

CAPÍTULO 3

Aplicación de Tecnologías No Térmicas en el Procesamiento de Leche y Derivados

Humberto Hernández-Sánchez

Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, México.

hhernan1955@yahoo.com

Doi: <http://dx.doi.org/10.3926/oms.269>

Referenciar este capítulo

Hernández-Sánchez, H. (2015). *Aplicación de tecnologías no térmicas en el procesamiento de leche y derivados*. En Ramírez-Ortiz, M.E. (Ed.). *Tendencias de innovación en la ingeniería de alimentos*. Barcelona, España: OmniaScience. 73-89.

Resumen

La industria láctea es una de las más innovadoras dentro del área de los alimentos, sin embargo se ha tenido que ajustar a las exigencias de los consumidores que piden productos seguros, nutritivos, ecoamigables, saludables, apetitosos y económicos. Esto representa un verdadero reto en una industria que se desenvuelve en un ambiente muy competitivo. Dentro de los procesos más tradicionales de esta industria está la pasteurización y la esterilización, que son procesos térmicos que garantizan la inocuidad microbiológica y la calidad de una gran variedad de productos. Sin embargo, en la actualidad, se vislumbra un futuro muy prometedor para las llamadas tecnologías no térmicas, las cuales pueden también mejorar los parámetros antes mencionados pero además tienen en general una mayor eficiencia, ventajas desde el punto de vista sensorial en el producto final, mejor retención de compuestos bioactivos, regulación de la actividad enzimática y facilidad para el desarrollo de nuevos productos. Dentro de las tecnologías no térmicas que se han aplicado exitosamente, a varios niveles, en el campo de la leche y derivados se tienen: altas presiones hidrostáticas, tratamiento con ultrasonido, campos eléctricos pulsados y plasma frío, aunque también se están explorando otros métodos como la luz ultravioleta, los campos magnéticos oscilantes y las microondas como pretratamientos o en combinación con los métodos no térmicos principales. En este capítulo se hará una revisión de estas aplicaciones en la industria láctea.

Palabras clave

Leche, métodos no térmicos, altas presiones hidrostáticas, ultrasonido, campos eléctricos pulsados y plasma frío.

1. Introducción

La industria láctea es una de las más innovadoras dentro del área de los alimentos, sin embargo se ha tenido que ajustar a las exigencias de los consumidores que piden productos seguros, nutritivos, ecoamigables, saludables, apetitosos y económicos. Esto representa un verdadero reto en una industria que se desenvuelve en un ambiente muy competitivo. Dentro de los procesos más tradicionales de esta industria está la pasteurización y la esterilización, que son procesos térmicos que garantizan la inocuidad microbiológica y la calidad de una gran variedad de productos. Mucha de la leche que se va a transformar en derivados lácteos lleva una serie de tratamientos leves conocidos con el nombre genérico de termización y que incluye el calentamiento de la leche a temperaturas entre 57 y 68°C por alrededor de 15 s. Estos procesos incrementan la vida útil de la leche que se va a procesar siempre y cuando ésta se mantenga en refrigeración.

La pasteurización es un tratamiento térmico cuyo propósito principal es la eliminación de cualquier microorganismo patógeno presente en la leche y productos lácteos líquidos. Este proceso también extiende la vida útil de la leche con cambios mínimos en sus propiedades físicas, químicas y sensoriales. Las combinaciones tiempo-temperatura en la pasteurización están diseñadas para destruir a *Mycobacterium tuberculosis* y *Coxiella burnetti*. Las condiciones mínimas de pasteurización consisten en calentar cada partícula de la leche a 63°C por 30 minutos en el proceso por lote o 72°C por 15 segundos en el proceso de flujo continuo o de alta temperatura corto tiempo (HTST por sus siglas en inglés). Los productos pasteurizados deben conservarse en refrigeración.

Los procesos de esterilización pueden ser también por lote o continuos. La esterilización tradicional de la leche, basada en la destrucción de esporas de *Clostridium botulinum* en alimentos de baja acidez, incluye condiciones de proceso de 110 a 116°C por 20 a 30 minutos en latas o envases de vidrio. Los procesos continuos incluyen a la pasteurización para vida de anaquel extendida (ESL por sus siglas en inglés) y al tratamiento a ultra alta temperatura (UHT por sus siglas en inglés). El proceso para ESL se lleva a

cabo generalmente por infusión de vapor a alcanzar 120-135°C durante 1 a 4 seg. El producto debe almacenarse en condiciones de refrigeración con una vida de anaquel de 1 a 2 meses. Los procesos UHT deben alcanzar temperaturas entre 135 y 145°C de 2 a 10 segundos. El producto envasado asépticamente tiene una vida de anaquel mayor a 6 meses a temperatura ambiente.

