



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS Y TECNOLOGÍA QUÍMICA

PROCESOS DE PASTEURIZACIÓN RECOMENDADOS POR LA LITERATURA CIENTÍFICA ENTRE 1975 Y 2021: REVISIÓN SISTEMÁTICA

Luis Puente Díaz
Director
Ingeniero en Alimentos
Doctor en Tecnología en Alimentos

PROYECTO DE MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
EN ALIMENTOS

DEDIX DEL CARMEN GONZÁLEZ URBINA

Santiago – Chile
Julio, 2023

Índice

Resumen	4
Summary	5
1. Introducción	6
1.1. Planteamiento de problema	6
1.2. Objetivos del estudio	9
2. Marco teórico.	10
3. Materiales y métodos	16
3.1. Generalidades metodológicas	16
3.2. Metodología del trabajo	19
3.3. Diseño metodológico	21
4. Resultados y discusión	24
5. Conclusiones	46
6. Referencias	48
7. Anexos	58

Índice de Tablas

	Página
Tabla 1 Detalle de publicaciones por país para las 6817 publicaciones iniciales.	58
Tabla 2 Detalle de publicaciones por año de publicación y tasa de crecimiento de las 6817 publicaciones iniciales.	59
Tabla 3 Detalle de publicaciones por tema o tratamiento entre los 43 artículos finales de análisis.	60
Tabla 4 % de publicaciones de las 6 principales revistas con mayor cantidad de artículos entre los años 1975 y 2021, considerando los 6817 artículos iniciales.	61
Tabla 5 % de publicaciones de las 5 principales revistas con mayor cantidad de artículos entre los años 1975 y 2021, considerando los 43 artículos finales.	61

Índice de figuras

	Página
Figura 1 Flujograma de proceso de pasteurización térmica convencional.	15
Figura 2 Línea de tiempo con hitos importantes en la historia de la pasteurización.	16
Figura 3 Screenshot de plataforma WOS y resultados de búsqueda.	20
Figura 4 Flujograma de la Revisión Sistemática Inicial, considerando la metodología prisma y el análisis bibliométrico.	24
Figura 5 Screenshot de resultado de búsqueda en plataforma prospero.	30
Figura 6 Consumo aparente de leche de vaca por población mundial, Situación internacional y nacional del sector lácteo bovino, Odepa 2022.	58
Figura 7 Cantidad de publicaciones por idioma de publicación considerando los 6817 artículos iniciales de análisis.	31
Figura 8 Cantidad de publicaciones por país de publicación considerando los 6817 artículos iniciales de análisis.	32
Figura 9 Network visualization bibliographic coupling countries.	33
Figura 10 Cantidad de publicaciones por año de publicación considerando los 6817 artículos iniciales de análisis.	34
Figura 11 Density visualization bibliographic coupling sources.	35
Figura 12 % de publicaciones en las principales 6 revistas considerando los 6817 artículos iniciales de análisis.	38
Figura 13 % de publicaciones por tema o tratamiento considerando las 43 publicaciones finales de análisis.	39
Figura 14 Procesos de pasteurización analizados dentro de los 43 artículos finales de análisis.	40
Figura 15 % de publicaciones por tratamiento las 43 publicaciones finales de análisis.	41
Figura 16 % de publicaciones considerando las 5 principales revistas de las 43 publicaciones finales de análisis.	43

Resumen

La leche desde antaño es considerada un alimento básico dentro de la ingesta diaria, consumida desde niños hasta la población adulta por sus propiedades nutricionales, su acceso y disponibilidad, además de su fácil e inmediato sistema de consumo. Debido a su carga microbiana desde el origen y proceso, es que se deben aplicar tratamientos que aseguren la calidad y seguridad al momento de su consumo, con el fin de evitar focos de enfermedades resultado de la ingesta de alimentos con una alta carga microbiana, además de conseguir extender la vida útil de alimentos que antiguamente eran considerados casi de consumo inmediato, es aquí donde nace la pasteurización, tratamiento descubierto entre los años 1860 y 1870 pero que mantiene su principio fundamental hasta el día de hoy. Según el RSA, pasteurización es el procedimiento por el que se somete uniformemente la totalidad de las leches u otros productos lácteos a una temperatura conveniente durante el tiempo necesario, para destruir la mayor parte de la flora banal y la totalidad de los gérmenes patógenos, seguido de un enfriamiento rápido de las leches o los productos lácteos así tratados. Considerando lo importante de este tratamiento y las nuevas tendencias a nivel mundial en procesos aplicados a la leche, se realiza una revisión sistemática que consiste en la búsqueda y compilación de evidencia empírica con criterios preestablecidos en relación al término pasteurización entre los años 1975 y 2021, para comprender el avance de estos procedimientos, nuevas tendencias y tecnologías aplicadas a la industria láctea y de sus derivados. A través de la metodología prisma se obtienen 43 artículos para análisis final, los que arrojan dos grandes subgrupos, los tratamientos térmicos y los no térmicos. Si bien el desarrollo de las nuevas tendencias mantiene la atención de las empresas por los beneficios en relación a la calidad de los productos y el consumo de energía, los tratamientos térmicos siguen siendo hoy los únicos avalados en productos lácteos, a través de los cuales entregan un alimento seguro e inocuo para el consumo humano.

Summary

Pasteurization processes recommended by the scientific literature between 1975 and 2021, systematic review.

Milk since ancient times is considered a basic food within the daily intake, consumed from children to the adult population for its nutritional properties, its access and availability, in addition to its easy and immediate consumption system. Due to its microbial load from the origin and process, treatments must be applied to ensure quality and safety at the time of consumption, in order to avoid sources of disease resulting from the intake of foods with a high microbial load, in addition In order to extend the useful life of foods that in the past were considered almost immediate consumption, this is where pasteurization was born, a treatment discovered between the years 1860 and 1870 but which maintains its fundamental principle to this day. According to the RSA, pasteurization is the procedure by which all milk or other dairy products are uniformly subjected to a suitable temperature for the necessary time, to destroy most of the banal flora and all of the pathogenic germs, followed by rapid cooling of milk or dairy products treated in this way. Considering the importance of this treatment and the new trends worldwide in processes applied to milk, a systematic review is carried out that consists of the search and compilation of empirical evidence with pre-established criteria in relation to the term pasteurization between the years 1975 and 2021, to understand the progress of these procedures, new trends and technologies applied to the dairy industry and its derivatives. Through the prism methodology, 43 articles are obtained for final analysis, which yield two large subgroups, thermal and non-thermal treatments. Although the development of new trends maintains the attention of companies for the benefits in relation to the quality of the products and energy consumption, heat treatments continue to be today the only ones guaranteed in dairy products, through which they deliver a safe and innocuous food for human consumption.

1. Introducción

1.1. Planteamiento de problema

La ciencia está en permanente investigación de nuevos procesos que permitan asegurar la inocuidad y seguridad de los alimentos, con la finalidad de entregar un alimento con óptimas condiciones microbiológicas para el consumidor.

La leche cruda incluye a la leche de cabra, oveja y vaca, o cualquier otro animal, que no ha sido procesada o sometida a algún tratamiento o proceso para eliminar las bacterias que provocan daño como *Mycobacterium tuberculosis*, *Salmonella*¹, *Escherichia coli*, *Listeria*², *Campylobacter* u otras que causan enfermedades transmitidas por los alimentos y provocan lo que a menudo se denomina como intoxicaciones alimentarias por consumo de leche cruda. De hecho, la carga microbiológica en la leche cruda puede ser altamente peligrosa para las personas que presentan sistemas inmunitarios debilitados por enfermedades de base o condiciones como pacientes trasplantados o mujeres embarazadas, sumado a esto los adultos mayores. De hecho, los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC por sus siglas en inglés) consideran que las enfermedades transmitidas por alimentos de la leche cruda afectan especialmente a niños y adolescentes (Food & drugs, [FDA], 2020).

Según los CDC, desde 1993 a 2012, se registraron 127 brotes de enfermedades relacionadas a la leche cruda o derivados crudos como queso maduro, helados, queso fresco o yogurt, los que provocaron 1.909 enfermedades y 144 hospitalizaciones (FDA,2020).

Bajo este contexto, la leche recién extraída de animales sanos se considera estéril, pero tiene gran facilidad de contaminación por bacterias durante el proceso de ordeño, manipulación y conservación de la misma, las que se ven favorecidas en cuanto a supervivencia por el alto contenido de agua presente en la leche, por lo que necesita de un tratamiento para destruir esta carga inicial de bacterias. Dentro del proceso de

¹ *Salmonella Typhimurium*

² *Listeria monocytogenes*

pasteurización la aplicación de calor se ha convertido en la parte más importante del procesamiento de la leche y hasta ahora el método mayormente utilizado, representando la práctica habitual para inhibir el crecimiento microbiano en los alimentos.

Un tratamiento comúnmente utilizado para estos efectos es la pasteurización, que es el procedimiento por el que se somete uniformemente la totalidad de las leches u otros productos lácteos a una temperatura conveniente durante el tiempo necesario, para destruir la mayor parte de la flora banal y la totalidad de los gérmenes patógenos, seguido de un enfriamiento rápido de las leches o los productos lácteos así tratados (Reglamento sanitario de los alimentos, [RSA] DS 977, 2022) y esterilización que es el procedimiento por el que se somete uniformemente la totalidad de las leches u otros productos lácteos a un proceso térmico en autoclave o equipo similar, por el tiempo necesario para asegurar la ausencia de gérmenes viables y esporas que germinan en condiciones normales de almacenamiento (RSA, DS 977, 2022), ambos procesos están regulados en el Reglamento Sanitario de los Alimentos, lo que permite garantizar la obtención de productos que cumplan con los requisitos microbiológicos establecidos en el RSA, garantizando así, la disponibilidad de un alimento inocuo para la población.

El tratamiento de pasteurización térmica mayormente conocido es el de alta temperatura y corto tiempo (High Temperature Short Time, HTST por sus siglas en inglés), que generalmente se realiza entre los 70°C a 75°C durante 15-20 segundos (Manual de industrias lácteas, 2002). Por lo general, la pasteurización HTST ha mostrado un impacto mínimo o nulo en desnaturalización de las principales proteínas de la leche, manteniendo su valor nutricional casi intacto (Bogahawaththa et al., 2018).

Por otro lado, se han estudiado otros procesos de pasteurización alternativos a la pasteurización térmica convencional que no consideran aplicación de calor como por ejemplo el procesamiento de alta presión (HPP), basado en la inactivación de microorganismos y la extensión de la vida útil. Sin embargo, HPP puede desnaturalizar las proteínas nativas de la leche, lo que conduce a una inmunogenicidad alterada, provocando muchas veces desnaturalización severa de algunas proteínas (Bogahawaththa et al., 2018).

Hoy continúa la supervisión de las granjas lecheras para asegurar que las vacas estén libres de tuberculosis y brucelosis, así como mastitis y otras enfermedades, pero hoy en día todas las leches comercializadas aseguran su inocuidad aplicando algún tratamiento para bajar la carga microbiana presente, siendo la pasteurización la más frecuentemente utilizada en dicho proceso. De hecho, el proceso de pasteurización, como concepto, se encuentra validado en una gran gama de otros alimentos, como por ejemplo los alimentos con bajo contenido de humedad (LMF, por sus siglas en inglés) que muestran una actividad de agua baja a 25 °C (a_w a 25 °C $\leq 0,85$), son menos susceptibles al deterioro microbiano y a los patógenos transmitidos por los alimentos, ya que reducen el crecimiento de microorganismos. Sin embargo, los LMF aún deben descontaminarse porque los patógenos y los formadores de esporas pueden persistir en condiciones desecadas durante un período considerable, por lo que la pasteurización térmica parece ser apropiada para que los LMF eliminen los patógenos mientras se mantienen estables a temperatura ambiente (Liu et al., 2021).

En base a lo anteriormente descrito, este proyecto busca realizar una revisión sistemática de los procesos de pasteurización con mayor cantidad de publicaciones, recomendados por la literatura científica entre los años 1975 y 2021, el cual además podrá ser utilizado como material de apoyo para los alumnos que se encuentren cursando los ramos de procesos de conservación por altas temperaturas e Ingeniería de productos lácteos.

1.2. Objetivos del estudio

1.2.1. Objetivo General:

Entregar una visión general sobre los procesos de pasteurización a través de un análisis sistemático y bibliométrico de las publicaciones científicas entre los años 1975 y 2021.

1.2.2. Objetivos específicos:

1. Caracterizar y clasificar los procesos de pasteurización identificados en revisión sistemática de la literatura científica entre los años 1975 y 2021.
2. Describir y comparar la evolución de las diferentes tendencias en el proceso de pasteurización en el área de la ciencia y tecnología de alimentos entre los años 1975 y 2021.
3. Analizar los procesos de pasteurización en la industria alimentaria más estudiados que se presentan en la literatura científica entre los años 1975 y 2021.

2. Marco teórico

La conservación de los alimentos por calor probablemente se ha practicado por el hombre desde el descubrimiento del fuego. El proceso de pasteurización deriva de Louis Pasteur, quien junto con Claude Bernard en la década de 1860 y 1870 demostraron que calentar líquidos, especialmente vinos, hasta bastante bajas temperaturas, como 60°C, mejoraron la conservación calidad durante el almacenamiento. Este tratamiento térmico a baja temperatura destruyó los organismos de descomposición, pero fue lo suficientemente bajo como para no destruir las características originales del líquido siendo tratado. Consideraron que calentando los líquidos a una temperatura necesaria para matar a los microorganismos presentes no solo se extiende la vida útil del producto, sino que, además, por consecuencia de la eliminación de bacterias patógenas, evitan futuras enfermedades en los consumidores provocadas por dichos microorganismos (Holsinger et al, 1997).

Con el desarrollo de equipos de pasteurización, refinamientos en saneamiento, refrigeración, transporte y distribución en el mercado exterior, la leche pasteurizada se hizo cada vez más aceptada. En 1947, Michigan se convirtió en el primer estado en legislar una ley estatal de pasteurización de la leche, que se volvió efectiva el 1 de julio de 1948. Desde entonces, todos los demás estados han legislado requisitos similares (Steele, 2000).

Pasteur llevó el mensaje de la pasteurización no solo a todas las grandes ciudades de los Estados Unidos, sino también a Europa. Distribuidores de leche reconocieron los beneficios de la aplicación de calor a la leche y practicaron la pasteurización incluso antes de que se establecieran las normas para este proceso. A principios del siglo XX, los veterinarios eran los supervisores de la higiene local de la leche y la prevención de enfermedades como la tuberculosis (Steele, 2000).

La pasteurización HTST en la industria alimentaria generalmente se realiza calentando leche en capas delgadas en sistema de flujo continuo de 70°C a 75°C durante

15 a 20 segundos (Manual de industrias lácteas, 2002). Esta metodología es adecuada para proporcionar una buena relación entre la seguridad microbiológica y la preservación de los componentes nutricionales y organolépticos (Donalisio et al., 2018)

En Chile, la normativa regulatoria o RSA, define el proceso como:

“Pasteurización es el procedimiento por el que se somete uniformemente la totalidad de las leches u otros productos lácteos a una temperatura conveniente durante el tiempo necesario, para destruir la mayor parte de la flora banal y la totalidad de los gérmenes patógenos, seguido de un enfriamiento rápido de las leches o los productos lácteos así tratados” (RSA. art. 199, p. 119, 2022).

