



Procesamiento no térmico de alimentos

Nonthermal Processing of Food

Gustavo V. Barbosa-Cánovas* y Daniela Bermúdez-Aguirre

Center for Nonthermal Processing of Food, Washington State University, Pullman, WA 99164-6120, USA

Recibido 07 diciembre 2009; Aceptado 08 enero 2010

Resumen

Los procesos comúnmente utilizados por la industria de alimentos ofrecen productos seguros pero, en muchos casos, la calidad de los mismos es significativamente peor a los productos no procesados. En forma reciente, se ha empezado a investigar en forma sistemática y desde un punto de vista científico, tecnológico y práctico, las llamadas tecnologías “no térmicas”. Las mismas utilizan como factores principales de inactivación microbiana estrategias que no utilizan el calor. El mismo puede utilizarse como suplemento o puede ser autogenerado por la tecnología utilizada, y a veces puede jugar un papel importante en el proceso como por ejemplo en la esterilización de alimentos de baja acidez utilizando altas presiones. En este trabajo se describen algunas tecnologías “no térmicas” que han adquirido mucha relevancia y que han sido incorporadas a las líneas de proceso en algunas industrias o que, eventualmente, serán incorporadas en un futuro muy cercano. Todas estas tecnologías tienen ventajas y desventajas, y ninguna de ellas es capaz de procesar todos los alimentos, sin embargo debido a la seguridad que ofrecen, la calidad del producto final y los costos involucrados en el uso de las mismas, las hacen una opción muy atractiva a los métodos convencionales, generalmente centrados en el uso del calor. Es del caso señalar que las tecnologías no térmicas pueden ser utilizadas en combinación entre ellas o con otras, buscando efectos sinérgicos lo cual redundará en procesos más cortos y la obtención de productos de mejor calidad.

Palabras clave: Tecnología no térmica, tecnología de obstáculos, inactivación, calidad sensorial.

Abstract

Conventional approaches to process foods have proven to offer very safe products but, in some cases, the quality of the final product is significantly lower to the original one. Nonthermal processing of foods has emerged as a viable alternative to those conventional processing by offering safe products of excellent quality and at very reasonable cost. These emerging technologies utilize nonthermal microbial stress factors as the main inactivation mechanism. In some cases, external sources of heat or self-generated heat are utilized to supplement the main inactivation mechanism. This combination becomes very relevant in the case of the sterilization of low-acid foods by pressure assisted thermal processing (PATP). This article presents some of the most relevant nonthermal technologies where some of them are already in use by the food industry and others will be adopted in the very near future. It is the case; these nonthermal technologies could be used in combination among themselves or with other preservation approaches seeking synergistic effects in order to have shorter processes and very good quality food products.

Keywords: Nonthermal technology, hurdle technology, inactivation, sensorial quality.

1. Introducción

Uno de los objetivos de los ingenieros y científicos de alimentos en los últimos veinte años ha sido encontrar procesos alternativos y

tecnologías de conservación que sean ambientalmente amigables, de bajo costo, y capaces de preservar los atributos de calidad del producto alimenticio. Una serie de nuevas

* Autor para correspondencia.

E-mail: barbosa@wsu.edu (G. Barbosa-Cánovas)

tecnologías no térmicas, como la alta presión y la radiación, han sido comercializadas y ofrecen al consumidor muchas de estas ventajas. Estas nuevas tecnologías han sido ampliamente investigadas en todo el mundo desde un punto de vista microbiológico, pero también se han realizado estudios de factores composicionales y características sensoriales de los alimentos después de procesados. Lo interesante es que estas tecnologías no sólo son útiles para la inactivación de bacterias o enzimas, sino también para el desarrollo de ingredientes y productos con características nuevas. La calidad final de estos productos es excepcional en comparación con los métodos tradicionales de conservación térmica, además proveen de un importante ahorro de costos, energía, y tiempos de procesamiento.