Los procesos térmicos tienen la ventaja de generar productos microbiológicamente seguros, sin embargo también se llevan a cabo cambios en las características sensoriales (reacciones de Maillard, caramelización, sabor a cocido, etc.) y pérdida de nutrimentos (lisina disponible, vitaminas B₁ y B₁₂, etc.) entre otros (Lewis & Deeth, 2009).

En la actualidad, se vislumbra un futuro muy prometedor para las llamadas tecnologías no térmicas, las cuales pueden también mejorar los parámetros antes mencionados pero además tienen en general una mayor eficiencia, ventajas desde el punto de vista sensorial en el producto final, mejor retención de compuestos bioactivos, regulación de la actividad enzimática y facilidad para el desarrollo de nuevos productos (Stoica, Mihalcea, Borda & Alexe, 2013). También se han aplicado algunas de estas tecnologías para la reducción de alergenidad en leche y derivados (Tammineedi & Choudhary, 2014). Dentro de las tecnologías no térmicas que se han aplicado exitosamente, a varios niveles, en el campo de la leche y derivados se tienen: altas presiones hidrostáticas, tratamiento con ultrasonido, campos eléctricos pulsados y plasma frío, aunque también se están explorando otros métodos como la luz ultravioleta, los campos magnéticos oscilantes y las microondas como pretratamientos o en combinación con los métodos no térmicos principales. También hay varios estudios para el control de microorganismos en alimentos por combinación de tecnologías no térmicas (Ross, Griffiths, Mittal & Deeth, 2003). En este capítulo se hará una revisión de estas aplicaciones en la industria láctea.

2. Altas Presiones Hidrostáticas

La tecnología de altas presiones hidrostáticas (HHP por sus siglas en inglés) es un método de procesamiento de alimentos no térmico en el que el producto se somete a muy altas presiones en un intervalo entre 100 y 1200 MPa. Este proceso reduce notablemente la cantidad de microorganismos tanto patógenos como deteriorativos mientras que el alimento mantiene las características del producto fresco (Naik, Sharma, Rajput & Manju, 2013). Los principios involucrados en esta tecnología son el principio de Le Châtelier y el principio isostático (Chawla, Patil & Singh, 2011). El primero de ellos indica que cuando se presenta una perturbación externa sobre un sistema en equilibrio, éste reaccionará de tal manera de contrarrestar parcialmente dicha perturbación para que el sistema alcance nuevas condiciones de equilibrio. En este caso, la aplicación de altas presiones conducirá a una reducción en volumen que resultará en la muerte de microorganismos o inactivación de enzimas. El principio isostático indica que la transmisión de la presión es un fenómeno uniforme, instantáneo e independiente del tamaño y la geometría del alimento. La tecnología operativa incluye el empaque del alimento en un envase estéril, su introducción en la cámara de proceso, el llenado de la cámara con agua, la presurización de la cámara, el mantenimiento de la presión por un cierto tiempo, la despresurización de la cámara y la obtención del producto procesado (Chawla et al., 2011).

En todos los procesos HHP existe un pequeño incremento en temperatura debido a la fricción interna. Este incremento se puede calcular por medio de la Ecuación 1:

$$\frac{dT}{dP} = \frac{\beta T}{\rho C_p} \quad (1)$$

Donde T es la temperatura y P es la presión, además β es la expansividad térmica, ρ es la densidad y C_p es la capacidad calorífica a presión constante del fluido comprimido. Estas propiedades termofísicas dependen de P y T y cuando se conocen se puede evaluar el perfil térmico durante la etapa de

compresión. Esta técnica se utiliza para alimentos húmedos tanto líquidos como sólidos (Naik et al., 2013).