Además, impone como mandatorio la aplicación de la pasteurización u otro proceso aplicado a la leche en todo el territorio nacional para productos destinados al consumo humano (RSA, art. 207, p.121, 2022). Por otro lado, regula, controla y menciona los posibles tratamientos a aplicar, indicando las condiciones de recepción, almacenamiento y mantención de las leches y sus derivados (RSA, art. 206 y 208, p.121, 2022). Además, para todas las plantas que recepcionen leche como materia prima, las obliga a mantener registros y verificaciones de los tratamientos aplicados y sus respectivos parámetros, los cuales deben impedir la multiplicación bacteriana (RSA, art. 209, p.121 y 122, 2022).

El consumo de lácteos y leche se incluye con frecuencia como elementos importantes en una dieta sana y equilibrada. Es el primer alimento de los mamíferos y aporta toda la energía y los nutrientes necesarios para asegurar un correcto crecimiento y desarrollo, siendo crucial en lo que respecta a la formación de masa ósea (Pereira, 2014). De acuerdo con Rojo (2019), se ha demostrado los beneficios sobre el metabolismo óseo del consumo de lácteos en las poblaciones, por su aporte en calcio, vitamina D y proteínas que favorecen la mineralización ósea. Estudios indican que la ingesta de lácteos y sus derivados se relaciona a un riesgo menor de obesidad en los

niños y adultos, además de un efecto entre neutro y beneficioso sobre el riesgo cardiovascular metabólico.

Junto con lo anterior, la ingesta de lácteos se relaciona con una menor prevalencia de obesidad e hipertensión en la población general, por lo que hoy en día, se espera que la industria alimentaria ofrezca alimentos seguros, pero también prevenga o reduzca el impacto negativo de las técnicas de conservación en compuestos alimentarios valiosos (Vivanco et al., 2021)

En este aspecto, los tratamientos térmicos entregan condiciones seguras a la leche y otros alimentos, pero a su vez también tienen impactos negativos en los mismos, como pérdida de algunos nutrientes, desnaturalización de proteínas o pérdida de características organolépticas, siempre la premisa es entregar alimentos seguros e inocuos a los consumidores buscando reducir el impacto negativo en los alimentos.

El método de pasteurización térmica comercial más utilizado es el de alta temperatura y corto tiempo (HTST), que se realiza de 70°C a 75°C durante 15 a 20 segundos (Manual de industrias lácteas, 2002). La pasteurización se ha basado en el procesamiento térmico, pero en los últimos años se ha demostrado que existe potencial para que varias tecnologías no térmicas obtengan el mismo objetivo. (Bermúdez et al., 2011).

El uso de procesos no térmicos para la conservación de alimentos es una respuesta tecnológica a los cambios indeseables inducidos por el procesamiento térmico en los alimentos, es así como han aparecido nuevos procesos de pasteurización no térmica, es decir, tratamientos capaces de inactivar microorganismos a temperaturas inferiores a las normalmente utilizadas en el procesamiento térmico o pasteurización convencional.

Varias nuevas tecnologías de conservación de alimentos han sido investigadas por la industria alimentaria para satisfacer las demandas de los consumidores de

productos alimenticios frescos y nutritivos con altas propiedades organolépticas (Rajkovic et al., 2009). Por ejemplo, la capacidad de los campos eléctricos pulsados (PEF) para inactivar las células vegetativas de los microorganismos a temperaturas inferiores a las utilizadas en el procesamiento térmico hace que esta tecnología sea muy atractiva como proceso de pasteurización no térmico para la industria alimentaria (Saldaña et al., 2011).

Otro proceso de pasteurización es el método de pasteurización de Holder (HOP) el cual somete a la leche a una temperatura de 62,5 °C durante 30 min. Sin embargo, la literatura indica que HOP afecta a varios componentes de la leche en grados variables, con un marcado efecto sobre el contenido y la actividad de la proteína de la leche (Donalisio et al., 2018).

Otra tendencia es la de pasteurización a alta presión, que es un procesamiento de alimentos no térmico relativamente novedoso, desarrollado como una alternativa a los tradicionales métodos de pasteurización, diseñado tanto para sólidos como para líquidos. La principal ventaja es que puede ser utilizado en alimentos con (o) sin embalaje (en el primer caso elimina la posibilidad de contaminación posterior al tratamiento). Utiliza un amplio rango de presión de 50-1000 mpa., y varía con tipo de alimento y con microbios destinados a la destrucción (Giriprasad et al., 2015).

La pasteurización con CO₂ a alta presión (HP-CO₂) puede ser un método no térmico útil y efectivo para inactivar microorganismos en la leche, ya que evita la formación de subproductos o sabores indeseables. HP-CO₂ tiene varias ventajas, incluido el bajo costo y la facilidad de eliminación del producto después de su uso. El efecto de HP-CO₂ en la reducción del recuento microbiano en jugos de frutas ya ha sido investigado, obteniendo positivos resultados (Werner, 2006).

Por otro lado, se ha demostrado un posible potencial en el N₂O presurizado como auxiliar de proceso de inactivación no térmica para la reducción de bacterias en la pasteurización de leche fresca cruda en condiciones de funcionamiento moderadas, demostrando que un mayor desarrollo del proceso N₂O puede abrir las puertas a un nuevo método de baja temperatura para la pasteurización de la leche, que podría explotarse a escala industrial en la pasteurización de leche fresca cruda (Spilimbergo, 2011).

Como consecuencia de la aparición de estas tecnologías, la pasteurización ha sido redefinida recientemente por el Comité Asesor Nacional sobre Criterios Microbiológicos para Alimentos (NACMCF, p. 69, 2006) como:

"Cualquier proceso, tratamiento o combinación de los mismos que se aplica a los alimentos para reducir los microorganismos más resistentes de importancia para la salud pública, a un nivel que probablemente no presente un riesgo para la salud pública en condiciones normales de distribución y almacenamiento"

Dando paso a nuevas tendencias en el desarrollo del proceso de pasteurización, principalmente enfocado a la leche y sus derivados. A modo de referencia, se representa en la siguiente ilustración el flujograma de un proceso de pasteurización térmica tradicional.

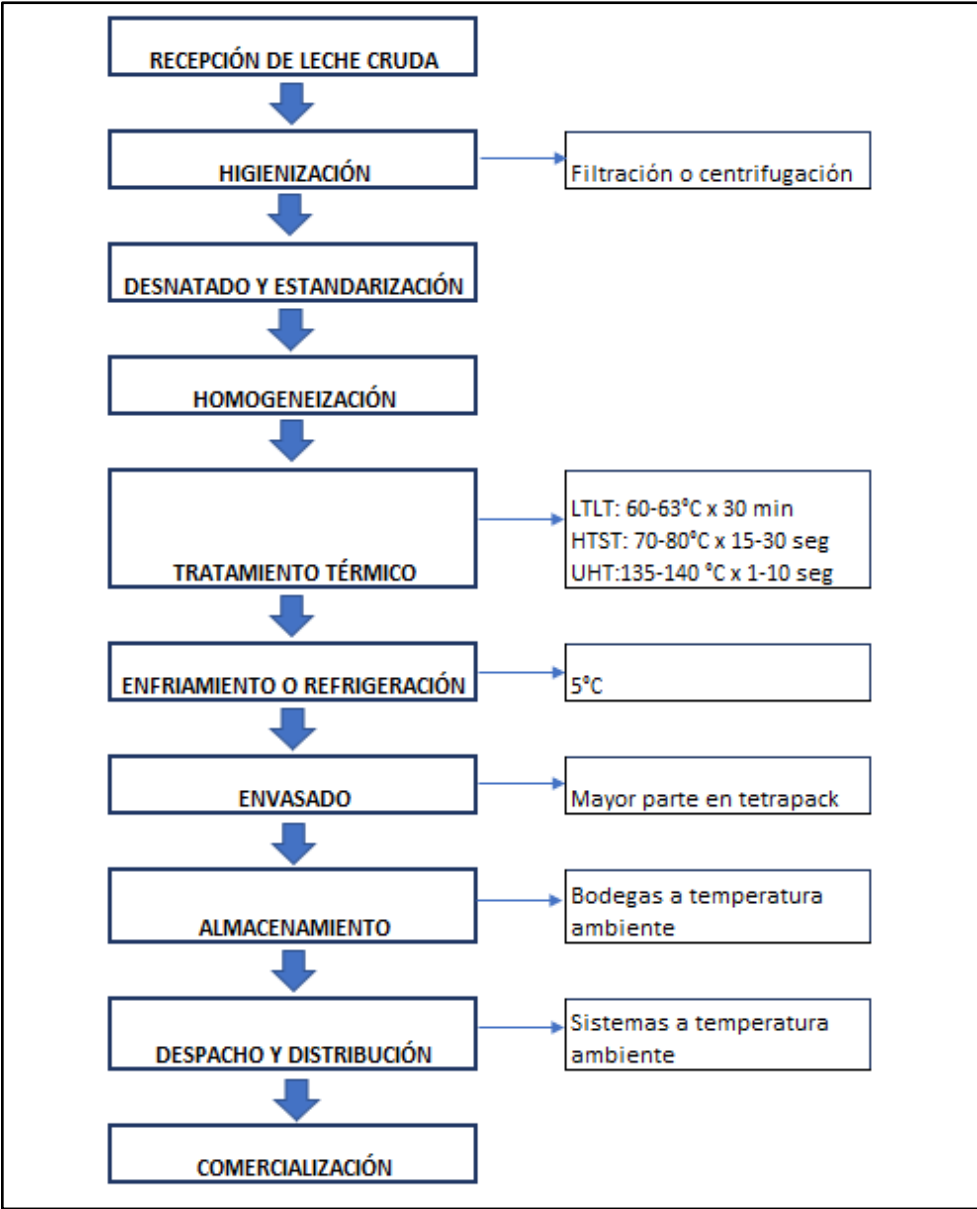


Figura 1. Flujograma de proceso de pasteurización térmica convencional (Coolbear et al., 2022)

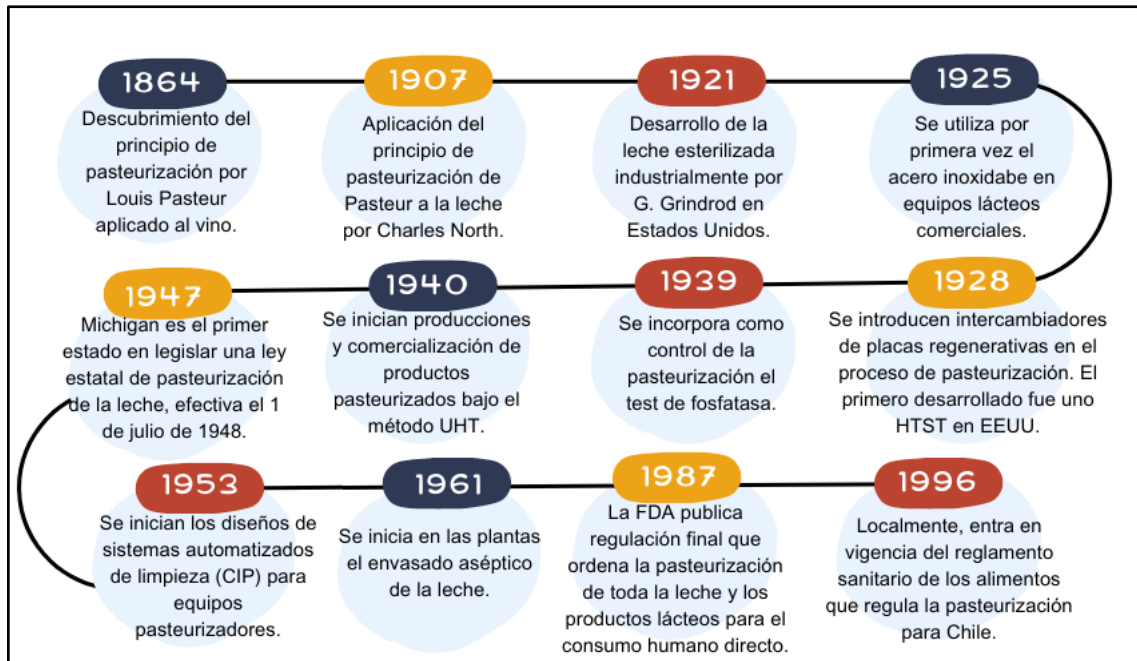


Figura 2. Línea de tiempo con hitos importantes en la historia de la pasteurización.

3. Materiales y métodos

3.1. Generalidades metodológicas

El estudio se basa en una revisión sistemática, la cual consiste en la búsqueda y compilación de evidencia empírica con criterios preestablecidos para responder una o varias preguntas de interés (Letelier, Manríquez y Rada, 2005). Por lo tanto, el presente trabajo busca describir, caracterizar y clasificar las evidencias encontradas de acuerdo a la metodología antes mencionada realizada en la plataforma WOS en relación al término pasteurización en la leche y sus derivados.

De esta información inicial se desprende historia del proceso, hitos relevantes y que generan implementaciones de normativas y controles que en principio son aplicados de manera local pero que con el tiempo se extendieron a todos los países, desarrollo de tecnologías y aplicaciones, junto con el descubrimiento de nuevos productos y mejoras en los tratamientos. Conocer la historia es importante para entender el progreso del procesamiento de la leche y sus derivados a lo largo del tiempo.

Este proceso de búsqueda entrega innumerable información que es relevante en la industria alimentaria y procesos productivos, por lo que la fuente de información usada para esta revisión será la plataforma Web of Science (WOS), haciéndose necesario utilizar programas que permitan un estudio y lectura adecuado de toda la información encontrada entre los años 1975 y 2021, rango de fechas en las que se realiza el estudio. Existen diversas herramientas de software para trabajar datos, en este caso se utilizará el programa vos viewer que se emplea para construir y visualizar redes bibliométricas, obtener relaciones directas, gráficas y dinámicas entre las conexiones y nexos.

Una herramienta útil es la bibliometría, que corresponde a que es el estudio de las matemáticas y estadísticas a todo documento escrito que esté basada en los aspectos de la comunicación y que considere elementos tales como autores, título de la publicación, tipo de documento, idioma, resumen y palabras claves o descriptores (Carrizo, 2006).

Los indicadores bibliométricos mayormente utilizados son:

- Cantidad de publicaciones.
- Cantidad de publicaciones por autores.
- Cantidad de publicaciones por instituciones editoras y lugares de edición.
- Análisis de las publicaciones por temática.
- Análisis de citas e índices de impacto de estas.

Todos estos indicadores entregan información importante para el análisis, la cual se procesa a través del software vos viewer, plataforma utilizada para construir y visualizar redes bibliométricas. Tiene la capacidad de llegar a documentos como revistas, investigadores o publicaciones, de los cuales puede extraer citas, acoplamiento bibliográfico, co-citas o relaciones de autorías, realizando principalmente redes bibliométricas, a pesar de que también puede llegar a utilizarse para crear, visualizar y explorar mapas basados en cualquier tipo de datos de redes.