En este artículo se examinan nuevas tecnologías no térmicas y su desarrollo en el que han trabajado en colaboración la industria, el entorno académico y el gobierno. Estos tres grupos trabajan conjuntamente con las agencias reguladoras para su uso en la industria alimentaria, con el fin de ofrecer productos de consumo alimentario seguros, nutritivos y sabrosos. Es del caso señalar que algunas regulaciones tradicionales para la pasteurización y esterilización se han modificado para dar cabida a estas nuevas tecnologías, donde el calor no es el principal factor de estrés para inactivar los microorganismos.

2. ¿Por qué tecnologías no térmicas?

Pasteurización térmica y esterilización térmica son las dos operaciones unitarias de alimentos más comunes utilizadas para procesar y conservar los alimentos en el mundo. El calor es responsable de la inactivación microbiana y la reducción de la actividad enzimática que se produce en los productos alimenticios sometidos a tratamiento térmico, siendo el resultado un producto seguro y cuya vida de anaquel será mucho más larga que su equivalente no procesado. El objetivo principal del

tratamiento térmico es la inactivación de microorganismos patógenos y las esporas (dependiendo del tratamiento) para proporcionar a los consumidores un producto microbiológicamente seguro. Sin embargo, a pesar de los beneficios del tratamiento térmico, una serie de cambios tienen lugar en el producto que altera su calidad final, por ejemplo, sabor, color, textura y aspecto general.

En las últimas décadas, los consumidores se han vuelto más exigentes en cuanto a lo que comen y el precio que pagan, mostrando preocupación por la seguridad de sus alimentos; sin embargo, la mayoría de los productos en el mercado han sido tratados de forma muy intensa para garantizar la seguridad del consumidor pero mostrando daños significativos en sus características sensoriales y nutricionales. Ahora los consumidores están buscando en sus alimentos, características similares al alimento fresco, junto con alta calidad sensorial y contenido nutricional. Los consumidores son más conscientes del contenido de los alimentos y las tecnologías utilizadas para procesarlos, mostrando una mayor preferencia por los productos naturales (Evans y Cox, 2006) libre de químicos y/o aditivos. Por lo tanto, la necesidad de alternativas de transformación que puede lograr la inactivación microbiana, conservar los alimentos con características similares al fresco, y ofrecer productos ecológicos, todo ello a un costo razonable, se ha convertido en el reto actual de numerosos científicos y tecnólogos de alimentos de todo el mundo.

Las tecnologías no térmicas representan una nueva área de procesamiento de alimentos y se están estudiando actualmente en una escala global, la investigación ha crecido rápidamente en los últimos años en particular. Estas nuevas tecnologías son muy atractivas para ser utilizadas en combinación, ya sea entre ellas o con las tradicionales buscando sinergismos para optimizar la calidad total de los alimentos.

2.1 Deterioro de los alimentos

Los alimentos son un excelente vehículo para el transporte de microorganismos. Debido a la presencia de agua y nutrientes existe un ambiente favorable para el crecimiento natural de bacterias en un periodo muy corto de tiempo. En condiciones como las que ofrecen los climas cálidos, el crecimiento de los microorganismos es aún más rápido. Además, si se siguen prácticas antihigiénicas durante el manejo de productos alimentarios, los microorganismos patógenos pueden ser transferidos a la superficie de los alimentos desde muchas fuentes (suelo, agua, insectos) lo que genera riesgos de salud para el consumidor. Por lo tanto, los procesos que pueden inactivar las bacterias patógenas y reducir la flora natural en productos vegetales y animales son esenciales en la industria alimentaria.