En el caso de la leche, la homogeneización a alta presión (HPH por sus siglas en inglés) se utiliza para reducir la carga microbiana de la leche cruda como una alternativa a los procesos térmicos. La HPH se basa en los fundamentos de la homogeneización tradicional (18 MPa) pero usando presiones 10 a 15 veces más altas. Al pasar la leche a alta presión por un conducto estrecho se desarrollan velocidades muy altas (200 m/s a 340 MPa) que llevan a una caída extrema de presión cuando la leche sale de la válvula de homogeneización. Esto causa fricción a alta velocidad, cavitación, impacto, turbulencia y calentamiento leve (1.7 a 1.8°C) que lleva a la eliminación de microorganismos y desnaturalización de enzimas. Se han reportado valores de reducción decimal de 4.0 (300 MPa), 6.0 (200 MPa) y 7.95 (400 MPa) para *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas fluorescens* y *Listeria monocytogenes* respectivamente (Pedras, Pinho, Tribst, Franchi & Cristianini, 2012).

Las altas presiones tienen efectos específicos sobre los diferentes constituyentes de la leche. Se ha observado que el uso de tratamientos de 100 a 600 MPa induce la solubilización parcial de las caseínas α_{s1} y β probablemente como resultado de la solubilización de fosfato de calcio coloidal y la disrupción de las interacciones hidrofóbicas. Esto tiene como secuela cambios en la estructura de las micelas de caseína y en las características de la leche (Huppertz, Fox & Kelly, 2004). En cuanto a las proteínas del suero, se han observado diferentes grados de desnaturalización en la α -lactoalbúmina y la β -lactoglobulina, siendo esta última más barosensible. También se ha observado una disminución en el tiempo de coagulación por el cuajo y un incremento en el rendimiento quesero (Huppertz, Kelly & Fox, 2002). En el caso de la fase lipídica, se ha observado una disminución en el tamaño del glóbulo de grasa proporcional a la magnitud de la presión aplicada así como una inducción del proceso de cristalización de la grasa butírica (Hayes & Kelly, 2003a). En el caso de las actividades enzimáticas nativas de la leche, se ha observado una disminución de la actividad proteolítica de la plasmina proporcional a la presión aplicada, sin embargo, la leche homogeneizada a presiones hasta de

200 MPa conservan íntegra su actividad de fosfatasa alcalina, por lo que esta enzima no podría utilizarse como indicadora de un proceso adecuado (Hayes & Kelly, 2003b). Como puede observarse, la HPH además de producir un producto seguro desde el punto de vista microbiológico, también genera toda una serie de propiedades novedosas que pudieran aprovecharse para la obtención de derivados lácteos con un nuevo mercado.

3. Campos Eléctricos Pulsantes

Los campos eléctricos pulsantes (PEF por sus siglas en inglés) se han usado en la industria de alimentos para la conservación de alimentos líquidos y semilíquidos que no contienen burbujas de aire (Stoica et al., 2013). Los PEF eliminan a la microbiota natural sin afectar a las moléculas bioactivas de la leche como la lactoferrina, lactoperoxidasa e inmunoglobulinas o las propiedades sensoriales del producto. El procesamiento por PEF logra la inactivación microbiana o enzimática a temperatura ambiente o con una elevación mínima por la aplicación de pulsos de campos eléctricos de alta intensidad a alimentos líquidos que sean conductores de la electricidad (leche o jugos) que fluyen entre dos electrodos.

El sistema básico de PEF incluye una fuente de poder de alto voltaje, un generador de pulsos, una serie de capacitores eléctricos, una cámara de tratamiento (estática o continua) que alberga a los electrodos, una bomba para circular la alimentación a la cámara de tratamiento, baños de enfriamiento y calentamiento, dispositivos de medición de los parámetros de proceso (voltaje, corriente eléctrica, temperatura, etc.) y una CPU para el control del proceso (Shamsi & Sherkat, 2009). La intensidad de los campos eléctricos es variable y está entre 15 y 50 kV/cm.

El mecanismo de acción de los PEF para la inactivación de los microorganismos incluye una primera etapa en la que las células se vuelven inestables por los pulsos seguida de una segunda etapa en la que inicia un proceso de electroporación de la membrana celular que la hace más permeable produciendo una ruptura mecánica y una extravasación del contenido celular. El

grado de inactivación dependerá de la intensidad del campo eléctrico, el número y duración de los pulsos, las características del microorganismo (bacteria o levadura, spora o forma vegetativa, etc.), fase de crecimiento microbiana, temperatura, fuerza iónica del alimento, pH y presencia de compuestos antimicrobianos u otro tratamiento adicional (Qin, Barbosa-Canovas, Swanson, Pedrow & Olsen, 1998).

