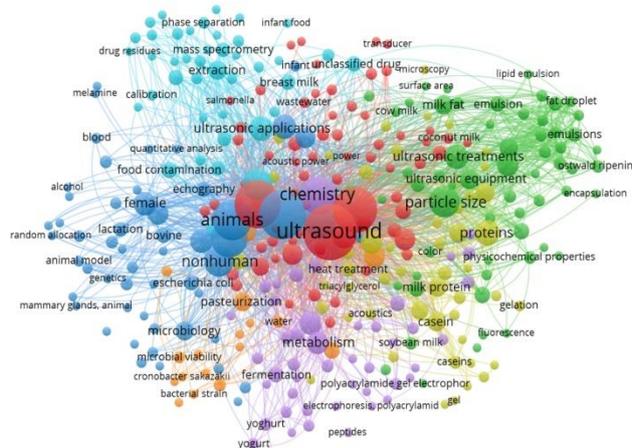
Los grupos de diferentes colores representan diferentes áreas temáticas dentro del campo de la ecografía. Por ejemplo, el grupo verde parece estar relacionado con aplicaciones físicas y técnicas del ultrasonido, como la medición del tamaño de partículas, que es crucial en los procesos industriales y de control de calidad. El grupo azul puede asociarse con aplicaciones médicas y biológicas, lo que refleja estudios de los efectos del ultrasonido en cuerpos vivos y tejidos biológicos. Otros grupos, como el rojo y el amarillo, representan áreas interdisciplinarias donde se cruzan temas de química, biología y tecnología, lo que muestra cómo el ultrasonido puede ser un punto de encuentro para diferentes disciplinas.

Si observamos la figura 3 Según la barra inferior, el color de los nodos y enlaces representa el año promedio de aparición del término, donde los tonos azules representan estudios más antiguos (2010) y los tonos amarillos representan estudios más nuevos (2020).

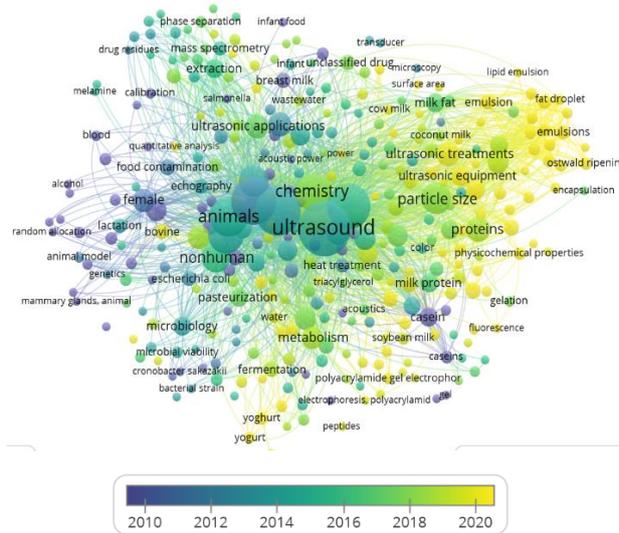
Como en la anterior figura, los términos "ultrasonido", "química" y "animal" destacan por su tamaño y centralidad, indicando su alta frecuencia y relevancia en la investigación usando ultrasonido. Estos términos están sombreados en verde, lo que indica que han sido temas de investigación activos durante todo el período de análisis. La prominencia de estos términos subraya la importancia continua del ultrasonido como una herramienta versátil en la investigación química y biológica, así como en aplicaciones que involucran animales, lo que refleja su uso generalizado en la agroindustria alimentaria (Sun et al., 2024).

El grupo verde claro incluye términos como "grasa láctea", "proteína", "emulsión" y "tamaño de partícula", lo que indica investigaciones recientes

centradas en optimizar la estructura y propiedades de los productos alimenticios.



**Figura 2.** Mapa de visualización de redes de coocurrencias de términos clave relacionados con el uso del ultrasonido en diversas áreas de investigación.



**Figura 3.** Mapa de visualización de redes de coocurrencias de palabras clave con uso desde 2010-2020.

Estas áreas de investigación son fundamentales para mejorar la textura, la estabilidad y el valor nutricional de los lácteos y otros alimentos procesados. Nascimento et al. (2023) mencionan que la importancia del ultrasonido para cambiar el tamaño de las partículas y mejorar la emulsificación es particularmente importante para la producción de productos alimenticios homogéneos con propiedades sensoriales mejoradas, lo cual es crucial para la industria alimentaria moderna.