El método más común utilizado para lograr estos objetivos son los procesos térmicos de pasteurización y esterilización. La pasteurización se usa comúnmente para productos alimenticios de alta acidez ($\text{pH} < 4,6$) para inactivar las bacterias patógenas y extender la vida útil del producto durante un par de semanas. También es utilizada para alimentos de baja acidez seguida de refrigeración. El método de pasteurización más común, temperatura alta y tiempo corto (High Temperature Short Time - HTST), emplea temperaturas alrededor de 72°C durante 15s en el caso de la leche. La esterilización es un tratamiento térmico más severo utilizado para los productos alimenticios de baja acidez ($\text{pH} > 4,6$), inactiva esporas, extiende la vida útil del producto por varios meses, y utiliza temperaturas alrededor de 121°C durante varios minutos (por ejemplo, 15 min). La pasteurización y esterilización se han utilizado para inactivar células de microorganismos patógenos como *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, y esporas de *Clostridium botulinum* en un número significativo de productos

alimenticios, además de la reducción de microorganismos de descomposición. La actividad enzimática también puede ser reducida cuando se aplica calor a los alimentos y obtener un producto con mejor estabilidad durante el almacenamiento.

Sin embargo, se puede observar algún crecimiento microbiano durante el almacenamiento de alimentos, por ejemplo, en los productos pasteurizados (leche). El proceso no inactiva todos los microorganismos y las esporas resistentes al calor pueden permanecer en el producto después de su transformación, y dependiendo de las condiciones de almacenamiento, el crecimiento de bacterias puede acelerarse. Algunos productos alimenticios se procesan bajo condiciones específicas para resistir largos períodos de almacenamiento. Este es el caso cuando se fabrican artículos específicos y se envían de un país a otro; el producto debe tener la vida útil suficiente como para soportar el envío y almacenamiento en dos lugares distantes. En situaciones más específicas, tales como alimentos procesados para uso militar o misiones espaciales, hay requisitos más estrictos, uno de ellos es la vida de almacenamiento del producto. Para uso militar, la vida útil de los alimentos debe ser de al menos tres años a temperatura ambiente. Durante este período de tres años el crecimiento de bacterias debe ser prácticamente nula, o a un ritmo muy lento, para evitar cualquier deterioro. Los alimentos militares se utilizan bajo condiciones extremas de temperatura y humedad, a veces en ambientes desérticos, donde los alimentos deben ser microbiológicamente muy seguros y proporcionar la energía necesaria y los requerimientos nutricionales a los soldados. Para las misiones espaciales, la vida útil debe ser mayor que el requerido para uso comercial. Los alimentos deben ser microbiológicamente seguros con nutrientes adecuados, buen sabor, y una apariencia agradable. Aunque las condiciones extremas de temperatura no se considera un problema durante los viajes

espaciales, la comida debe ser estable frente a grandes cantidades de radiación.

Ahora los científicos de alimentos están estudiando el uso de nuevos factores de conservación para preservar los alimentos y prolongar la vida útil del producto que será especialmente beneficioso en la investigación de alimentos militares y espaciales, así como para otros alimentos. Algunos de estos nuevos factores de preservación pertenecen al campo de estudio de la tecnología no térmica, en el que diferentes obstáculos físicos y/o bioquímicos se están explorando para inactivar o retrasar el crecimiento de bacterias. El objetivo principal de estas nuevas tecnologías es el procesamiento de un producto seguro que conserve las características sensoriales del producto fresco en la mayor medida posible así como el contenido de nutrientes.

2.2 Contenido de nutrientes

La seguridad microbiológica de los alimentos sigue siendo un aspecto importante en el procesamiento de alimentos, pero debido a las condiciones requeridas para inactivar los microorganismos, el contenido de nutrientes en algunos productos alimenticios está afectado negativamente debido a la sensibilidad térmica. Por ejemplo, leche, huevos, pescado, carne, y otras importantes fuentes de proteínas, una vez que son sometidos a tratamiento térmico (pasteurización o esterilización) el contenido de nutrientes se ve afectado en gran medida; por lo que, las tecnologías de procesamiento capaces de mantener el contenido original de nutrientes y que no cambien la estructura y funcionalidad de los ingredientes son muy deseados en la industria alimentaria.