Cuando los PEF se usan en el tratamiento de la leche, se han observado cambios en el tamaño de las micelas de caseína y cuando esta leche se emplea en la elaboración de queso se ha detectado un menor tiempo de coagulación enzimática y una mayor firmeza en la cuajada (Gomes da Cruz, Fonseca, Isay, André, Souza & Cristianini, 2010). Dentro de las características de la leche que no se ven afectadas por los PEF están el color y la concentración de compuestos volátiles en el caso de tratamientos de hasta 40 kV/cm por 2805 μ s (Chug, Khanal, Walkling-Ribeiro, Correding, Duizer & Griffiths, 2014). En otro estudio, se pasteurizó leche utilizando PEF con un campo eléctrico de 55 kV/cm con pulsos de 0.8 s obteniéndose una eliminación total de las cepas de *Enterobacter*, *Escherichia coli* y *Staphylococcus* inicialmente presentes en la leche y con la simultánea inactivación de la fosfatasa alcalina (Al-Hilphy, 2012). Como se mencionó anteriormente, la inactivación microbiana depende de muchos parámetros y esto se demuestra en otro trabajo en el que se pasteurizó leche descremada a 45 kV/cm en pulsos de 500 ns y a 55 kV/cm y 250 ns con frecuencias de 40 a 120 Hz en el que sólo se obtuvo una reducción de 1.4 ciclos logarítmicos en la microbiota inicial (Floury, Grosset, Leconte, Pasco, Madec & Jeantet, 2006). También se han hecho algunos estudios del efecto de los PEF sobre una cepa prebiótica de *Lactobacillus acidophilus*. En este caso se variaron la duración de los pulsos (3-9 μ s), el tiempo total de exposición (10,000 a 30,000 μ s), el campo eléctrico (5 a 25 kV/cm) y velocidad de flujo del medio (10 a 110 ml/min). Se informó que la duración y número de pulsos tuvieron efecto en la reducción de la tolerancia del probiótico al ácido y a las sales biliares reduciendo así su potencial probiótico (Gomes da Cruz et al., 2010). Esto indica que los tratamientos PEF deben aplicarse sólo a la leche y no a los productos inoculados con bacterias lácticas iniciadoras o probióticas.

4. Ultrasonido

El procesamiento por ultrasonido en alimentos ha cobrado una gran importancia en los últimos años. Básicamente, el ultrasonido se refiere a ondas de presión con una frecuencia de 20 kHz o más y los equipos utilizan frecuencias que van de 20 kHz a 10 Mhz. También se tiene lo que se conoce como ultrasonido de potencia que se presenta a bajas frecuencias (20 a 100 kHz) que tiene la capacidad de provocar cavitación y que se utiliza para destruir microorganismos ya que se crean regiones con altas temperaturas (5500°C) y presiones (50,000 kPa) (Piyasena, Mohareb & McKellar, 2003). Este fenómeno se inicia cuando las ondas de sonido de baja frecuencia entran a un medio líquido y se propagan como una vibración compuesta de ciclos de compresión y expansión que al alcanzar condiciones óptimas (volumen, temperatura y composición del medio) producen un incremento de presión que genera miles de burbujas y cuando éstas alcanzan un tamaño crítico colapsan con violencia. Esto se conoce como cavitación. Esta cavitación puede provocar ruptura celular, destrucción de microestructuras y generación de radicales libres que resulta en la inactivación de enzimas y microorganismos (Bermúdez-Aguirre & Barbosa-Cánovas, 2011). Al igual que otros métodos no térmicos, el ultrasonido no favorece la pérdida de volátiles, actúa homogéneamente y es relativamente económico.

Chemat, Huma y Khan (2011) reportaron una gran cantidad de aplicaciones del ultrasonido en alimentos como es el caso de la reducción de tiempo en la cocción, congelación, cristalización, secado, fermentación, desgasificación, filtración, emulsificación, etc.).

En el caso de la leche, se han reportado como ventajas principales, con respecto a los métodos térmicos, la homogeneización de la grasa, la eliminación de aire y otros gases y un mejoramiento de la actividad antioxidante. La ultrasonicación (US) de la leche a temperatura ambiente (750 W, 20 kHz) ha logrado reducciones de 100 y 99% en poblaciones de *E. coli* y *Listeria monocytogenes* después de 10 minutos de tratamiento y de

100% en el caso de *Pseudomonas fluorescens* después de 6 minutos (Cameron, McMaster & Britz, 2009).