Por otro lado, términos en azul y verde oscuro, como "microbiología", "pasteurización" y "viabili-

dad microbiana”, reflejan investigaciones que comenzaron temprano en el período analizado y continúan hasta el día de hoy. Estos términos se relacionan con el uso de ultrasonido en la inactivación de microorganismos, un aspecto importante para mejorar la seguridad alimentaria. Se ha demostrado que el ultrasonido es eficaz para reducir las cargas microbianas patógenas, prolongar la vida útil de los productos y garantizar la calidad y seguridad de los alimentos procesados. Los enlaces entre nodos que se muestran en la figura 4 muestran la coocurrencia de estos términos en un mismo artículo. Aunque los colores de los nodos no se indican explícitamente en las barras de tiempo de esta imagen, reflejan diferentes áreas temáticas o áreas de aplicación de la ecografía en la industria.

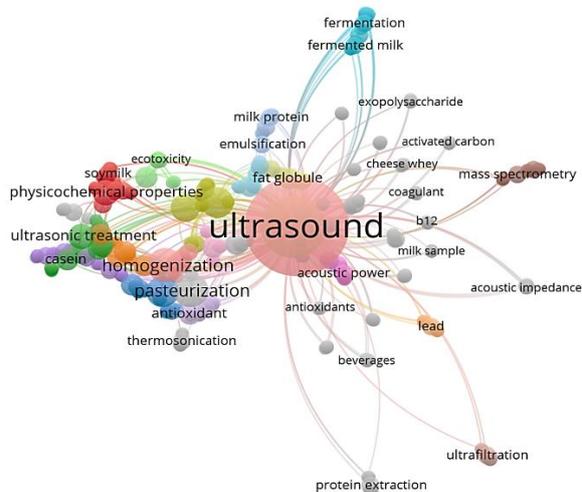
La palabra central más destacada es el "Ultrasonido", lo que demuestra su destacado papel en la investigación. Alrededor de este nodo central existen términos como "homogeneización", "pasteurización" y "propiedades fisicoquímicas", que están relacionados entre sí y representan las aplicaciones clave del ultrasonido en el procesamiento de alimentos. Los términos se presentan en tonos como rojo y verde, lo que indica que son temas recurrentes y establecidos en la literatura científica.

En el lado izquierdo de la imagen, los términos "leche de soja", "ecotoxicidad" y "tratamiento ultrasónico" están agrupados en tonos verdes y rojos. Esto sugiere que se debe centrar la atención en la investigación relacionada con el impacto del ultrasonido en los productos de soja y su evaluación de ecotoxicidad. Estas áreas de investigación son fundamentales para desarrollar procesos de producción de alimentos sostenibles y seguros.

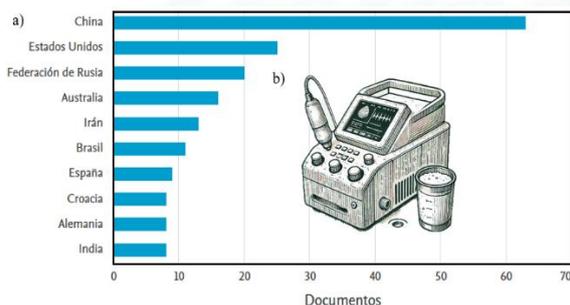
En la parte superior de la imagen se muestran en azul términos como "fermentación" y "leche fermentada", mostrando que están relacionados con investigaciones sobre la aplicación de ultrasonidos en la fermentación láctea. La fermentación asistida por ultrasonido puede mejorar la eficiencia y la calidad de los productos fermentados, lo cual es crucial para las industrias láctea y de productos fermentados (Nascimento et al., 2023).

Finalmente, la agrupación de los términos "proteína de la leche", "emulsificación" y "glóbulo de grasa" en la parte central derecha del gráfico indica un enfoque en el uso de ultrasonido para modificar las propiedades físicas y químicas de los alimentos. Estos estudios son importantes para mejorar la textura, la estabilidad y el valor

nutricional de los alimentos. La capacidad del ultrasonido para cambiar el tamaño de las partículas y la emulsificación es particularmente importante para la producción de productos alimenticios homogéneos con mejores propiedades sensoriales.



**Figura 4.** Análisis de coocurrencia de términos relacionados con el uso de ultrasonido en la industria alimentaria.



**Figura 5.** Principales países y su publicación de artículos científicos sobre ultrasonido.

En la figura 5 la figura "a" muestra que China es el país con mayor número de publicaciones sobre la aplicación del ultrasonido como tecnología emergente en diversos campos de investigación en Scopus. La preeminencia de China refleja su inversión sustancial en investigación y desarrollo y su capacidad para crear un entorno académico y científico propicio para importantes avances tecnológicos. Una gran cantidad de publicaciones puede indicar una sólida infraestructura de investigación y una cultura que valora la innovación tecnológica.