Por otro lado, las revisiones sistemáticas constituyen una de las principales metodologías utilizadas en la validación de información de diferentes fuentes y tipos, típicamente, se explicita el método utilizado para encontrar, seleccionar, analizar y sintetizar la evidencia presentada. Las revisiones sistemáticas difieren de las revisiones narrativas tradicionales en que las revisiones sistemáticas siguen un protocolo de investigación estructurado para reducir las fuentes de sesgo en todas las etapas de la revisión.

Los pasos a seguir en una revisión sistemática son los siguientes: formular una pregunta, desarrollar un protocolo, encontrar la estrategia de búsqueda adecuada al proyecto, identificar estudios relevantes para el análisis, valorar críticamente los mismos, extraer los datos y finalmente resumir y sintetizar de los resultados obtenidos (Sargeant, Rajic, Read y Ohlsson, 2006).

Dentro de las revisiones sistemáticas existen 3 tipos, cuantitativas, cualitativas y mixtas. Este proyecto se desarrollará en base a las revisiones sistemáticas cualitativas. Estas consisten en que se recopilan y revisan datos, en este caso publicaciones sobre un mismo tema y posteriormente se sintetiza la información considerando la mejor evidencia. El propósito de una revisión de la literatura realizada como parte de una metátesis no es identificar todos los documentos relevantes, sino identificar suficientes documentos para producir una saturación temática durante la etapa de análisis (Finfgeld-Connett, 2010).

Sin embargo, una metátesis de hallazgos cualitativos debería ser más que un mero resumen de los hallazgos; la metátesis también debe implicar un enfoque sistemático para la recopilación y el análisis de estudios cualitativos, un enfoque en los hallazgos de estos estudios y el uso de métodos cualitativos para sintetizar estos hallazgos (Sandelowski y Barroso, 2000).

Además, los datos recopilados serán seleccionados bajo la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses), que nos permite

tener un manejo de la información más amplia, actualizada y centralizada en relación a los criterios de búsqueda y segregación, se realizará un barrido de todos los ítems que considera este tipo de análisis, tomando los registros que sean más representativos y útiles para el estudio realizado.

3.2 Metodología de trabajo

Se realiza la búsqueda de todas las publicaciones, análisis, paper u otro bajo el término pasteurización, para dar cobertura a los diferentes términos se agrega la cantidad de filas necesarias para las siguientes alternativas en la búsqueda: pasteurization, pasterization, pasteurisation, pasterisation, pasteurizacion, pasterización y pasteurización empleando como término booleano (or) en la herramienta WOS (www.webofscience.com de clarivate). Se utiliza la plataforma actual para realizar la búsqueda, considerando como campo de búsqueda el ítem topic o tema, lo que significa que todas las publicaciones arrojadas por la plataforma tendrán el descriptor pasteurización o sus alternativas como parte del tema, ya sea como análisis principal, base de la investigación, referencia del proceso, comparativo con otro tratamiento o sistema, o algún otro nexo directo con el proceso de pasteurización.

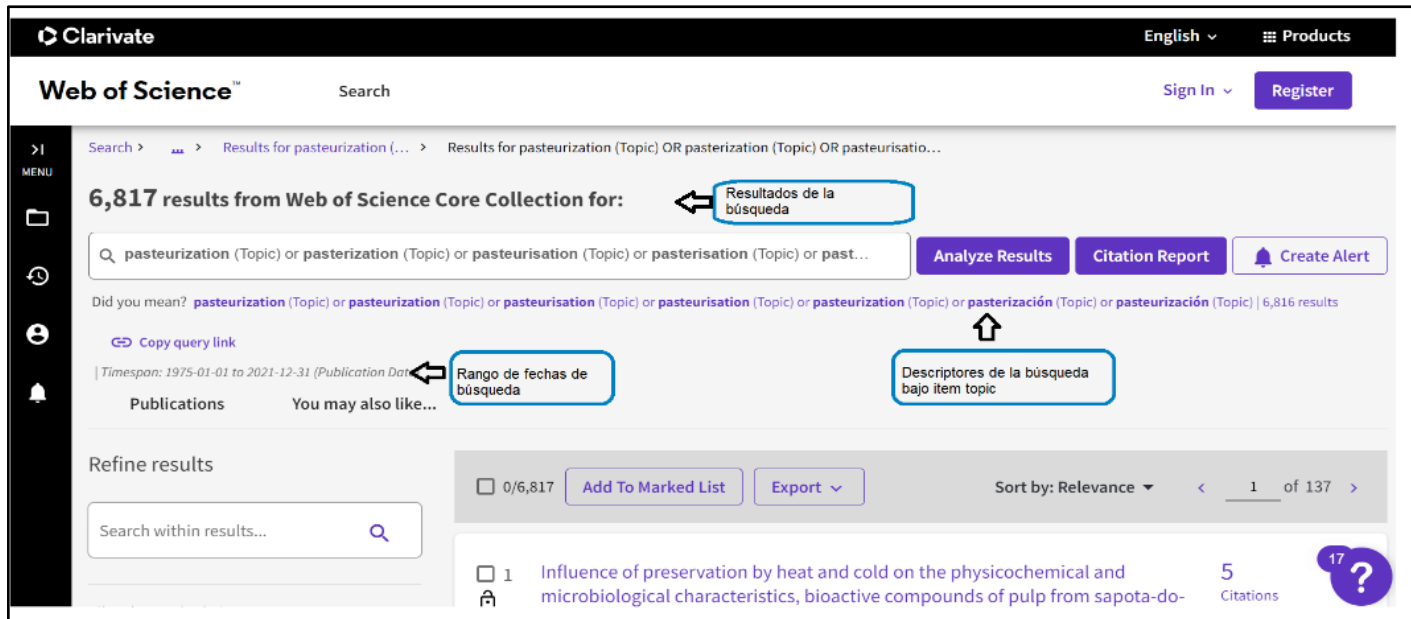


Figura 3. Screenshot de plataforma WOS y resultados de búsqueda.

Se encuentran en la búsqueda 6817 registros entre los años 1975 y 2021, los cuales se descargan en archivo de texto sin formato en 7 documentos dado que la herramienta permite un máximo de 1000 registros por cada descarga, completando así los 6817 registros para luego procesar los datos en la herramienta vos viewer para obtener relaciones directas, gráficas y dinámicas entre las conexiones y nexos, para visualizar las principales redes bibliométricas. Esta totalidad de registros se analiza bajo la metodología prisma, para segregar las publicaciones finales que serán la base del desarrollo y discusión del presente trabajo, las cuales serán representadas de igual forma a través de la herramienta vos viewer.

3.3 Diseño metodológico de la revisión sistemática según la metodología PRISMA

3.3.1 Diseño del estudio

Este proyecto es un análisis que tiene como base la metodología PRISMA para revisiones sistemáticas. Dicha metodología considera 5 etapas básicas, que se detallan a continuación:

3.3.1.1 Etapa de Identificación

La búsqueda de la información comienza con la identificación de conceptos claves, keywords o términos de restricción de búsqueda. Para este análisis los términos serán los siguientes: I) pasteurization, II) pasterization, III) pasteurisation, IV) pasterisation, V) pasteurizacion, VI) pasterización, VII) pasteurización, empleando término boleano (or) en la búsqueda.

En esta etapa se seleccionarán todas las bases de datos arrojadas por la biblioteca virtual o metabuscador WOS, las cuales se utilizarán para proceder a la búsqueda de investigaciones empíricas. De acuerdo con la búsqueda, dio un total de 6817 registros.

3.3.1.2 Etapa de Duplicados

La segunda etapa del diseño metodológico consiste en la identificación de duplicados. Al utilizar solo un metabuscador no se encuentra duplicidad en los registros encontrados en la etapa de identificación, por lo tanto, no se eliminaron artículos del listado.

3.3.1.3 Etapa de Elegibilidad

La etapa de elegibilidad se basa en una revisión exhaustiva de los términos o descriptores que se han seleccionado en la etapa de identificación. Para este proyecto, los términos utilizados son: I) pasteurization, II) pasterization, III) pasteurisation, IV) pasterisation, V) pasteurizacion, VI) pasterización y VII) pasteurización. Estos términos se revisan y verifican en los abstracts, teniendo como exigencia que todos se encuentren enfocados en la industria alimentaria, principalmente hacia las empresas lácteas y de sus derivados. La búsqueda completa se someterá al mismo procedimiento metodológico y en caso de no evidenciarse relación con los términos o tipo de industria en la cual se enfoca el estudio, estos artículos serán eliminados de los registros. El total de artículos que presentan estos términos de búsqueda fueron 243 publicaciones, los cuales se someterán a la siguiente etapa de criterios de inclusión y exclusión.

3.3.1.4 Etapa de Criterios de inclusión y exclusión

En esta etapa se busca identificar los criterios de inclusión como de exclusión de los artículos encontrados en la etapa de elegibilidad. Estos artículos o publicaciones finales serán los documentos que serán la base del análisis y discusión de resultados.

Para este proyecto, se establecieron los siguientes criterios de inclusión: (1) artículos enfocados en la industria alimentaria, principalmente de lácteos y sus derivados (2) artículos con estudios empíricos o de campo sobre las diferentes tecnologías de pasteurización; (3) artículos procedentes de los principales 7 países que realizan mayor cantidad de publicación en relación al tema (EEUU, España, China, Italia, Brasil, Alemania y Canadá) y (4) artículos con fecha de publicación igual o superior al año 1975.

Por otro lado, los criterios de exclusión considerados serán los siguientes: (1) artículos de no estén enfocados a la industria alimentaria láctea y de sus derivados; (2) artículos bibliográficos que no consideren estudios empíricos o de campo sobre la pasteurización; (3) artículos que provengan de otros países que no sean los 7 principales

indicados en el punto 3 del criterio de inclusión; (4) artículos que tengan fecha de publicación igual o inferior al año 1975 y/o (5) artículos que no correspondan a artículos de investigación o de revisión.

3.3.1.5 Etapa de Evaluación de sesgo

En esta última etapa, se considera que la evaluación de sesgo sea analizada externamente, aplicando siempre el diseño metodológico junto con la base de datos y artículos seleccionados post etapa de inclusión y exclusión. Se considera que el evaluador externo será el profesor tutor del proyecto, quién a través de una pauta de evaluación o rúbrica, evaluará el diseño metodológico según criterios o indicadores de evaluación.

3.3.1.6 Flujograma de la Revisión Sistemática

Finalmente, se presenta el flujograma desde el inicio de la revisión sistemática, considerando en la etapa inicial la totalidad de artículos o publicaciones en relación al tema de interés, sin procesamientos. En la ilustración número 4 se indican las etapas descritas anteriormente para la metodología prisma y el análisis bibliométrico, desglosadas desde la selección de los artículos, detallando el número de artículos asociados a cada una de las etapas y los análisis realizados.

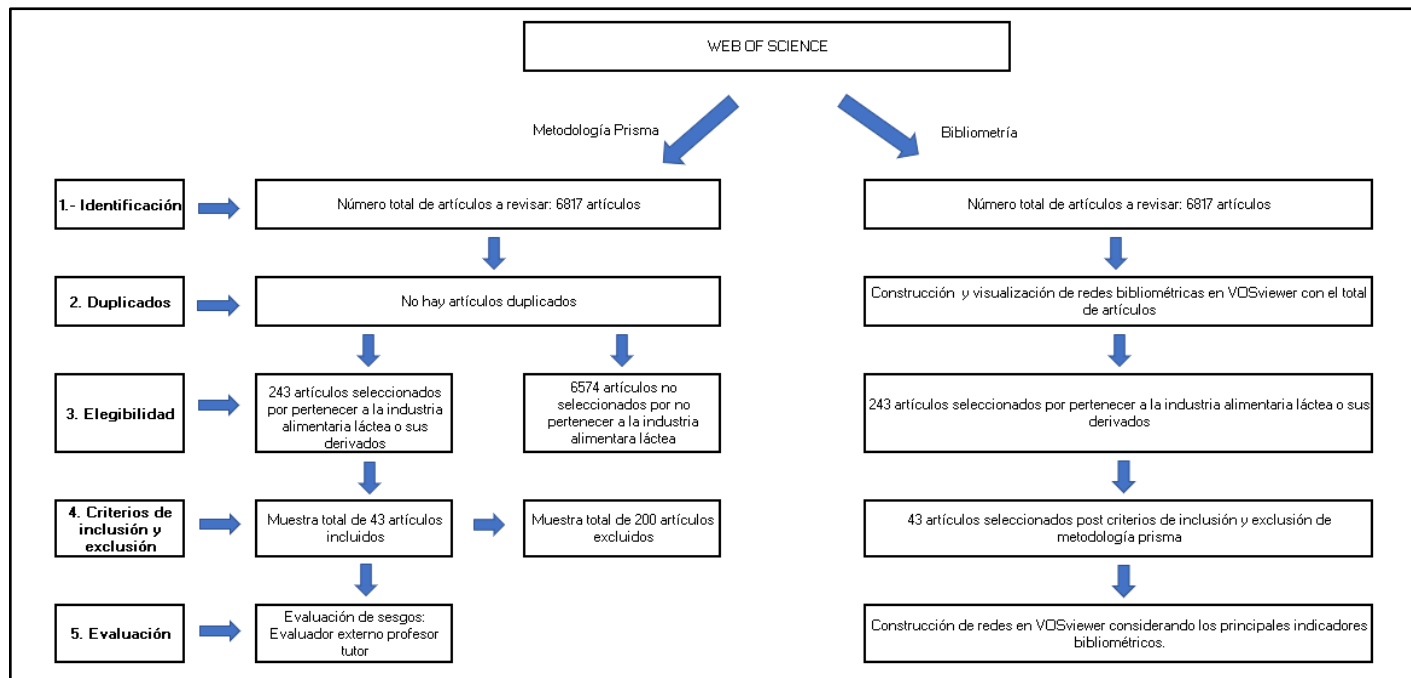


Figura 4. Flujograma de la Revisión Sistemática Inicial, considerando la metodología prisma y el análisis bibliométrico.

4. Resultados y discusión

Dentro de la pirámide alimenticia existe una amplia diversidad de alimentos que aseguran una correcta nutrición, la cual debe cumplir con las necesidades básicas del organismo. Una de las bases considera la leche y sus derivados, la cual ha sido catalogada desde los inicios como uno de los principales alimentos en la dieta de la población infantil por sus características nutricionales.

Diferentes culturas utilizan la leche de diferentes especies; mientras que en las culturas occidentales la leche bovina es la más comercializada y comprende alrededor del 81% de la producción mundial total de leche (OECD-FAO, 2021).

Los lácteos tienen variados orígenes, formatos, tipos y sabores, facilitando el acceso y consumo de la población de manera masiva. Con el paso del tiempo los procesos productivos han ido evolucionando de acuerdo al desarrollo de nuevas tecnologías y conocimientos, permitiendo la fabricación de productos de mejor calidad y seguridad. De acuerdo con información de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la producción de leche para el año 2020 alcanzó 887 millones de toneladas, de las cuales 81% correspondió a leche de vaca, 15% de búfala y 4% de cabra, oveja y camella en su conjunto (Odepa, 2022). De la mano con esto, el consumo mundial per cápita aparente de leche de vaca se presenta en la ilustración 4 en la sección anexos, teniendo un consumo para el año 2020 de 92,5 l/per cápita/año, por debajo del consumo registrado para Chile, estimándose en alrededor de 146 litros por persona, lo que está por debajo de los 180 litros sugeridos por la FAO y los 200 litros consumidos por países avanzados (COAGRA, 2017).