El ultrasonido puede emplearse en alimentos solo o en combinación con otros tratamientos para mejorar su tasa de inactivación. Así, se tiene la termosonicación (TS) que combina la US con un tratamiento térmico moderado, la manosonicación (MS) que combina la US con presiones moderadas entre 100 y 300 kPa y la manotermosonicación (MTS) que combina la US con temperatura y presión para maximizar la cavitación y destruir microorganismos termotolerantes (Chaudhari, Prajapati & Pinto, 2015).

La termosonicación se ha usado exitosamente en la inactivación de células de *Lactobacillus acidophilus* y *E. coli* K12 DH5 y esporas de *Bacillus stearothermophilus* (Knorr, Zenker, Heinz & Lee, 2004).

Otras aplicaciones en el área de leche y derivados incluye: aplicación de la US a la leche para mejorar la textura e incrementar el rendimiento en quesos; aplicación de US al sistema látasa-leche para aumentar el grado de hidrólisis en la producción de leche deslactosada; aplicación de US dentro de congeladores de superficie raspada para la fragmentación de cristales de hielo para obtener distribuciones de tamaño más homogéneo en la elaboración de helados; aplicación de US (450 W, 20 kHz) a la leche entera para obtener reducciones de tamaño de los glóbulos de grasa equivalentes a los de la homogeneización convencional (Chaudhari et al., 2015).

Como se puede observar, las aplicaciones del US son múltiples y es necesario estudiarlas más a fondo para poder utilizar esta tecnología en todo su potencial.

5. Tecnología de Luz Ultravioleta

La aplicación de pulsos de luz para la conservación de alimentos involucra el uso de pulsos de luz de amplio espectro, corta duración y gran intensidad para la inactivación microbiana. El espectro de longitud de onda empleado va desde el UV hasta el infrarrojo cercano (180 a 1100 nm) y durante el pulso el sistema lanza un espectro 20,000 veces más intenso que la luz solar sobre la

superficie de la Tierra (Elmnasser, Guillou, Leroi, Orange, Bakhrouf & Federighi, 2007). Uno de los factores decisivos para el efecto letal de los pulsos de luz es su contenido de luz UV, por lo que de aquí en adelante el enfoque será para la tecnología conocida como pulsos de luz UV.

De las tres regiones de luz UV en el espectro electromagnético, la que tiene más poder de inactivación de microorganismos es la C (200 a 280 nm) la cual tiene su máximo de poder germicida en el intervalo de 254 a 264 nm. Se considera que el mecanismo de inactivación se basa en la penetración de la luz UV-C a las células dañando irreversiblemente el DNA por formación de dímeros de timina que inhiben los procesos de transcripción y replicación conduciendo finalmente a la muerte celular. La luz UV sólo penetra unos cuantos milímetros en los alimentos dependiendo de las propiedades ópticas de los mismos aunque puede penetrar fácilmente al agua. En el caso de la leche y otros líquidos opacos la penetración es escasa por lo que para el tratamiento, la leche debe presentarse en forma de película (Choudhary & Bandla, 2012). Una de las desventajas del tratamiento con luz UV de la leche es la producción de olores a irradiado por producción de compuestos como el pentanal, hexanal y heptanal (Orlowska, Koutchman, Grapperhaus, Gallagher, Schaefer & Defelice, 2013).

Las lámparas que se emplean tradicionalmente para el tratamiento de agua son las continuas monocromáticas de baja presión (LPM por sus siglas en inglés) y las continuas policromáticas de presión media (MPM), ambas a base de mercurio. Se han desarrollado recientemente lámparas de pulsos de alta intensidad a base de xenón (HIP) que producen pulsos de corta duración en un amplio espectro de luz UV. Los mejores resultados con leche se han obtenido usando lámparas con 644 J/pulso y 0.5 Hz, en las cuales no hubo variación en el pH ni en la viscosidad de la leche y se obtuvo una mayor penetración y se requirió un menor tiempo de exposición en comparación con las lámparas LPM (Orlowska et al., 2013). Otra tecnología que se ha probado para la conservación de la leche es el proceso con luz UV en flujo turbulento. Este tipo de equipo se ha operado en flujos de 4,000 L/h con dosis entre 1,045 y 2,090 J/L proporcionadas por lámparas LPM de mercurio que emiten luz

UV-C. No se observaron cambios en la composición general ni en el perfil de ácidos grasos o proteínas. Tampoco se observaron variaciones en ácidos oleicos conjugados (CLA) y la disminución en vitaminas fue similar a la que se tiene en la pasteurización térmica convencional por lo que se pudo concluir que el tratamiento con luz UV puede ser una buena alternativa no térmica para la conservación de la leche (Cappozzo, Koutchma & Barnes, 2015).