La sorprendente ausencia de los países latinoamericanos en el gráfico pone en evidencia el desarrollo limitado y la falta de dedicación de los gobiernos de la región a la investigación académica y aplicada. La insuficiente inversión en universidades, centros de investigación y fábricas

de alimentos impide que los países latinoamericanos alcancen niveles competitivos en la producción de conocimiento científico y tecnológico. Esta situación revela la necesidad de políticas públicas más fuertes y una mayor asignación de recursos para promover la investigación y el desarrollo en estos países.

La figura "b" muestra un boceto de un equipo de procesamiento de leche mediante ultrasonido, que ilustra una de las aplicaciones prácticas de esta tecnología emergente. El uso de ultrasonidos en el procesamiento de leche representa un gran avance para la industria alimentaria, con ventajas como la mejora de la calidad del producto, la reducción de microorganismos patógenos y una mayor vida útil de los productos lácteos.

## 6. Conclusiones

La aplicación del ultrasonido como nueva tecnología en el procesamiento de la leche, representa un avance importante para la industria láctea. Los estudios revisados muestran consistentemente que el tratamiento con ultrasonido térmico no solo mejora la seguridad alimentaria al reducir significativamente la carga microbiana, sino que también preserva las propiedades nutricionales y sensoriales de la leche, convirtiéndola en una alternativa prometedora a los métodos tradicionales de pasteurización.

El efecto del tratamiento con ultrasonido térmico en la reducción de microorganismos patógenos en la leche es significativo. Los resultados muestran que la tecnología inactiva eficazmente bacterias, levaduras y moho, lo que ayuda a prolongar la vida útil de los productos. Este efecto se consigue mediante una combinación sinérgica de calor y ultrasonido, que provoca daños irreparables en la estructura celular de los microorganismos. La evidencia recopilada sugiere que la ultrasonicación térmica se puede utilizar en ciertos entornos industriales como complemento o incluso como alternativa a la pasteurización tradicional.

Además de su eficacia microbiológica, el tratamiento con ultrasonidos térmicos ofrece importantes ventajas en términos de eficiencia energética y sostenibilidad. Una revisión de la literatura muestra que el proceso de ultrasonicación térmica requiere menos energía que los métodos tradicionales de pasteurización, lo que puede traducirse en menores costos operativos y una menor huella de carbono para los procesadores de lácteos. Este aspecto es particularmente importante en el contexto actual,

donde la sostenibilidad y la reducción del impacto ambiental son prioridades importantes para la industria alimentaria.

La aplicabilidad de la tecnología de ultrasonido en la producción lechera no se limita al procesamiento de la leche y productos lácteos como el yogur y el queso, donde mantener la calidad microbiana y las propiedades sensoriales es igualmente importante. Los estudios revisados muestran que el tratamiento con ultrasonido puede mejorar la textura, el sabor y la vida útil de estos productos, abriendo nuevas oportunidades de innovación y diversificación en la industria láctea.

En conclusión, el tratamiento térmico por ultrasonidos, como tecnología prometedora, ofrece numerosas ventajas a las industrias lácteas de procesamiento de alimentos.