Hoy existen más de 200 tipos de enfermedades transmitidas por los alimentos, a través de hongos, virus, bacterias y parásitos (Oliver et al., 2005), en donde la naturaleza nutritiva de la leche genera que sea un excelente medio para el crecimiento de microorganismos, lo que conduce a un deterioro relativamente rápido del producto de no realizar tratamientos apropiados que inactiven los microorganismos patógenos.

Dentro de los principales microorganismos transmitidos por la leche encontramos: *Campylobacter jejuni*, *Salmonella* SPP, *Escherichia coli* productora de toxina shiga (STEC), *Listeria monocytogenes* y *Staphylococcus aureus* (Oliver et al., 2005), además de la *Mycobacterium tuberculosis*, *Mycobacterium bovis* y *M. avium subsp. Paratuberculosis* (Dairy Processing and Quality Assurance, 2016), que en los bovinos puede provocar dos tipos de enfermedades, la tuberculosis (TBC) y la paratuberculosis respectivamente (Nielsen et al., 2016). La primera es una enfermedad infecciosa crónica que puede afectar especies domésticas y silvestres, incluido el hombre. La segunda es también una enfermedad crónica producida por *M. avium subsp. paratuberculosis* (Map), que afecta a bovinos, ovinos y caprinos (Nielsen et al., 2016), son enfermedades con potencial

zoonótico ya que se la asocia a la enfermedad de Crohn en los humanos (EC) (Chiodini et al., 2012), encontrándose ambas enfermedades con indicadores de una distribución mundial.

Algunas de estas bacterias son traspasadas directamente desde la leche al consumidor, es decir, el animal se encuentra infectado con la bacteria y la traspasa directamente a la leche, en cambio otras corresponden a contaminación durante el ordeño, procesamiento o almacenamiento.

Debido a la alta carga microbiana traspasada desde animales enfermos y la contaminación durante el proceso, facilitado por la composición de este alimento lo que hace viable la proliferación y supervivencia de microorganismos, se hace necesario someter la leche a diferentes tratamientos que disminuyan a niveles aceptables la carga microbiana para entregar un alimento seguro de consumo. Algunas razones para la obligatoriedad en la aplicación de tratamientos en la leche son:

- 1.- Brotes de enfermedades que son atribuibles a la leche cruda y pasteurizada.
- 2.- Leche cruda carente de tratamientos, la que es consumida por granjeros, familias y trabajadores de la granja.
- 3.- Fabricación de derivados lácteos como quesos madurados utilizando leche cruda, los cuales son consumidos directamente.
- 4.- Contaminación en las plantas procesadoras por patógenos de la leche cruda, los cuales forman biopelículas en los equipos de procesamiento, generando contaminación de todos los productos procesados bajo estos equipamientos.
- 5.- Existencia de patógenos resistentes a los tratamientos aplicados, principalmente a tratamientos térmicos.

6.- Procesos inadecuados o insuficientes en relación a los microorganismos existentes, lo que provoca que no toda la carga microbiana se encuentre controlada (Oliver et al, 2005).

Es importante revisar la historia de los últimos años en relación al proceso de la leche y derivados. En los últimos 100 años se visualizan cambios importantes en el proceso de producción que tienen diferencias claras en este y la forma de consumo.

Para inicios del siglo XX el consumo de leche era directo desde las granjas lecheras, con bajos controles de procesos, inocuidad y seguridad para su consumo, generando innumerables enfermedades alimentarias por el escaso control en toda la cadena de proceso, situación que se potencia con la composición y alto contenido de agua de la leche, la cual está compuesta en promedio por agua (87%), lactosa (4,8%), grasa (3,9%), proteínas (3,4%), minerales (0,8%), vitaminas y enzimas (Basaran et al., 2021) lo que provoca que sea fácilmente contaminable y foco de transmisión de enfermedades. Esta se considera estéril al momento de ser secretada por ubres provenientes de animales sanos, pero tiene altas probabilidades de contaminación e infección por microorganismos a través del canal del pezón o manejo de la leche post ordeño. En este periodo se priorizan los volúmenes de entrega sin sofisticados procesos, las ordeñas son procesos manuales que son realizadas por los dueños de las granjas, familias y trabajadores, las entregas de producto son domiciliarias y las empresas lecheras son escasas, se trabaja en gran parte con pequeñas granjas y sus respectivas entregas de producto con un sistema personalizado. Gran parte del volumen se reparte en contenedores metálicos o botellas de vidrio de casa en casa, la leche es entregada cruda, carente de procesamiento o control que asegure el consumo directo sin que se vea afectada la salud. Un hito importante en este primer periodo analizado es la introducción de la prueba de fosfatasa, el cual es un método utilizado para determinar la actividad relativa de la fosfatasa alcalina (ALP). Esta es una enzima que se encuentra en la leche cruda y se desnaturaliza por el calor, por lo cual al pasteurizar la leche bajo condiciones adecuadas se inactiva, por lo tanto, la medición de ALP proporciona una

prueba simple que se puede usar para verificar la pasteurización adecuada, lo cual fue particularmente importante en los primeros días de la pasteurización (Burgwald, 1939).

Durante los últimos 70 años, los cambios y avances significativos en la salud de las vacas, la higiene del ordeño, el procesamiento de productos lácteos y la vigilancia de enfermedades en la granja, los cambios en procesos y aumento de regulación continua han mejorado en gran medida la calidad y la seguridad de los productos lácteos. Se incorporan procesos automatizados, las industrias lecheras crecen en número y tecnología, a pesar de que gran parte de ellas se siguen abasteciendo de granjas lecheras, la leche ya no es entregada directamente a los consumidores, si no que pasa por un intermediario, las empresas lecheras. Gubernamentalmente y en pequeñas localidades se crean normativas que aseguran controles de calidad y microbiológicos para dar seguridad en su consumo directo, informando como mandatorio procesos que permitan el consumo directo de la leche una vez entregada a los consumidores, de la mano con esto los envases se adaptan aportando a las condiciones de distribución, consumo y extendiendo la vida útil. Se investigan nuevos procesos de pasteurización, que escapen de la aplicación de calor y los defectos que esto provoca en el producto final.

En relación a esta segunda parte, una fecha clave para la microbiología láctea fue el 10 de agosto de 1987, cuando la FDA publicó una regulación final que ordenaba la pasteurización de toda la leche y los productos lácteos para el consumo humano directo. Esta regulación, que prohibía el envío de leche cruda en el comercio, entró en vigencia el 9 de septiembre de 1987, lo que genera un precedente importante en relación a la obligatoriedad en relación a los procesos aplicados en la leche (Boor K. et al. 2017). Por ejemplo, en algunos países, como Canadá, la venta de leche cruda es ilegal y existen guías sólidas sobre cómo pasteurizar la leche cruda de vacas criadas en casa (OECD-FAO, 2021).

Si bien hoy existen normativas en todos los países que controlan la inocuidad de la leche y sus procesos, en Chile estos se encuentran regulados a través del RSA, tal como indica el artículo 207:

“Las leches crudas deberán ser sometidas a tratamientos microbicidas, tales como: pasteurización, temperatura ultra alta, centrifugación, esterilización u otros, inmediatamente después de su recepción en la planta o conservarse por tiempos y temperaturas que impidan la multiplicación bacteriana. Para lo anterior, las plantas que reciban leche deberán mantener registros sobre las validaciones realizadas que demuestren que tales relaciones de tiempo-temperatura impiden la multiplicación bacteriana y de las verificaciones del cumplimiento de esos tiempos y temperaturas conforme a lo dispuesto en el artículo 69 de este reglamento.” (RSA. art. 199, p. 121, 2022).

En base a la importancia que tiene la leche como producto en la cadena alimenticia, la necesidad de consumir un alimento seguro microbiológicamente y profundizar en las tecnologías, procesos y nuevos tratamientos en estudio aplicados a este importante alimento, es que se realiza este análisis sistemático de las publicaciones científicas sobre los procesos de pasteurización publicados entre los años 1975 al 2021.

Antes de comenzar el análisis se realiza una revisión del tema definido en la plataforma prospero (<https://www.crd.york.ac.uk/prospero>), sistema en el que se registran revisiones sistemáticas por áreas de investigación, para descartar que el estudio a realizar no se encuentre desarrollado anteriormente. El sistema arroja que no se encuentran registros de análisis bajo el tema a estudiar.

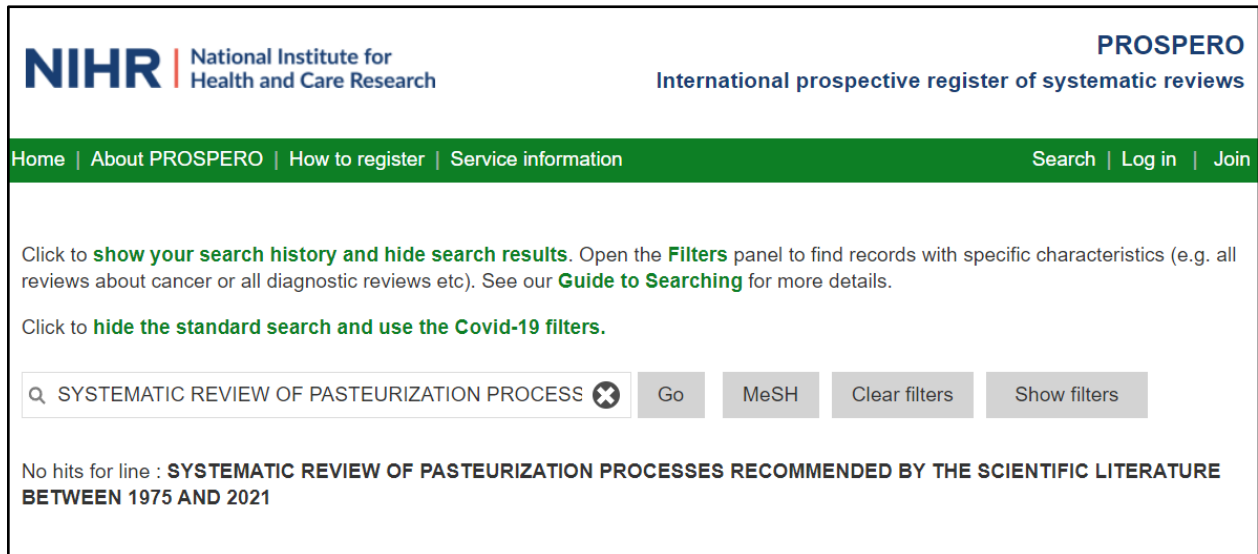


Figura 5. Screenshot de resultado de búsqueda en plataforma prospero.

Posteriormente, se analizaron en detalle todas las publicaciones científicas en la plataforma WOS entre los años anteriormente descritos, entregando un total de 6817 publicaciones relacionadas con los descriptores detallados en la etapa de identificación. Con esta totalidad de artículos se revisaron las principales inclinaciones del análisis estadístico tales como idiomas de publicación arrojando un 95,2% de las publicaciones en idioma inglés y un 4,2% corresponde a publicaciones en idiomas germano, español, francés, portugués, japonés y polaco. El resto de las publicaciones se encuentran en otros 12 idiomas que no son mayormente representativos en el análisis.

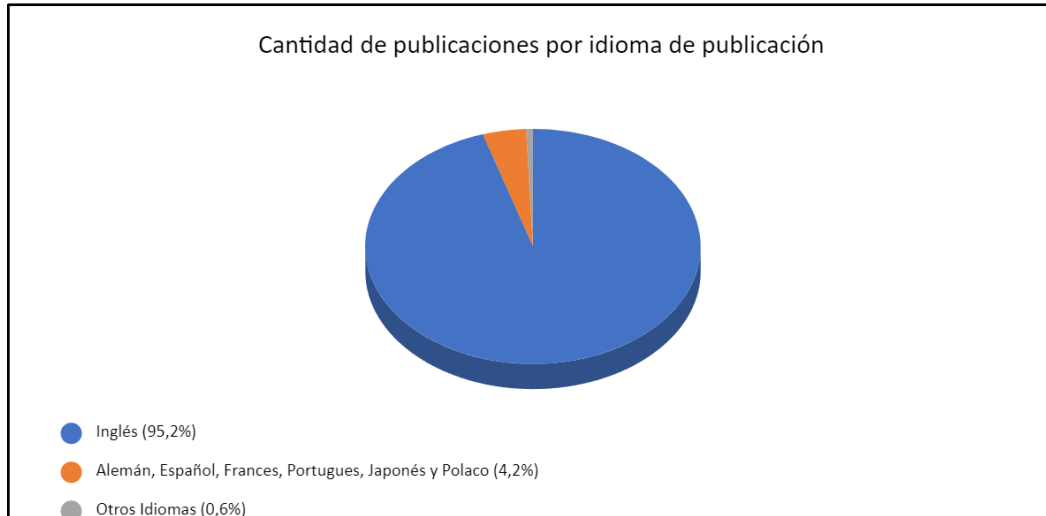


Figura 7. Cantidad de publicaciones por idioma de publicación considerando los 6817 artículos iniciales de análisis.

Este resultado se encuentra directamente relacionado con el país que presenta mayor cantidad de publicaciones en el rango de años indicado más arriba, correspondiente a EEUU con 1644 publicaciones, que significan un 24,1% del total, seguido por los países España, China, Italia Brasil, Alemania, Canadá, Francia, Inglaterra, Turquía e India, que en conjunto realizaron 3415 publicaciones al 50,1%. El restante 25,8% está conformado por 117 países (tabla 1).

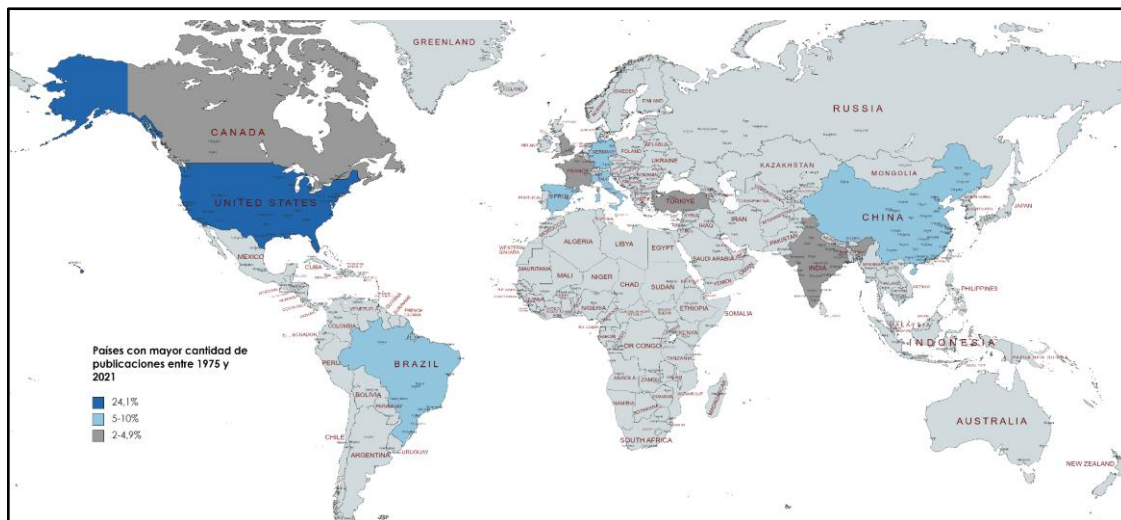


Figura 8. Cantidad de publicaciones por país de publicación considerando los 6817 artículos iniciales de análisis.