6. Microfiltración

La filtración con membranas microporosas se ha utilizado desde hace mucho tiempo para la reducción o eliminación de microorganismos en fluidos. Existen varios tipos de filtración dependiendo del tamaño de poro de las membranas utilizadas pero en el caso de la eliminación de bacterias y sus esporas, la microfiltración (MF) es la técnica a utilizar ya que generalmente utiliza membranas con tamaño de poro de alrededor de 1 μm . La MF reduce la cantidad de esporas y bacterias sin afectar las características sensoriales de la leche y proporciona una mayor vida de anaquel que la pasteurización comercial (Brans, Schroën, van der Sman & Boom, 2004). El principal problema en la MF de la leche es que la mayoría de los glóbulos de grasa y algunas proteínas tienen tamaños similares a las bacterias y provocan un taponamiento de las membranas. Dentro de las posibles soluciones a este problema están el uso de leche descremada y la aplicación de un esfuerzo de corte en la superficie de la membrana que evite la acumulación de partículas. Esto se hace normalmente usando altas velocidades de flujo cruzado (4 a 8 m/s) con recirculación del permeado para tener una presión transmembrana uniforme. Los equipos de MF muy comúnmente usan presiones transmembrana de 50 kPa, con un flux de 500 L/h m^2 usando membranas cerámicas con poros de 1.4 μm de diámetro que dan reducciones promedio de 10^3 ufc/mL en la concentración de microorganismos (Guerra, Jonsson, Rasmussen, Waagner-Nielsen & Edelsten, 1997). Este tipo de sistemas ha tenido éxito tanto en leche de vaca como en leche de oveja (Beolchini, Veglio & Barba, 2004). Se pueden obtener reducciones aun mayores (10^6 ufc/mL en

promedio) si la MF se usa como un paso previo a la pasteurización térmica (Elwell & Barbano, 2006). La leche de vida de anaquel extendida (ESL por sus siglas en inglés) es un producto cuya duración está entre la de la leche pasteurizada a alta temperatura corto tiempo y la leche ultrapasteurizada. Hay varias técnicas para su obtención pero una de las mejores por no alterar su composición ni sus atributos sensoriales es la MF (Hoffmann, Kiesner, Clawin-Rädecker, Martin, Einhoff, Lorenzen et al., 2006). Se ha comprobado que el proceso de MF en el que la fracción retenida se esteriliza por calor y se reincorpora al microfiltrado incrementa notablemente la vida de anaquel del producto sin alterar sus características (Kosikowski & Mistry, 1990). Existen también estudios encaminados a la optimización de las condiciones de MF para optimizar la vida de anaquel de la leche tratada por este proceso (Fernández-García, 2012).

7. Combinando Tecnologías No Térmicas

Se ha demostrado que en algunos casos la inactivación de microorganismos o enzimas por medio de tecnologías no térmicas es más efectiva si se combina con bajos valores de pH o con agentes antimicrobianos. En algunas ocasiones se han tenido efectos sinérgicos cuando se combinan dos tecnologías no térmicas en alimentos. En este aspecto aún falta mucho por saber y está siendo el objeto de mucha investigación en todo el mundo (Ross et al., 2003).

8. Conclusiones

Originalmente las tecnologías no térmicas tenían como objetivo mejorar la calidad y seguridad microbiológica de los alimentos, sin embargo en el caso de la leche y derivados también pueden tener una gran cantidad de aplicaciones como son la modificación de los parámetros funcionales, nutricionales y sensoriales, aumento del rendimiento quesero, la conservación de las moléculas bioactivas, la modulación o inactivación de determinadas actividades enzimáticas y el incremento en la calidad de los productos lácteos probióticos.