## Referencias bibliográficas

- Acevedo, D., Rodríguez, A., & Fernández, A. (2010). Efecto de las variables de proceso sobre la cinética de acidificación, la viabilidad y la sinéresis del suero costeño colombiano. *Información Tecnológica*, 21(2), 29–36.
- Anjitha Jacob, I.P. Sudagar, Pandiselvam, R., P. Rajkumar, & M. Rajavel. (2022). Optimization of ultrasound processing parameters for preservation of matured coconut water using a central composite design. *Qual. Assur. Saf. Crops Foods*, 14(SP1), 33–41. <https://doi.org/10.15586/qas.v14iSP1.1145>
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/J.JOI.2017.08.007>
- Astráin-Redín, L., Skipnes, D., Cebrián, G., Álvarez-Lanzarote, I., & Rode, T. M. (2023). Effect of the Application of Ultrasound to Homogenize Milk and the Subsequent Pasteurization by Pulsed Electric Field, High Hydrostatic Pressure, and Microwaves. *Foods*, 12(7), 1457. <https://doi.org/10.3390/foods12071457>
- Baas, J., Schotten, M., Plume, A., Côté, G., & Karimi, R. (2020). Scopus as a curated, high-quality bibliometric data source for academic research in quantitative science studies. *Quantitative Science Studies*, 1(1), 377–386. [https://doi.org/10.1162/QSS\\_A\\_00019](https://doi.org/10.1162/QSS_A_00019)
- Calderón, J., Marroquin, A., Luviano, L., Maqueda, V., Marín, E., & Calderón, A. (2019). Sonido, ultrasonido y cavitación. *Latin-American Journal of Physics Education*, 13(4), 11.
- Chen, Y., Yuan, C., Yang, T., Song, H., Zhan, K., & Zhao, G. (2024). Effects of Bile Acid Supplementation on Lactation Performance, Nutrient Intake, Antioxidative Status, and Serum Biochemistry in Mid-Lactation Dairy Cows. *Animals*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/ani14020290>
- Cho, E. R., & Kang, D. H. (2024). Desarrollo e investigación de calentamiento óhmico pulsado asistido por ultrasonidos para la inactivación de patógenos transmitidos por los alimentos en leche con diferentes contenidos de grasa. *Food Research International*, 179, 113978. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.113978>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2021.04.070>
- Ge, X., Wu, Z., Manzoli, M., Bonelli, B., Mantegna, S., Kunz, W., & Cravotto, G. (2021). Adsorptive decontamination of antibiotic-spiked water and milk using commercial and modified activated carbons. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105544. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105544>
- Gregersen, S. B., Wiking, L., & Hammershøj, M. (2019). Acceleration of acid gel formation by high intensity ultrasound is linked to whey