Estos resultados están en concordancia con la red bibliométrica network visualization, que en este caso correlaciona la mayor cantidad de bibliografía por país entre el total de 6817 publicaciones iniciales, arrojando como principal referente USA o EEUU, seguido por España, China, Italia, Brasil y Alemania con un porcentaje de publicación que va entre el 5 y 10%.

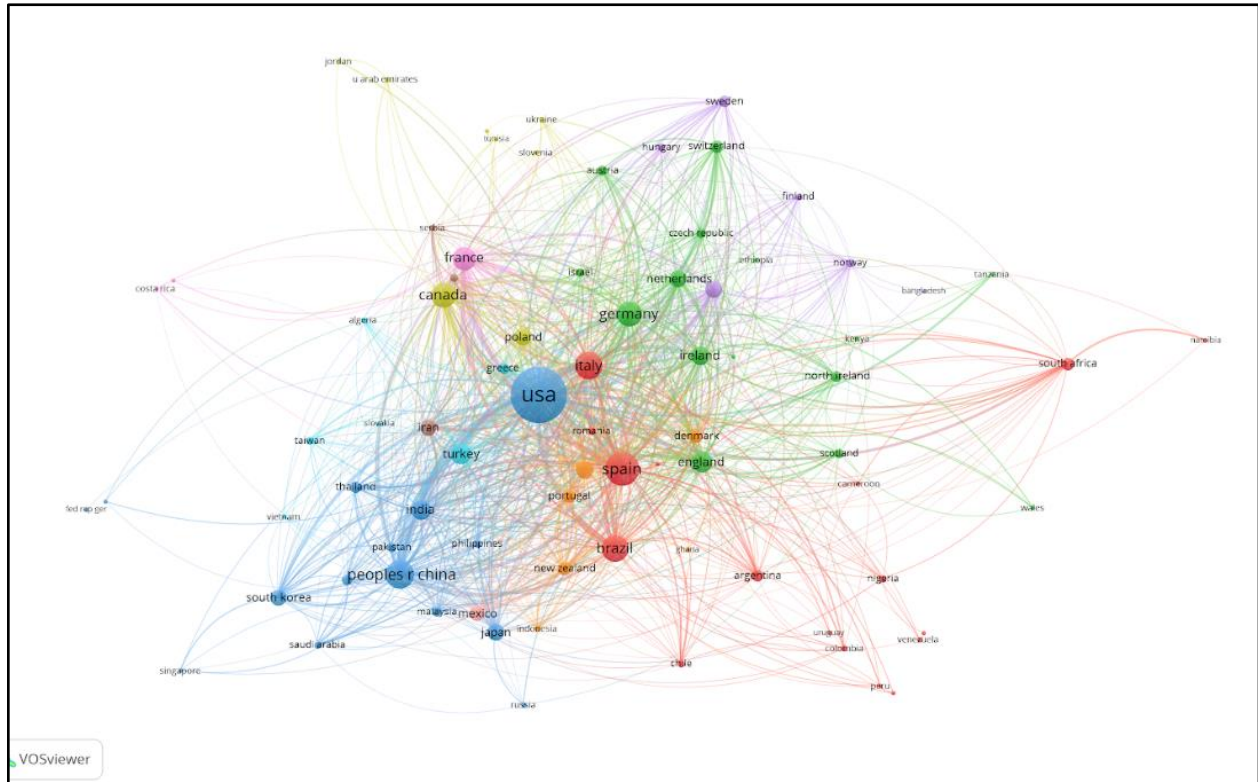


Figura 9. Network visualization bibliographic coupling countries.

En relación al gráfico de cantidad de publicaciones por año, se visualiza que los años en que se realizaron mayor cantidad de publicaciones en orden decreciente son 2020, 2019 y 2018. Las publicaciones realizadas entre los años 2001 y 2021 representan el 82,1% del total, siendo el 17,9% restante publicaciones que se encuentran entre los años 1975 y 2000 (tabla 2).

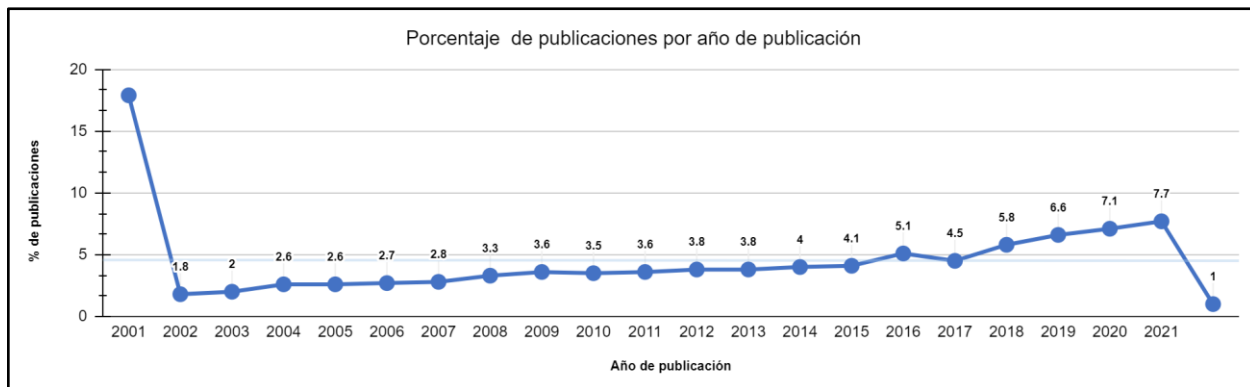


Figura 10. Cantidad de publicaciones por año de publicación considerando los 6817 artículos iniciales de análisis.

En la tabla número 2 se encuentra el detalle de las publicaciones por año, además de la tasa de crecimiento para el periodo 1975 al 2021.

Dentro de la variante tipo de artículos, los resultados arrojan 6154 publicaciones en la categoría de artículos, concepto utilizado como criterio de inclusión para la selección de los artículos segregados para el análisis final. En relación a las categorías de publicación, la revisión sistemática arroja 4275 publicaciones en la categoría ciencia y tecnología de los alimentos. Estos resultados se representan en la red bibliométrica ilustrada a continuación, con un gráfico de visualización de densidad en donde se aprecia el origen de los recursos o publicaciones del estudio, siendo las con mayor relevancia relacionadas a la categoría ciencia y tecnología de los alimentos, correspondiendo a un 62,7% del total de artículos. Todos estos resultados entregan información valiosa que permite un análisis profundo en relación al tema de la pasteurización.

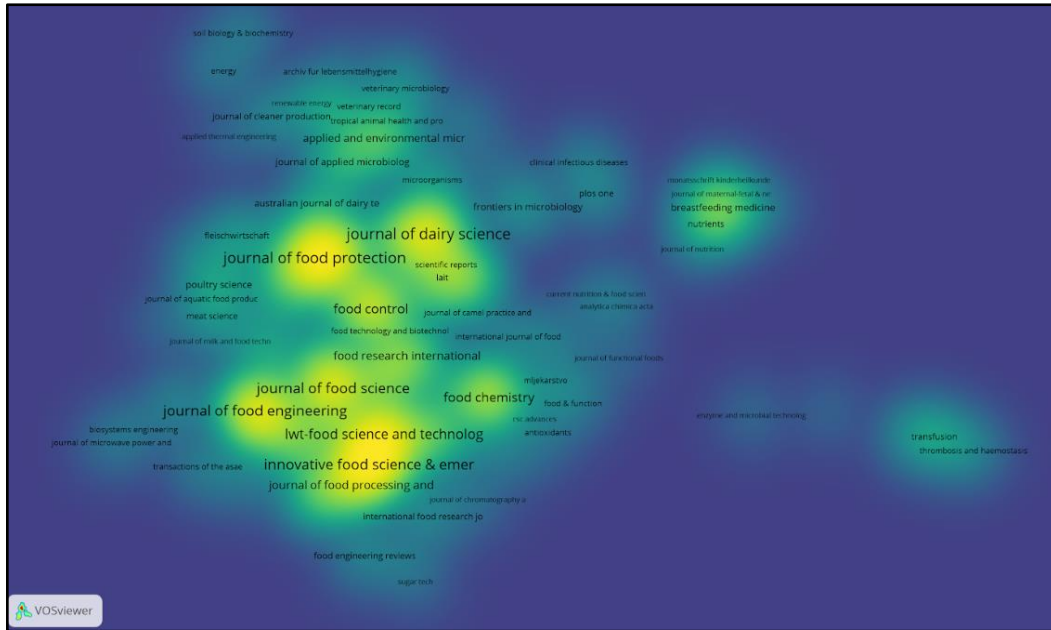


Figura 11. Density visualization bibliographic coupling sources.

El total de 6817 artículos se encuentra publicado en 1129 revistas diferentes, en donde el 18,9% de las publicaciones se encuentran asociadas a 6 revistas que concentran la mayor densidad de publicaciones para el término pasteurización y sus variantes entre los años 1975 y 2021. Estas 6 revistas son las siguientes: Journal of dairy science, Journal of food protection, Innovative food science & emerging technologies, Journal of food science engineering, LWT-Food science and technology y Food chemistry, las cuales concentran 1288 publicaciones.

El scope de estas 6 principales revistas se detalla a continuación:

Journal of Dairy Science (JDS) es una revista de acceso abierto con un factor de impacto de 4.225 durante el 2021, esta revista publica investigaciones originales, artículos de revisión y otros trabajos académicos relacionados con la producción y el procesamiento de leche o productos lácteos destinados al consumo humano. La revista se divide en líneas generales en secciones de alimentos lácteos y producción de lácteos.

Esta revista recibió su factor de impacto de cinco años más alto (4,987), lo que indica que los artículos en JDS continúan citándose mucho más allá del período inmediato de dos años posterior a la publicación. En la categoría de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, JDS ocupa el puesto 48 entre 143 revistas, que se encuentra en el segundo cuartil.

Journal of Food Protection (JFP) fue publicado por primera vez en 1937, incluye investigaciones científicas y artículos sobre una variedad de temas de protección y seguridad alimentaria, siendo una publicación de acceso abierto. JFP es la publicación líder en el campo de la microbiología alimentaria y sigue siendo la principal revista dedicada a la seguridad alimentaria. La revista es publicada por la Asociación Internacional para la Protección de los Alimentos, que cuenta con el respaldo de la mayor comunidad científica de alimentos.

Innovative Food Science and Emerging Technologies (IFSET) tiene como objetivo proporcionar contribuciones originales de la más alta calidad sobre nuevos desarrollos en innovaciones de la ciencia de los alimentos y tecnologías emergentes. La revista publica investigaciones y artículos de revisión que tratan sobre avances clave en la ciencia de los alimentos, la ingeniería y la tecnología de los alimentos, la seguridad y la sostenibilidad, los aspectos fundamentales, cinéticos y mecánicos de las prometedoras tecnologías emergentes de procesamiento de alimentos, así como las innovaciones clave de la ciencia de los alimentos. Los artículos pueden abordar combinaciones de más de una tecnología, así como investigaciones interdisciplinarias.

Journal of food engineering publica investigaciones originales y artículos de revisión sobre cualquier tema en la interfaz entre los alimentos y la ingeniería, en particular aquellos de relevancia para la industria, que incluyen: propiedades de ingeniería de los alimentos, física de los alimentos y química física; procesamiento, medición, control, empaque, almacenamiento y distribución; aspectos de ingeniería del diseño y producción de nuevos alimentos y del servicio de alimentos y catering; diseño y

operación de procesos, plantas y equipos de alimentos y economía de la ingeniería de alimentos, incluida la economía de procesos alternativos.

LWT - Food Science and Technology es una revista internacional que publica artículos innovadores en los campos de la química, la bioquímica, la microbiología, la tecnología y la nutrición de los alimentos, de acceso directo desde el 2022. Las principales áreas temáticas de los artículos publicados son la ciencia de los alimentos. El trabajo descrito debe ser innovador en el enfoque o en los métodos utilizados, con importancia de los resultados para la comunidad científica o para la industria alimentaria. Los artículos que presentan ensayos con animales y cultivos celulares están fuera del alcance de la revista y no serán considerados para su publicación.

Food chemistry es una revista que evalúa los objetivos y el alcance de sus investigaciones anualmente, modificándose en caso de ser necesario para reflejar los avances en el campo. Esto significa que los temas de investigación que anteriormente se consideraban dentro del alcance ahora pueden quedar fuera del alcance de la revista a medida que la comprensión científica y técnica de los campos evoluciona y los temas se vuelven menos novedosos, originales o relevantes para la química alimentaria. Food chemistry publica artículos que tratan sobre el avance de la química y la bioquímica de los alimentos o los métodos/enfoques analíticos utilizados. Todos los trabajos deben centrarse en la novedad de la investigación realizada. La investigación que promueva la teoría y la práctica de las ciencias moleculares de los alimentos o la cura/prevención de enfermedades humanas no se considerará para la inclusión en food chemistry.

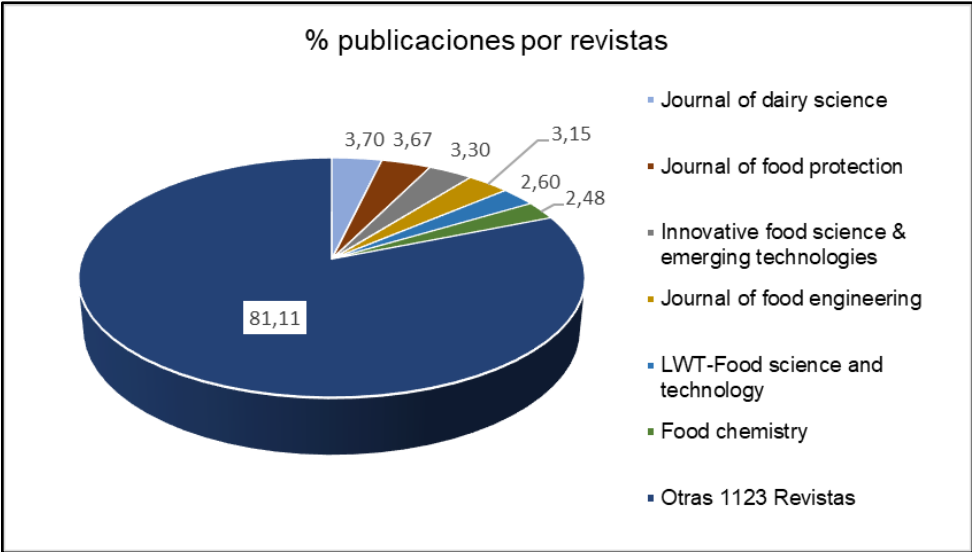


Figura 12. % de publicaciones en las principales 6 revistas considerando los 6817 artículos iniciales de análisis.