Referencias

- Al-Hilphy, A.R.S. (2012). Electrical field (AC) for non thermal milk pasteurization. *Journal of Nutrition and Food Science*, 2, 177-181.
<http://dx.doi.org/10.4172/2155-9600.1000177>
- Beolchini, F., Veglio, F., & Barba, D. (2004). Microfiltration of bovine and ovine milk for the reduction of microbial content in a tubular membrane: a preliminary investigation. *Desalination*, 161, 251-258.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0011-9164\(03\)00705-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0011-9164(03)00705-7)
- Bermúdez-Aguirre, D., & Barbosa-Cánovas, G.V. (2011). Power ultrasound fact sheet. En Zhang, H.Q., Barbosa-Cánovas, G.V., Balasubramaniam, V.M., Dunne, C.P., Farkas, D.F., & Yuan, J.T.C. (Eds.). *Nonthermal processing technologies for food*. Ames, Iowa: Blackwell Publishing Ltd. 621-622.
- Brans, G., Schroën, C.G.P.H., van der Sman, R.G.M., & Boom, R.M. (2004). Membrane fractionation of milk: state of the art and challenges. *Journal of Membrane Science*, 243, 263-272.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2004.06.029>
- Cameron, M., McMaster, L.D., & Britz, T.J. (2009). Impact of ultrasound on dairy spoilage microbes and milk components. *Dairy Science and Technology*, 89, 83-98.
<http://dx.doi.org/10.1051/dst/2008037>
- Cappozzo, J.C., Koutchma, T., & Barnes, G. (2015). Chemical characterization of milk after treatment with thermal (HTST and UHT) and nonthermal (turbulent flow ultraviolet) processing technologies. *Journal of Dairy Science*, 98, 5068-5079.
<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-9190>
- Chaudhari, C.B., Prajapati, J.P., & Pinto, S.V. (2015). Ultrasound technology for dairy industry. *Proceedings of the National Seminar on "Indian Dairy Industry – Opportunities and Challenges"*. Anand, India. 151-155.
- Chawla, R., Patil, G.R., & Singh, A.K. (2011). High hydrostatic pressure technology in dairy processing: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 48, 260-268.
<http://dx.doi.org/10.1007/s13197-010-0180-4>
- Chemat, F., Huma, Z., & Khan, M.K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18, 813-835.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.11.023>
- Choudhary, R., & Bandla, S. (2012). Ultraviolet pasteurization for food industry. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*, 2, 12-15.
<http://dx.doi.org/10.5923/j.food.20120201.03>

- Chug, A., Khanal, D., Walkling-Ribeiro, M., Corredig, M., Duizer, L., & Griffiths, M.W. (2014). Change in color and volatile composition of skim milk processed with pulsed electric field and microfiltration treatments or heat pasteurization. *Foods*, 3, 250-268.
<http://dx.doi.org/10.3390/foods3020250>
- Elmnasser, N., Guillou, S., Leroi, F., Orange, N., Bakhrouf, A., & Federighi, M. (2007). Pulsed-light system as a novel food decontamination technology: a review. *Canadian Journal of Microbiology*, 53, 813-821.
<http://dx.doi.org/10.1139/W07-042>
- Elwell, M.W., & Barbano, D.M. (2006). Use of microfiltration to improve fluid milk quality. *Journal of Dairy Science*, 89(Suppl 1), E20-E30.
[http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72361-X](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72361-X)
- Fernández-García, L. (2012). *Producción de leche de larga duración (ESL) mediante membranas cerámicas de microfiltración*. Tesis de Doctorado en Ingeniería de Procesos y Ambiental. Universidad de Oviedo. Oviedo, España.
- Floury, J., Grosset, N., Leconte, N., Pasco, M., Madec, M.N., & Jeantet, R. (2006). Continuous raw skim milk processing by pulsed electric field at non-lethal temperature: effect on microbial inactivation and functional properties. *Lait*, 86, 43-57.
<http://dx.doi.org/10.1051/lait:2005039>
- Gomes da Cruz, A., Fonseca, J.A., Isay, S.M., André, H.M., Souza, A., & Cristianini, M. (2010). High pressure processing and pulsed electric fields: potential use in probiotic dairy foods processing. *Trends in Food Science & Technology*, 21, 483-493.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2010.07.006>
- Guerra, A., Jonsson, G., Rasmussen, A., Waagner-Nielsen, E., & Edelsten, D. (1997). Low cross-flow microfiltration of skim milk for removal of bacterial spores. *International Dairy Journal*, 7, 849-861.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946\(98\)00009-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946(98)00009-0)
- Hayes, M.G., & Kelly, A.L. (2003a). High pressure homogenization of raw whole bovine milk (a) effects on fat globule size and other properties. *Journal of Dairy Research*, 70, 297-305.
<http://dx.doi.org/10.1017/S0022029903006320>
- Hayes, M.G., & Kelly, A.L. (2003b). High pressure homogenization of milk (b) effects on indigenous enzymatic activity. *Journal of Dairy Research*, 70, 307-313.
<http://dx.doi.org/10.1017/S0022029903006319>
- Hoffmann, W., Kiesner, C., Clawin-Rädecker, I., Martin, D., Einhoff, K., Lorenzen, P.C. et al. (2006). Processing of extended shelf life milk using microfiltration. *International Journal of Dairy Technology*, 59, 229-235.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1471-0307.2006.00275.x>