- protein denaturation and formation of functional milk fat globule-protein complexes. *Journal of Food Engineering*, 254, 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.foodeng.2019.03.004>
- Iorio, M. C., Bevilacqua, A., Corbo, M. R., Campaniello, D., Sinigaglia, M., & Altieri, C. (2019). A case study on the use of ultrasound for the inhibition of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* in almond milk. *Ultrasonics Sonochemistry*, 52, 477–483. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasonch.2018.12.026>
- Juraga, E., Vukušić Pavičić, T., Gajdoš Kljusurić, J., Brnčić, M., Juraga, T., & Herceg, Z. (2021). Properties of milk treated with high-power ultrasound and bacterofugation. *Food Technology and Biotechnology*, 59(1), 92–102.
- Lavrentev, F. V., Baranova, D. A., Shiriaev, V. A., Fomicheva, D. A., Iatsenko, V. A., Ivanov, M. S., Ashikhmina, M. S., Morozova, O. V., & Iakovchenko, N. V. (2024). Influence of pre-treatment methods on quality indicators and mineral composition of plant milk from different sources of raw materials. *J Sci Food Agric*, 104(2), 967–978. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12992>
- Lázaro Nolasco, D. R., & Villanueva Valentin, L. M. (2021). Efecto del térmico en la vida útil de la pulpa de granadilla (*Passiflora ligularis*) y tumbo serrano (*Passiflora mollissima*). <https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/7114>
- López, B. Y. G., & García, P. A. M. (2010). Evaluación del tratamiento térmico de las arvejas enlatadas (*Pisum sativum*) en salmuera. *Publicaciones e Investigación*, 4, 129–143.
- Mayta-Hanco, J., Trujillo, A.-J., Juan, B., Mayta-Hanco, J., Trujillo, A.-J., & Juan, B. (2020). La homogeneización a ultra-alta presión (UHPH): Efectos en la leche y aplicaciones en la fabricación de quesos. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 31(2). <https://doi.org/10.15381/rivep.v31i2.17934>
- Moral-Muñoz, J. A., Herrera-Viedma, E., Santisteban-Espejo, A., & Cobo, M. J. (2020). Software tools for conducting bibliometric analysis in science: An up-to-date review. *Profesional de La Información*, 29(1), 1699–2407. <https://doi.org/10.3145/EPI.2020.ENE.03>
- Mudgil, P., Alkaabi, A., & Maqsood, S. (2022). Ultrasonication as a novel processing alternative to pasteurization for camel milk: Effects on microbial load, protein profile, and bioactive properties. *Journal of Dairy Science*, 105(8), 6548–6562. <https://doi.org/10.3168/JDS.2021-20979>
- Nascimento, L. G. L., Queiroz, L. S., Petersen, H. O., Marie, R., Silva, N. F. N., Mohammadifar, M. A., De Sá Peixoto Júnior, P. P., Delaplace, G., De Carvalho, A. F., & Casanova, F. (2023). High-intensity ultrasound treatment on casein: Pea mixed systems: Effect on gelling properties. *Food Chemistry*, 422, 136178. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136178>
- Niamah, A. K. (2019). Efectos del tratamiento con ultrasonidos (baja frecuencia) sobre el crecimiento de bacterias probióticas en leche fermentada. *El Futuro de Los Alimentos: Revista Sobre Alimentación, Agricultura y Sociedad*, 7(2), 1–8. <https://doi.org/10.17170/kobra-20190709592>
- Nina, D., Olga, K., Elena, V., Svetlana, K., Kermen, M., Arina, O., & Anandan, S. (2023). Influence of acoustic cavitation on physico-chemical, organoleptic indicators and microstructure of Adyghe cheese produced from cow and goat milk. *Ultrasonics Sonochemistry*, 98, 106493. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasonch.2023.106493>
- Ortiz Rodiles, J. C. (2020). Elaboración y caracterización de geles mixtos de gretina tipo B y proteína concentrada de suero pretratada por ultrasonido de alta potencia [Benemérita Universidad Autónoma de Puebla].
- Peralta, G. H., Bürgi, M. D. M., Martínez, L. J., Albarracín, V. H., Wolf, I. V., Perez, A. A., Santiago, L. G., Hynes, E. R., & Bergamini, C. V. (2022). Influence of three ultrasound treatments on viability, culturability, cell architecture, enzymatic activity and metabolic potential of *Lactocaseibacillus paracasei* 90. *International Dairy Journal*, 131, 105371. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105371>
- Şen, L., & Okur, S. (2023). Effect of hazelnut type, hydrocolloid concentrations and ultrasound applications on physicochemical and sensory characteristics of hazelnut-based milks. *Food Chemistry*, 402, 134288. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134288>
- Sergeev, A., Motyakin, M., Barashkova, I., Zaborova, V., Krasulya, O., & Yusof, N. S. M. (2021). EPR and NMR study of molecular components mobility and organization in goat milk under ultrasound treatment. *Ultrasonics Sonochemistry*, 77, 105673. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasonch.2021.105673>
- Soares, A. de S., Leite Júnior, B. R. de C., Tribst, A. A. L., Augusto, P. E. D., & Ramos, A. M. (2020). Effect of ultrasound on goat cream hydrolysis by lipase: Evaluation on enzyme, substrate and assisted reaction. *LWT*, 130, 109636. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.109636>
- Sun, Y., Roos, Y. H., & Miao, S. (2024). Comparative study of interfacial properties and thermal behaviour of milk fat globules and membrane prepared from ultrasonicated bovine milk. *Ultrasonics Sonochemistry*, 102, 106755. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasonch.2024.106755>
- Thi Hong Bui, A., Cozzolino, D., Zisu, B., & Chandrapala, J. (2020). Effects of high and low frequency ultrasound on the production of volatile compounds in milk and milk products – a review. *Journal of Dairy Research*, 87(4), 501–512. <https://doi.org/10.1017/S0022029920001107>
- Wang, T., Wang, Y., Zou, L., Liu, J., Shao, Y., & Tu, Z. (2023). Effect of Ultrasound-Assisted Luteolin Treatment on the Structure and Allergenicity of  $\beta$ -Lactoglobulin. *Shipin Kexue/Food Science*, 44(11), 48–56. <https://doi.org/10.7506/spkx1002-6630-20220722-261>
- Wu, J., Chen, H., Chen, W., Zhong, Q., Zhang, M., & Chen, W. (2021). Effect of ultrasonic treatment on the activity of sugar metabolism relative enzymes and quality of coconut water. *Ultrasonics Sonochemistry*, 79, 105780. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasonch.2021.105780>
- Ye, H., Wang, B., Xiao, D., Li, H., Wu, D., Wang, J., Cheng, L., & Geng, F. (2023). Ultrasound-assisted pH-shifting to construct a stable aqueous solution of paprika oleoresin using egg yolk low-density lipoprotein as a natural liposome-like nano-emulsifier. *Ultrasonics Sonochemistry*, 98, 106477. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasonch.2023.106477>
- Zhang, Q., Chen, Q.-H., & He, G.-Q. (2020). Effect of ultrasonic-ionic liquid pretreatment on the hydrolysis degree and antigenicity of enzymatic hydrolysates from whey protein. *Ultrasonics Sonochemistry*, 63, 104926. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasonch.2019.104926>
- Zhou, X., Wang, C., Sun, X., Zhao, Z., & Guo, M. (2020). Effects of High Intensity Ultrasound on Physicochemical and Structural Properties of Goat Milk  $\beta$ -Lactoglobulin. *Molecules*, 25(16), 3637. <https://doi.org/10.3390/molecules25163637>