Con los resultados obtenidos y la metodología prisma en el ítem de elegibilidad, se segregan en esta etapa solo publicaciones que estén enfocadas en la industria alimentaria, principalmente empresas lácteas y de sus derivados, quedando 243 artículos que cumplen con dichos criterios. Luego de esto, aplicando los criterios de inclusión y exclusión se obtienen 43 artículos para el análisis final, los cuales serán revisados en profundidad para la obtención de resultados. El detalle de los procesos aplicados y revisados en estos 43 artículos se visualiza en la siguiente ilustración (tabla 3).

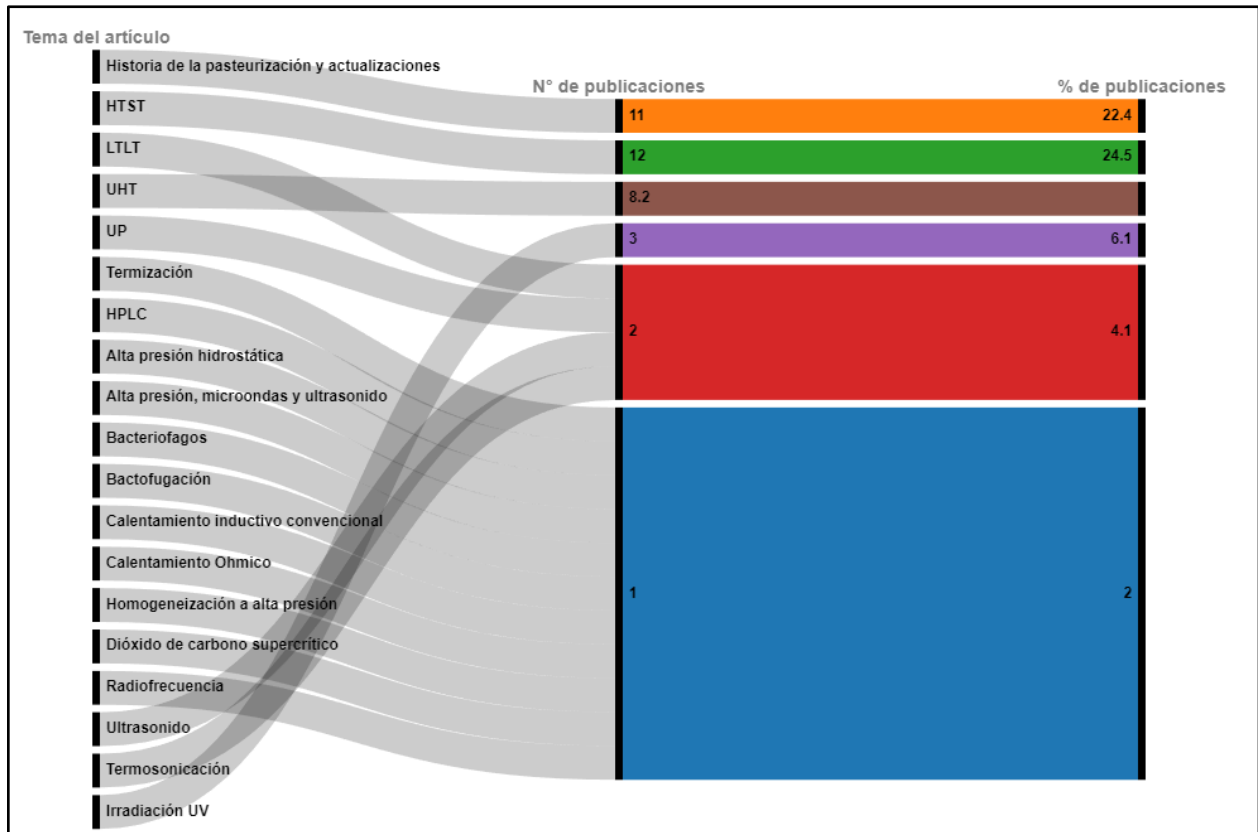


Figura 13. % de publicaciones por tema o tratamiento considerando las 43 publicaciones finales de análisis.

Del análisis anterior, se desprenden 2 grandes subgrupos de procesos principalmente aplicados a la leche, los procesos térmicos y los no térmicos, como se visualizan en la ilustración 14. Dentro de los procesos de pasteurización no térmica se analizan 12 tratamientos, contrastados con los 5 procedimientos analizados dentro de los métodos térmicos de pasteurización.

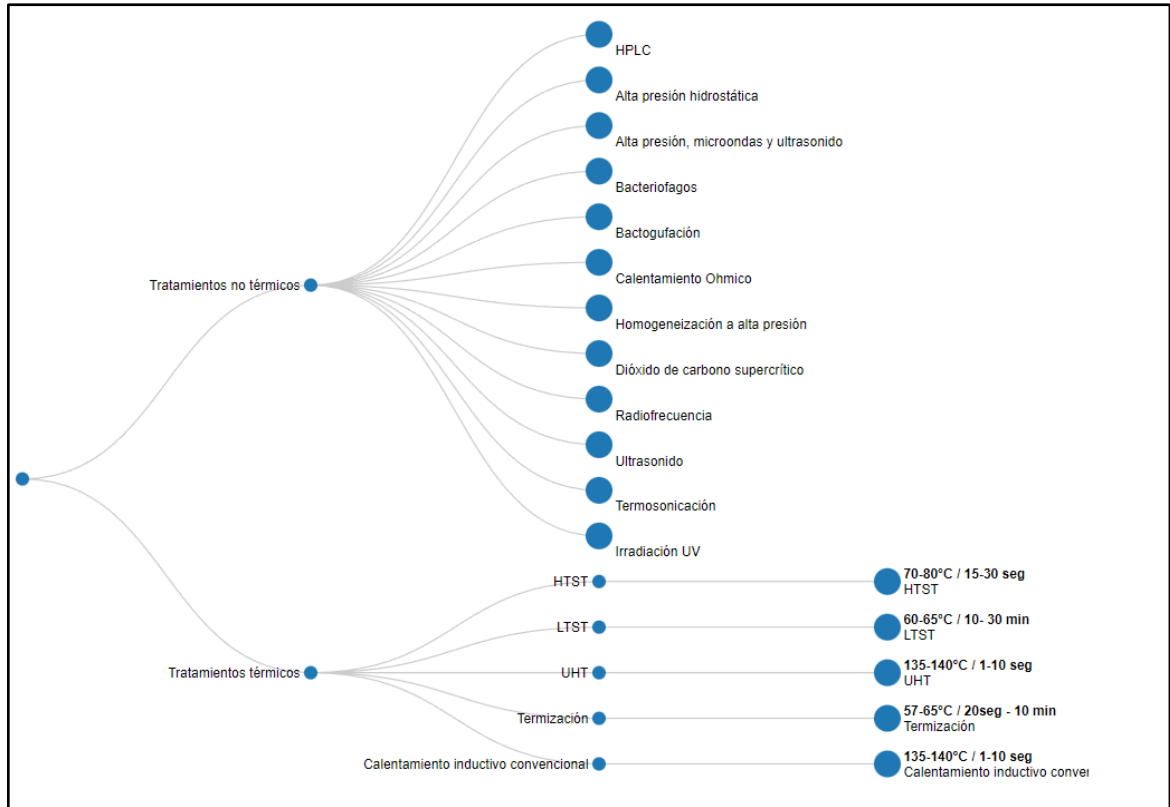


Figura 14. Procesos de pasteurización analizados dentro de los 43 artículos finales de análisis.

El análisis de los 43 artículos finales arroja que un 22,4% de las publicaciones informan sobre la historia del proceso de pasteurización grandes hitos, principales personajes en torno a la pasteurización y avances del proceso, un 42,9% sobre los procesos de pasteurización térmicos y un 34,7% de procesos de pasteurización no térmicos.

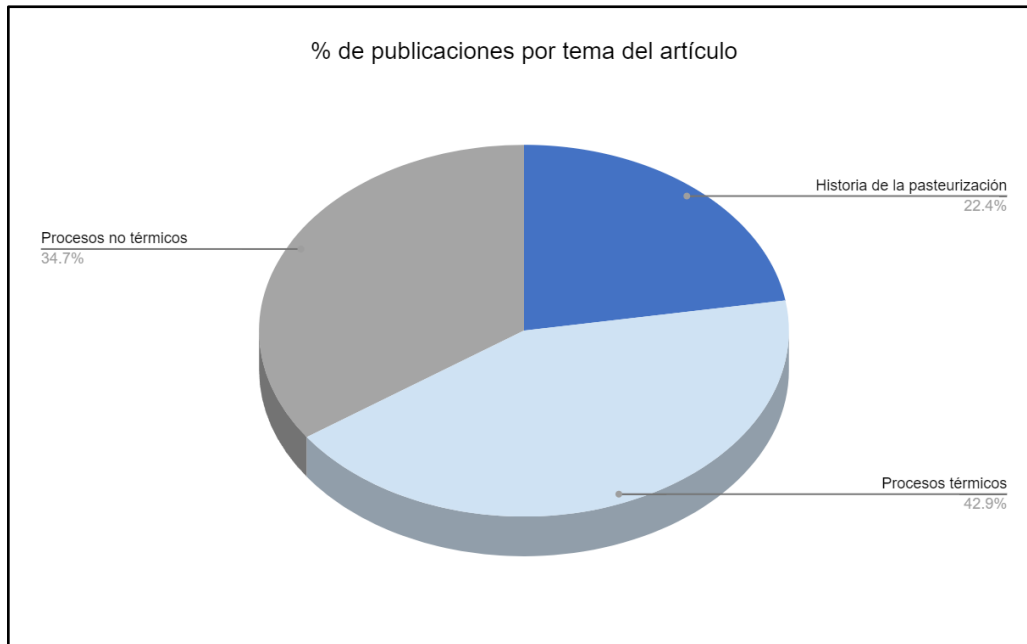


Figura 15. % de publicaciones por tratamiento de las 43 publicaciones finales de análisis.

Con estos datos se revisarán dentro de los artículos finales de análisis los tratamientos principalmente estudiados entre el año 1975 y el 2021.

Dentro de los procesos térmicos se considera la pasteurización tradicional y sus variantes como HTST o UHT entre otras, donde se somete el producto a temperatura por un rango de tiempo y posteriormente pasa por un proceso de enfriamiento rápido, todo esto con la finalidad de disminuir la carga microbiana a niveles aceptables, o bien, a niveles que no generen daño a los consumidores. Sin embargo, en los procesos de pasteurización térmica se aplican rangos de temperatura que están por debajo del punto de ebullición, aspecto que es aplicado a cualquier tipo de alimento, esto ya que en la mayoría de los casos si se sobrepasa la temperatura de ebullición se ven afectadas irreversiblemente algunas características físicas y químicas de los productos; por ejemplo, si en la leche se sobrepasa el punto de ebullición, las micelas de la caseína se coagulan irreversiblemente generando lo que se conoce comúnmente como cuajo. En cuanto a los procesos térmicos a bajas temperaturas, estos aportan con la detención de

la transformación que generan las enzimas en la leche. Hoy, el proceso de pasteurización realizado a los productos es un proceso industrial continuo, que trabaja a grandes volúmenes y busca dar seguridad en el consumo de los alimentos y paralelamente bajos consumos de energía y costos de producción que optimicen la cadena completa.

La base de los tratamientos térmicos revisados es similar, si bien cambian los parámetros de temperatura y tiempo de residencia, el proceso en su generalidad mantiene la misma base. El detalle de los procesos estudiados se analiza en la ilustración 14, donde se encuentran las condiciones de temperatura y tiempo para cada proceso, además de los tipos de pasteurización no térmica analizados.

Si bien la base de los procesos térmicos estudiados es la utilizada desde el descubrimiento de la pasteurización por Louis Pasteur en la década entre 1860 y 1870, estos procesos presentan algunos efectos desfavorables en la leche, principalmente enfocado a temas sensoriales, cambio de color, pérdida de nutrientes y vitaminas.

A pesar de que las características sensoriales de la leche varían entre animales de diferentes razas y edades, tipo de alimentación ya sea libre pastoreo o suplementada con granos u otros fortificantes, además del periodo del año en el que se realice el ordeño, razón por la que se realiza el proceso de estandarización de esta previo a la pasteurización, se ha demostrado que la aplicación de calor en la leche genera degradación y pérdida de componentes importantes como las vitaminas, además de provocar desnaturalización, pérdida de proteínas, formación de aromas (principalmente aromas a cocido en el producto), diferencia de color, pérdida de enzimas, polisacáridos y ac. nucléicos. Durante el tratamiento térmico, el perfil volátil de la leche cambia; cuanto mayor es la intensidad del tratamiento térmico, mayores son los cambios y mayor es el impacto sensorial potencial (Engel et al., 2007).

Algunos organismos y bacterias de los alimentos se vuelven resistentes a la pasteurización, como el *Bacillus cereus* pudiendo llegar a prosperar cultivos de este bacilo incluso a bajas temperaturas o el *Bacillus stearothermophilus*, entre otros. Sin

embargo, la resistencia a la eliminación térmica depende de algunos aspectos como lo son el pH, actividad acuosa de los productos o simplemente la composición química de los alimentos, además de la facilidad o probabilidad de volver a ser contaminados, que se denomina en inglés postprocessing contamination (PPC). A pesar de aplicar un proceso de pasteurización adecuado, la leche tratada sigue conteniendo actividad microbiana, pero su carga o nivel microbiológico debe ser el aceptable para que no genere daño o afecciones a la salud post consumo.

Las revistas que concentran las 43 publicaciones finales de análisis se presentan en la figura 16, en donde la revista con la mayor densidad de publicaciones coincide con la revista con mayor volumen de publicaciones de los 6817 registros iniciales, la Journal of dairy science.

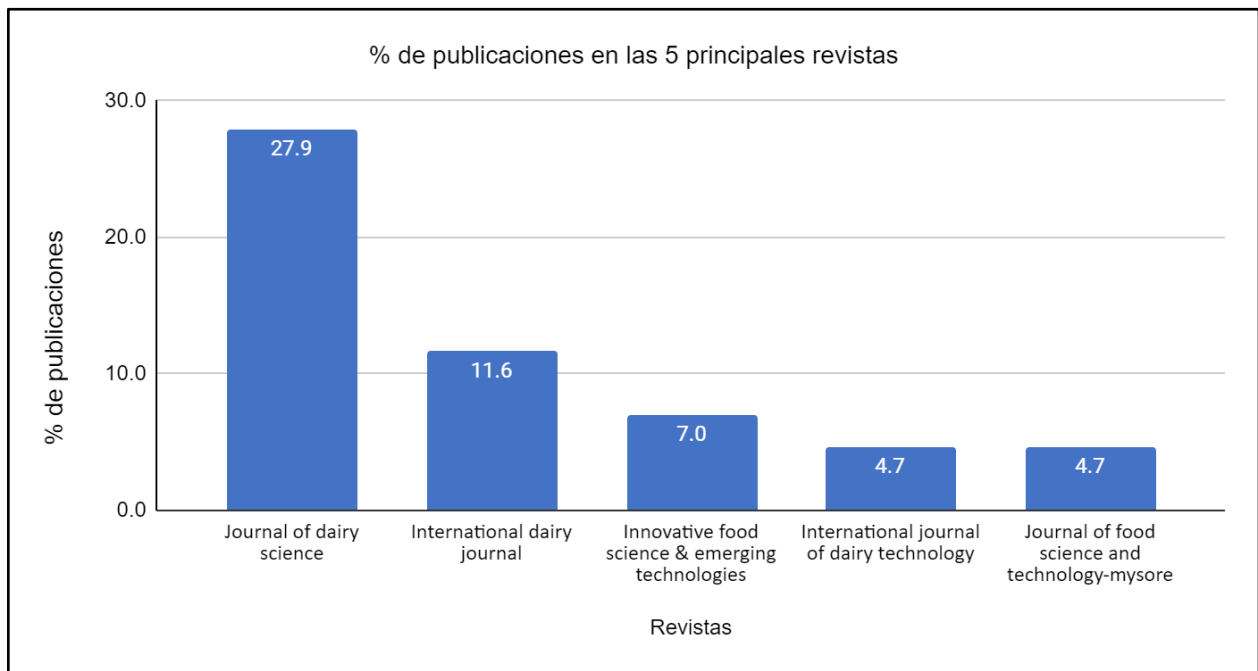


Figura 16. % de publicaciones considerando las 5 principales revistas de las 43 publicaciones finales de análisis.