- Huppertz, T., Kelly, A.L., & Fox, P.F. (2002). Effects of high pressure on constituents and properties of milk. *International Dairy Journal*, 12, 561-572.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946\(02\)00045-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946(02)00045-6)
- Huppertz, T., Fox, P.F., & Kelly, A.L. (2004). Dissociation of caseins in high pressure-treated bovine milk. *International Dairy Journal*, 14, 675-680.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2003.11.009>
- Knorr, D., Zenker, M., Heinz, V., & Lee, D.U. (2004). Applications and potential of ultrasonics in food processing. *Trends in Food Science & Technology*, 15, 261-266.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2003.12.001>
- Kosikowski, F.V., & Mistry, V.V. (1990). Microfiltration, ultrafiltration, and centrifugation separation and sterilization processes for improving milk and cheese quality. *Journal of Dairy Science*, 73, 1411-1419.
[http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)78805-4](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78805-4)
- Lewis, M.J., & Deeth, H.C. (2009). Heat treatment of milk. En Tamime, A.Y. (Ed.), *Milk processing and quality management*. Chichester, UK: Blackwell Publishing Ltd. 168-204.
- Naik, L., Sharma, R., Rajput, Y.S., & Manju, G. (2013). Application of high pressure processing technology for dairy food preservation – future perspective: a review. *Journal of Animal Products Advances*, 3, 232-241.
<http://dx.doi.org/10.5455/japa.20120512104313>
- Orlowska, M., Koutchma, T., Grapperhaus, M., Gallagher, J., Schaefer, R., & Defelice, C. (2013). Continuous and pulsed ultraviolet light for nonthermal treatment of liquid foods. Part 1: Effects on quality of fructose solution, apple juice, and milk. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 1580-1592.
<http://dx.doi.org/10.1007/s11947-012-0779-8>
- Pedras, M.M., Pinho, C.R.G., Tribst, A.A.L., Franchi, M.A., & Cristianini, M. (2012). The effect of high pressure homogenization on microorganisms in milk. *International Food Research Journal*, 19, 1-5.
- Piyasena, P., Mohareb, E., & McKellar, R.C. (2003). Inactivation of microbes using ultrasound: a review. *International Journal of Food Microbiology*, 87, 207-216.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1605\(03\)00075-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1605(03)00075-8)
- Qin, B., Barbosa-Canovas, G.V., Swanson, B.G., Pedrow, P.D., & Olsen, R.G. (1998). Inactivating microorganisms using a pulsed electric field continuous treatment system. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 34, 43-50.
<http://dx.doi.org/10.1109/28.658715>
- Ross, A.I.V., Griffiths, M.W., Mittal, G.S., & Deeth, H.C. (2003). Combining nonthermal technologies to control foodborne microorganisms. *International Journal of Food Microbiology*, 89, 125-138.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1605\(03\)00161-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1605(03)00161-2)

- Shamsi, K., & Sherkat, F. (2009). Application of pulsed electric field in non-thermal processing of milk. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, 2, 216-244.
- Stoica, M., Mihalcea, L., Borda, D., & Alexe, P. (2013). Non-thermal novel food processing technologies. An overview. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 19, 212-217.
- Tammineedi, C.V.R.K., & Choudhary, R. (2014). Recent advances in processing for reducing dairy and food allergenicity. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*, 4, 36-42.