Por otra parte, se encuentran los tratamientos de pasteurización no térmicos, que

han sido foco de estudio estos últimos años con el fin de reducir los efectos adversos que genera la aplicación de temperatura en la leche. En los 43 artículos finales de estudio estos concentran un 34,7% de los análisis, que corresponde a 12 procesos no térmicos, teniendo una mayor participación los procesos de radiación UV, ultrasonido y termosonicación, los cuales tienen respectivamente los siguientes principios: radiación o emisión de energía que se propaga a través del espacio y de los materiales, cavitación acústica que es la formación, crecimiento e implosión de diminutas burbujas cuando las ondas de ultrasonidos pasan a través de este y por último una combinación de calentamiento moderado con el uso del ultrasonido.

Estudios con paneles sensoriales entrenados y consumidores, demuestran que a pesar de que hay segmentos de consumidores que consideran inaceptables los cambios provocados en la leche y sus derivados post proceso térmico, hay otros que consideran esas mismas características como deseables y priorizan la seguridad que entrega en consumir un alimento inocuo, más allá de los posibles cambios sensoriales en el producto.

Todos los tratamientos no térmicos revisados en las publicaciones finales de análisis se aplicaron como procesos complementarios a algún tratamiento térmico, muchas veces para extender vida útil, suplir falencias de procesos realizados de manera incompleta o fallidos, defectos en los equipos o formación de biopelículas bacterianas que generan contaminaciones post procesamiento.

Si bien los tratamientos no térmicos están en permanente desarrollo y validación, hoy no existe factibilidad de uso exclusivo de estos sin ser acompañados de algún proceso de pasteurización térmica de manera complementaria.

El último brote de listeriosis públicamente conocido en Chile fue en el año 2008, en donde hubo 165 notificados y 14 fallecidos, este se asoció al consumo de queso brie y camembert de la empresa Chevrita, en donde el SEREMI ordenó el retiro del mercado de todos los quesos brie y camembert de dicha empresa, además de los productos de

marcas Las Pircas y Lescure (Boor et al., 2017). Es por esto que es relevante y necesario un buen control de proceso, tratamientos de pasteurización adecuados a cada producto, manejo correcto y seguimiento de toda la cadena cuando hablamos de alimentos lácteos y sus derivados y si bien hay nuevas tecnologías emergentes en relación al proceso de pasteurización, la prioridad siempre será entregar alimentos bajo un proceso validado en cuanto a efectividad y que se encuentre en línea con las normativas vigentes de cada país las cuales aseguran procesos certificados que den cumplimiento a los requisitos microbiológicos mínimos permitidos en los alimentos.

5. Conclusiones

La leche y sus derivados son alimentos que han sido parte vital de la ingesta diaria por su valor nutricional, contenido de vitaminas y aporte diario de proteínas y minerales. Si bien es un producto de consumo masivo, presenta condiciones microbiológicas propias del alimento que se ven potenciadas por el mismo proceso y equipamientos actuales, que impiden que este pueda ser consumido no sin antes aplicar tratamientos que aseguren su inocuidad y seguridad alimentaria. Es en este sentido, en donde el desarrollo y avance de tecnologías y procesos que permitan asegurar productos inocuos ha crecido exponencialmente, inicialmente la población utilizaba procesos y operaciones totalmente manuales, en donde el trabajo y buenas prácticas de manejo de cada granja era vital y la única medida para asegurar la calidad de la leche, llegando a desarrollar con el avance del tiempo y nuevos descubrimientos sistemas totalmente automatizados, con diferentes puntos de control, estándares de producción, combinaciones de parámetros y tecnologías que permiten que hoy los consumidores puedan tener acceso a productos seguros, con una amplia variedad de sabores y tipos, en base a los cambios en las necesidades y preferencias de la población.

Es por esto que se realiza una revisión sistemática del término pasteurización y descriptores similares entre los años 1975 y 2021 que arroja un total de 6817 publicaciones, de los cuales se desprende el mayor país y revista que publica referente al tema siendo EEUU y la Journal of dairy science, respectivamente. Con esta información y bajo el modelo prisma, se obtienen 43 artículos finales que serán revisados en detalle para el análisis final.

Estos último arrojan que si bien la base de la pasteurización térmica mantiene los principios del proceso descubierto por Pasteur, existe un desarrollo permanente de nuevas tecnologías no térmicas o poco agresivas que buscan ofrecer productos seguros, pero que no alteren las propiedades y beneficios nutricionales esperados en la leche, además de entregar productos a un bajo costo y consumo de recursos.

A pesar de que los métodos no térmicos están en estudio y desarrollo de nuevas técnicas y conjugación de parámetros apropiados a cada alimento, hoy no hay ninguno de estos que se aplique de manera exclusiva a la leche, en gran parte de los estudios analizados se utilizan de manera complementaria a alguno de los tratamientos térmicos convencionales, ya sea para extender la vida útil, eliminar contaminaciones post proceso por mal manejo, procesos aplicados de manera incompleta o bien presencia de biopelículas que puedan formarse en los equipamientos, arrojando un análisis final de 42,9% de publicaciones sobre procesos de pasteurización térmicos y un 34,7% de procesos de pasteurización no térmicos.

Si bien en la actualidad estas nuevas tecnologías están lejos de ser comercialmente viables, están en pronto desarrollo y validaciones necesarias dado los beneficios en el producto, principalmente enfocado en la ausencia de defectos sensoriales y optimización de costos relacionado con recursos energéticos, hoy continúan siendo los procesos de pasteurización térmica los aplicados esencialmente a la leche y sus derivados, muchas veces complementados con procesos no térmicos para asegurar alimentos inocuos para la población.

El desarrollo de tecnologías no térmicas está en latente desarrollo, lo cual generaría optimización de procesos y recursos, aportando a la calidad del alimento final, generando tratamientos más sustentables y contribuyendo a la conservación de recursos y medio ambiente, por lo que se espera que en los próximos años las industrias puedan contar con este tipo de procesos en sus líneas productivas, no sin considerar análisis sensoriales con consumidores y paneles entrenados, como parte esencial en el proceso de validación de las nuevas tendencias.

6. Referencias

- Alberts B. "et al" 1996. Biología molecular de la célula. 3ª ed.
- Alles A., Wiedmann M. y Martin N. 2018. Rapid detection and characterization of post pasteurization contaminants in pasteurized fluid milk.
- Amaral G., Keven E., Cavalcanti R., Cappato L., Guimaraes J., Alvarenga V., Esmerino E., Portela J., Sant' Ana A., Freitas M., Silva M., Raices R., Meireles A. y Cruz A. 2017. Dairy processing using supercritical carbon dioxide technology: Theoretical fundamentals, quality and safety aspects.
- Amitabh A., Jainand S. y Kumar V. 2019. Optimization of process variables of continuous type ohmic heating for milk pasteurization.
- Andrus A., Campbell B., Boor K., Wiedmann M. y Martin N. 2015. Short communication: Post pasteurization hold temperatures of 4 or 6°C, but not raw milk holding of 24 or 72 hours, affect bacterial outgrowth in pasteurized fluid milk.
- Bahamondes F. 2011. Chile y el mercado mundial de productos lácteos: mirando hacia el año 2020. Servicio agrícola y ganadero, boletín veterinario oficial, N°14, II semestre, Gobierno de Chile.
- Barbano D., 2017. A 100-Year Review: The production of fluid (market) milk.
- Barukčić I., Lisak K., Herceg Z. y Božanić R. 2015. Influence of high intensity ultrasound on microbial reduction, physico-chemical characteristics and fermentation of sweet whey.
- Basaran A., Yilmaz T., Taner S. y Çivi C. 2021. Comparison of drinking milk production with conventional and novel inductive heating in pasteurization in terms of energetic, exergetic, economic and environmental aspects.
- Begazo C. y Dillman A. 2014. Tesis Tratamientos para la conservación de la leche – Cloruro de sodio y estandarización de sales – separación por sedimentación.
- Bermúdez-Aguirre D., Corradini M., Mawson R. y Barbosa-Canovás G. 2009. Modeling the inactivation of *Listeria innocua* in raw whole milk treated under thermo-sonication.

- Bermúdez- Aguirre D., Fernández S., Esquivel H., Dunne P. y Barbosa-Cánovas G., 2011. Milk Processed by Pulsed Electric Fields: Evaluation of Microbial Quality, Physicochemical Characteristics, and Selected Nutrients at Different Storage Conditions.
- Bogahawaththa D., Buckow R., Chandrapala J. y Vasiljevic T. 2018. Comparison between thermal pasteurization and high-pressure processing of bovine skim milk in relation to denaturation and immunogenicity of native milk proteins.
- Bogahawaththa, D., y Vasiljevic, T. (2020). Denaturation of selected bioactive whey proteins during pasteurization and their ability to modulate milk immunogenicity. *Journal of Dairy Research*.
- Bona C., Dewals B., Wiggers L., Coudijzer K., Vanderplasschen A. y Gillet L. 2005. Short Communication: Pasteurization of Milk Abolishes Bovine Herpesvirus 4 Infectivity.
- Boor K., Wiedmann M., Murphy S. y Alcaine S., 2017. A 100-Year Review: Microbiology and safety of milk handling.
- Buhlera S., Solarib F., Gasparinia A., Montanarib R., Sforzaa S. y Tedeschia T. 2019. UV irradiation as a comparable method to thermal treatment for producing high quality stabilized milk whey.
- Burgwald, L. 1939. The phosphatase test. A review of the literature on its application for detecting irregularities in the pasteurization of milk and dairy products.
- Carrizo S. 2006. Hacia un concepto de bibliometría.
- Chawla A., Lobacz A., Tarapata J. y Zulewska J. 2021. UV Light Application as a Mean for Disinfection Applied in the Dairy Industry.
- Chawla R., Ramdass G. y Kumar A. 2011. High hydrostatic pressure technology in dairy processing: a review.
- Chiodini, R. J.; Hermon-Taylor, J. (1993). The thermal resistance of *Mycobacterium paratuberculosis* in raw milk under conditions simulating pasteurization.

- Clare D., Bang W., Cartwright G., Drake M., Coronel P., y Simunovic J. 2005. Comparison of Sensory, Microbiological, and Biochemical Parameters of Microwave Versus Indirect UHT Fluid Skim Milk During Storage.
- Coagra 2017. Industria lechera nacional: Análisis sectorial: Problemáticas y desafíos.
- Comité Asesor Nacional sobre Criterios Microbiológicos para Alimentos (NACMCF). 2006. Parámetros científicos necesarios para establecer la equivalencia de métodos alternativos de pasteurización. J. Alimentos Prot.
- Coolbear T., Janin N., Traill R. y Shingleton R., 2022. Heat-induced changes in the sensory properties of milk.
- Crattelet J., Ghnimi S., Debreyne P., Zaid I., Boukabache A., Esteve D., Auret L. y Fillaudeau L. 2013. On-line local thermal pulse analysis sensor to monitor fouling and cleaning: Application to dairy product pasteurisation with an ohmic cell jet heater.
- Cuggia C., Orozco E. y Mendoza D. 2020. Manufactura esbelta: una revisión sistemática en la industria de alimentos.
- Curti E., Pardu A., Melis R., Addis M., Pes M., Pirisi A. y Anedda R. 2020. Molecular mobility changes after high-temperature, short-time pasteurization: An extended time-domain nuclear magnetic resonance screening of ewe milk.
- Dairy and dairy products OECD-FAO 2021. Organisation for Economic Cooperation and Development-Food and Agriculture Organisation.
- Dairy Processing and Quality Assurance, 2016, second edition.
- Donalisio M., Ritta M., Francese R., Civra A., Tonetto P., Coscia A., Giribaldi M., Cavallarin L., Moro G., Bertino E. y Lembo D., 2018. High Temperature—Short Time Pasteurization Has a Lower Impact on the Antiviral Properties of Human Milk Than Holder Pasteurization.
- Doran P., Carson J., Costello E. y More S. 2009. An outbreak of tuberculosis affecting cattle and people on an Irish dairy farm, following the consumption of raw milk.

- Edrington T., Garcia A., Hagevoort R., Loneragan G., Bricta-Harhay D., Callaway T., Anderson R., y Nisbet D. 2018. Effect of waste milk pasteurization on fecal shedding of Salmonella in preweaned calves.
- Eisner M. 2021. Direct and indirect heating of milk e A technological perspective beyond time-temperature profiles.
- Engel E., Ferlay A., Cornu A., Chilliard Y., Agabriel C. y Bielicki G., 2007. Relevance of isotopic and molecular biomarkers for the authentication of milk according to production zone and type of feeding of the cow.
- Fernandez M. 2015. La importancia de las referencias bibliográficas y las citas en la elaboración de documentos y trabajos científicos y/o académicos.
- Finfgeld-Connett, D. 2010 Generalizability and transferability of meta-synthesis research findings, Journal of Advanced Nursing,
- Food & Drugs 2020 (FDA). Los peligros de la leche cruda.
- Garcés J. y Duque E. 2007. Metodología para el análisis y la revisión crítica de artículos de investigación.
- Ghanavi Z., Mollayi S., Eslami Z. 2013. Comparison Between the Amount of Penicillin G Residue in Raw and Pasteurized Milk in Iran.
- Giriprasad R., Sharma B., Kandeepan G., Mishra B. Y Yasothai R., 2015. Shelf life evaluation of functional restructured buffalo meat steaks fortified with Mousambi peel powder and Amla powder at refrigerated storage (4 +/- 1 degrees C).
- Goff H. y Griffiths M. 2006. Major Advances in Fresh Milk and Milk Products: Fluid Milk Products and Frozen Desserts.
- Gosta Bylund M., 2002, Manual de industrias lácteas.
- Grant I., Rowe M., Dundee L., y Hitchings E. 2001. Mycobacterium avium ssp. paratuberculosis: its incidence, heat resistance and detection in milk and dairy products.
- Holsinger V. Rajkowski K. y Stabel U., 1997. Milk pasteurisation and safety: a brief history and update.

- Huck J., Sonnen M. y Boor J. 2008. Tracking Heat-Resistant, Cold-Thriving Fluid Milk Spoilage Bacteria from Farm to Packaged Product.
- Jenkins J. 2008. Politics, Pasteurization, and the Naturalizing Myth of Pure Milk in 1920s Saint John, New Brunswick.
- Kethireddipalli P. y Hill A. 2015. Rennet Coagulation and Cheesemaking Properties of Thermally Processed Milk: Overview and Recent Developments.
- Kumari M., Vijay R., Jadhav V. y Badgujar P. 2021. Development of a HPLC Fluorescence Method for Determining Efficacy of Milk Pasteurization.
- Lespinard A., Arballo J., Badin E. y Mascheroni R. 2019. Comparative study between conventional and microwave-assisted pasteurization of packaged milk by finite element modeling.
- Letelier L., Manríquez J. y Rada G. 2005. Systematic reviews and metaanalysis: are the best evidence?
- Li F., Hunt K., Buggy A., Murphy K., Tri Ho Q., O'Callaghan T., Butler F., Jordan K. y Tobin J. . 2020. The effects of sequential heat treatment on microbial reduction and spore inactivation during milk processing.
- Lindsay D., Robertson R., Fraser R., Engstrom S. y Jordan K. 2021. Heat induced inactivation of microorganisms in milk and dairy products.
- Liu S., Wei X., Tang J., Qin W. y Wu Q. 2021. Recent developments in low-moisture foods: microbial validation studies of thermal pasteurization processes.
- Ludvigsen M., Hall E., Meyer G., Fegrand L., Aagaard H., and Uhrenfeldt L. 2015 Using Sandelowski and Barroso's Metasynthesis Method in Advancing Qualitative Evidence.
- Lutz M., Arancibia M. y Stojanovaa J. 2019. La revisión sistemática como herramienta para la validación científica de propiedades saludables de los alimentos y factores alimentarios.
- McAuley C., Britz M., Gobius K. y Craven H. 2015. Prevalence, seasonality, and growth of enterococci in raw and pasteurized milk in Victoria, Australia.

- McDonald W., O'Riley K., Schroen C., y Condrón R. 2004. Heat Inactivation of *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* in Milk.
- Mohammadi V., Ghasemi-Varnamkhasti M., Ebrahimi R. y Abbasvali M. 2014. Ultrasonic techniques for the milk production industry.
- Monckeberg, F. 2018. Efecto del tratamiento térmico y su calidad nutricional. Universidad de Chile, INTA.
- Munir M., Nadeem M., Mahmood T., Leong T., Gamlath C., Martin G. y Ashokkumar M. 2019. Effects of high pressure, microwave and ultrasound processing on proteins and enzyme activity in dairy systems.
- Murphy S., Reichler S., Martin N., Boor K. y Wiedmann M. 2021. Machine Learning and Advanced Statistical Modeling Can Identify Key Quality Management Practices That Affect Post pasteurization Contamination of Fluid Milk.
- Myer P., Parker K., Kanach A., Zhu T., Morgan M. y Applegate B. 2009. The effect of a novel low temperature-short time (LTST) process to extend the shelf-life of fluid milk.
- Nielsen L., Medina L. y Traversa M. 2016. La pasteurización como medida de control de las enfermedades causadas por micobacterias en los sistemas de crianza de producción lechera.
- ODEPA. Ministerio de agricultura oficina de estudios y políticas agrarias 2022. Situación internacional y nacional del sector lácteo bovino, Gobierno de Chile.
- O'sullivan L., Bolton D., Mcauliffe O. y Coffey A. 2019. The use of bacteriophages to control and detect pathogens in the dairy industry.
- Oliver S., Jayarao B. y Almeida R. 2005. Foodborne Pathogens in Milk and the Dairy Farm Environment: Food Safety and Public Health Implications.
- Peralta G. 2022. Situación internacional y nacional del sector lácteo bovino. Oficina de estudios y políticas agrarias, Ministerio de agricultura, Gobierno de Chile.
- Pereira P. 2014. Milk nutritional composition and its role in human health.

- Porcellato D., Aspholm M., Borghild S., Monshaugen M., Brendehaug J. y Mellegård H. 2018. Microbial diversity of consumption milk during processing and storage.
- Puente L. 2021. Un análisis bibliométrico del concepto “Novel Foods” en publicaciones de investigación entre 1997 y 2020.
- Radmehr B., Zaferanloo B., Tran T., Beale D. y Palombo E. 2020. Prevalence and Characteristics of *Bacillus cereus* Group Isolated from Raw and Pasteurised Milk.
- Ragab E., Lu J., Pang X., Nassar K., Yang B. y Zhang S. 2019. Effect of thermosonication process on physicochemical properties and microbial load of goat's milk.
- Rajkovic A., Smigic N., Uyttendaele M., Medic H., Zutter L. y de Devlieghere F., 2009. Resistance of *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157:H7 and *Campylobacter jejuni* after exposure to repetitive cycles of mild bactericidal treatments.
- Rankin S., Bradley R., Miller G. y Mildenhall K. 2017. A 100-Year Review: A century of dairy processing advancements- Pasteurization, cleaning and sanitation, and sanitary equipment design.
- Reglamento Sanitario de los Alimentos RSA (2022), Ministerio de Salud, República de Chile
- Ribeiro J., Tamanini R., Alfieri A. y Beloti V. 2020. Effect of milk bactofugation on the counts and diversity of thermotolerant bacteria.
- Riverol C., Ricart G., Carosi C. y Di Santis C. 2008. Application of advanced soft control strategies into the dairy industry.
- Robichaud V., Aguilar B., Millette M., Allahdad Z. y Lacroix M. 2021. Impact of g-irradiation or heat pasteurisation treatment on nutritional and immunological properties of human milk.
- Rojo-Martínez G. 2019. La importancia de los lácteos en la dieta: más allá del hueso.

- Rossitto P., Cullor J., Crook J., Parko J., Sechi P. y Cenci-goga B. 2012. Effects of UV Irradiation in a Continuous Turbulent Flow UV Reactor on Microbiological and Sensory Characteristics of Cow's Milk.
- Saldaña G., Álvarez I., Condón S. y Raso J. 2011 Microbiological Aspects Related to the Feasibility of PEF Technology for Food Pasteurization
- Sandelowski, M. y Barroso, J. 2000. Toward a metasynthesis of qualitative findings on motherhood in HIV-positive women.
- Sargeant J., Rajic A., Read B. y Ohlsson A. 2006. The process of systematic review and its application in agri-food public-health.
- Schiano A. y Drake M. 2021. Consumer understanding of fluid milk and cheese processing and composition.
- Schutyser M., Straatsma J., Keijzer P., Verschueren M. y De Jong P. 2008. A new web-based modelling tool (Websim-MILQ) aimed at optimisation of thermal treatments in the dairy industry.
- Singh G., Singh P., Tyagi V. y Pandey A. 2019. Thermal and exergoeconomic analysis of a dairy food processing plant.
- Spilimbergo S. 2011. Milk pasteurization at low temperature under N₂O pressure.
- Steele H. 2000. History, trends, and extent of pasteurization.
- Tahera E., Hemmatzadeha F., Alyb S., Eleswyb H. y Petrovskia K. 2020. Survival of staphylococci and transmissibility of their antimicrobial resistance genes in milk after heat treatments.
- Thiebauda M., Dumaya E., Picarta L., Guiraudb J. y Cheftel J. 2003. High-pressure homogenisation of rawbovine milk. Effects on fat globule size distribution and microbial inactivation.
- Tirado D., Yacub B., Cajal J., Murillo L., Leal R., Franco M., Escobar B., Acevedo T. 2017. Milk pasteurizer for the elaboration of sour cream.
- Urrutia G. y Bonfill X. 2010. Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis.

- Van Lieverloo H., De Roode M., Fox M., Zwietering M. y Wells-Bennik M. 2013. Multiple regression model for thermal inactivation of *Listeria monocytogenes* in liquid food products.
- Vasilaki V., Katsou E., Ponsa S. y Colón J. 2016. Water and carbon footprint of selected dairy products: A case study in Catalonia.
- Vilanova J.C. 2011. Revisión bibliográfica del tema de estudio de un proyecto de investigación.
- Vinicius M., Ferreira S., Cappatoa L., Silva R., Rocha R., Neto R., Tavares M., Esmerino E., Freitas M., Bissagio R., Ranadheera S., Raices R., Silva M. y Cruz A. 2019. Processing raspberry-flavored whey drink using ohmic heating: Physical, thermal and microstructural considerations.
- Vivanco D., Ardiles P., Castillo D. y Puente L., 2021. Tecnología emergente: Campo de pulsos eléctricos (PEF) para el tratamiento de alimentos y su efecto en el contenido de antioxidantes.
- Vormsborg M., Bjerregaard T., Nagstrup J., Skibsted L. y Ahrné L. 2020. Physical properties and storage stability of reverse osmosis skim milk concentrates: Effects of skim milk pasteurisation, solid content and thermal treatment.
- Wada Y. y Lö nnerdal B. 2014. Effects of Different Industrial Heating Processes of Milk on Site-Specific Protein Modifications and Their Relationship to in Vitro and in Vivo Digestibility.
- Wei X., Agarwal S. y Subbiah J. 2021. Heating of milk powders at low water activity to 95°C for 15 minutes using hot air-assisted radio frequency processing achieved pasteurization.
- Werner B. 2006. Procesamiento de CO2 no térmico de flujo continuo: los efectos letales del CO2 subcrítico y supercrítico en las poblaciones microbianas totales y las esporas bacterianas en la leche cruda.
- Xing Q., Ma Y., Fu X., Cao Q., Zhang Y. y * and You C. 2020. Effects of heat treatment, homogenization pressure, and overprocessing on the content of furfural compounds in liquid milk.

- Zamora A., Ferragut V., Guamis B. y Trujillo A. 2012. Changes in the surface protein of the fat globules during ultra-high pressure homogenisation and conventional treatments of milk.

7. Anexos

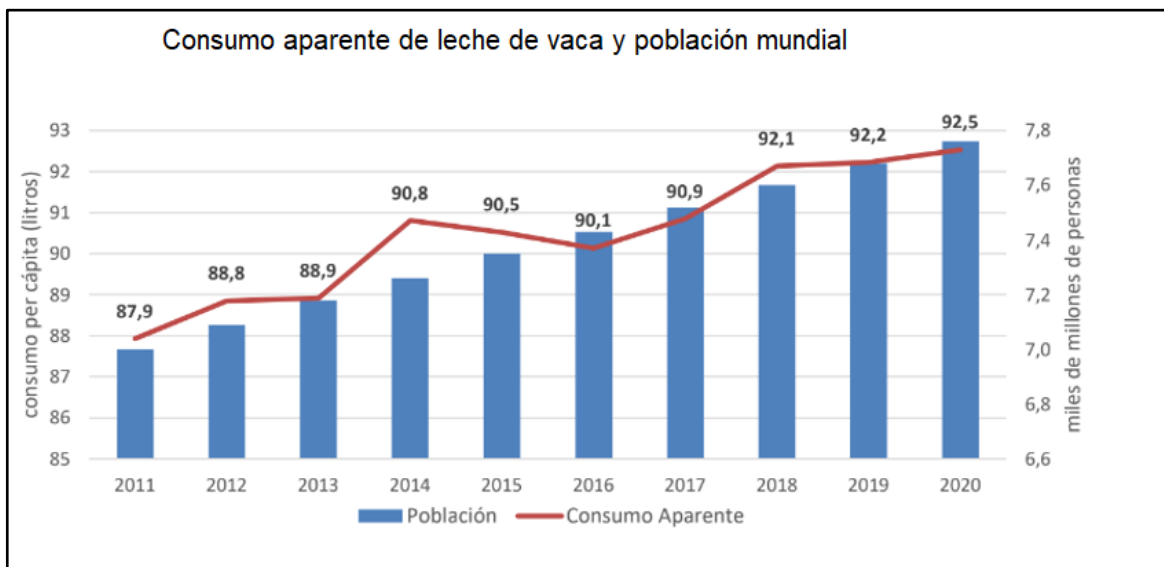


Figura 6. Consumo aparente de leche de vaca por población mundial, Situación internacional y nacional del sector lácteo bovino, Odepa 2022.

Tabla 1. Detalle de publicaciones por país para las 6817 publicaciones iniciales.

Países	Cantidad de publicaciones
EEUU (24,1%)	1644
España (8,7%)	595
China (6,1%)	413
Italia (5,8%)	392
Brasil (5,3%)	361
Alemania (5,1%)	350
Canadá (4,9%)	334
Francia (4,2%)	287
Inglaterra (3,8%)	260
Turquía (3,2%)	221
India (3,0%)	202
Otros países (25,8)	1758

Tabla 2. Detalle de publicaciones por año de publicación y tasa de crecimiento de las 6817 publicaciones iniciales.

Años de publicación	Cantidad de publicaciones	Tasa de crecimiento
1975	8	
1976	8	0.0%
1977	11	27.3%
1978	14	21.4%
1979	14	0.0%
1980	14	0.0%
1981	18	22.2%
1982	21	14.3%
1983	16	-31.3%
1984	23	30.4%
1985	16	-43.8%
1986	13	-23.1%
1987	20	35.0%
1988	16	-25.0%
1989	13	-23.1%
1990	24	45.8%
1991	60	60.0%
1992	60	0.0%
1993	78	23.1%
1994	72	-8.3%
1995	86	16.3%
1996	115	25.2%
1997	123	6.5%
1998	129	4.7%
1999	117	-10.3%
2000	134	12.7%
2001	125	-7.2%
2002	135	7.4%
2003	180	25.0%
2004	179	-0.6%
2005	186	3.8%
2006	188	1.1%
2007	223	15.7%
2008	244	8.6%
2009	242	-0.8%

2010	248	2.4%
2011	259	4.2%
2012	262	1.1%
2013	272	3.7%
2014	281	3.2%
2015	345	18.6%
2016	304	-13.5%
2017	397	23.4%
2018	447	11.2%
2019	486	8.0%
2020	524	7.3%
2021	67	-682.1%

Tabla 3. Detalle de publicaciones por tema o tratamiento entre los 43 artículos finales de análisis.

Tema del artículo	N° de publicaciones
Historia de la pasteurización y actualizaciones	11
HTST	12
LTLT	2
UHT	4
UP	2
Termización	1
HPLC	1
Alta presión hidrostática	1
Alta presión, microondas y ultrasonido	1
Bacteriofagos	1
Bactofugación	1
Calentamiento inductivo convencional	1
Calentamiento Ohmico	1
Homogeneización a alta presión	1
Dióxido de carbono supercrítico	1
Radiofrecuencia	1
Ultrasonido	2
Termosonicación	2
Irradiación UV	3

Tabla 4. % de publicaciones de las 6 principales revistas con mayor cantidad de artículos entre los años 1975 y 2021, considerando los 6817 artículos iniciales.

Revista	Cantidad de publicaciones	% publicaciones
Journal of dairy science	252	3.70
Journal of food protection	250	3.67
Journal of food engineering	215	3.15
LWT-Food science and technology	177	2.60
Innovative food science & emerging technologies	225	3.30
Food chemistry	169	2.48
Total	1288	18.89

Tabla 5. % de publicaciones de las 5 principales revistas con mayor cantidad de artículos entre los años 1975 y 2021, considerando los 43 artículos finales.

Revista	Cantidad de publicaciones	% de publicaciones
Journal of dairy science	12	27.9
International dairy journal	5	11.6
Innovative food science & emerging technologies	3	7.0
International journal of dairy technology	2	4.7
Journal of food science and technology-mysore	2	4.7
Total		55.8