Una tecnología no térmica, la alta presión hidrostática, ha mostrado un efecto insignificante sobre el contenido de nutrientes de los alimentos, por ejemplo en el procesamiento de frutas y verduras, donde la presión tuvo un efecto mínimo sobre el contenido de antocianinas después del

tratamiento (Tiwari *et al.*, 2009). Las antocianinas son fitonutrientes, y no sólo son responsables del color, sino también tienen un efecto antioxidante importante en la salud humana. Es bueno destacar que el contenido de antocianinas en jugos después de un tratamiento con campos eléctricos pulsados (PEF), ha mostrado resultados contradictorios. Algunos investigadores reportan un efecto mínimo sobre el contenido del pigmento después del proceso, mientras que otros documentan que hay una degradación en el contenido de antocianinas (Tiwari *et al.*, 2009). Otros ejemplos de la retención de nutrientes en los alimentos con el uso de tecnologías no térmicas son mencionados por Knorr *et al.* (2002), tales como la menor pérdida de ácido ascórbico L(+) en jugo sonificado, una mejor retención del ácido ascórbico en guisantes tratados con alta presión, retención completa de ácido ascórbico en brócoli presurizado, y sin cambios en el contenido de aminoácidos en jugo de uva tratado con PEF (Garde-Cerdán *et al.*, 2007).

2.3 Calidad sensorial de los alimentos

Cambios en las características sensoriales de los alimentos se observan comúnmente cuando un tratamiento térmico es utilizado. La temperatura trabaja como un catalizador en algunas reacciones químicas actuando en los pigmentos, sales minerales, proteínas, vitaminas, aminoácidos, grasas y otros productos químicos que se encuentran en los alimentos promoviendo una serie de cambios físicos y químicos. Pardeamiento, oxidación, desnaturalización de las proteínas, coagulación o precipitación, cambios en la microestructura y textura final, gelificación, pérdida de color y sabor, pérdida de funcionalidad, retrogradación del almidón, y procesos químicos relacionados se producen en los componentes del alimento durante el tratamiento térmico.

En el procesamiento de alta presión aplicada a temperatura ambiente, se obtiene un producto

con la mayor parte de los atributos de calidad de los alimentos intactos, por ejemplo, la presurización no afecta a los enlaces covalentes, evitando el desarrollo de sabores extraños en los alimentos (Knorr *et al.*, 2002). Algunos estudios en jugo de naranja procesado bajo presión no mostraron cambios importantes en comparación con el producto recién exprimido, conservando la misma calidad durante el almacenamiento de hasta 3 meses a 5°C (Knorr *et al.*, 2002). En pruebas con consumidores cuando se les pide que comparen un jugo de naranja recién exprimido, con otro tratado térmicamente, y otro presurizado, los consumidores prefieren el jugo presurizado (Evans y Cox, 2006).

En el procesamiento de leche altamente presurizado (> 200 MPa) se encontró un aumento en la solubilidad de la caseína, en el contenido de proteína y agua en cuajada, así como un aumento en el rendimiento de requesón (Knorr *et al.*, 2002). Esta leche a presión ha sido utilizada con éxito en la elaboración de queso y la producción de yogur (San Martín-González *et al.*, 2007; Penna *et al.*, 2007). Otra tecnología no térmica aplicada a la leche son los campos eléctricos pulsados que permite la pasteurización de la leche con un daño mucho menor que los térmicos así como provee un importante ahorro de energía y costo (Bendicho *et al.*, 2002; Bolado-Rodríguez *et al.*, 2000). El ultrasonido se ha utilizado también en la pasteurización de la leche con resultados importantes; la leche muestra un mayor grado de homogenización, de color blanco, y una mejor estabilidad después del proceso. En este método, la pasteurización y homogeneización se completan en un solo paso (Bermúdez-Aguirre *et al.*, 2009).

Mejor color en jugos tratados con ultrasonido, mejor calidad de mermelada de fresa a presión (Knorr *et al.*, 2002) son otros ejemplos de mejoras de calidad utilizando tecnologías no térmicas. Se han reportado cambios mínimos en la calidad sensorial en zumos de frutas tratados con ultrasonido, así

como en jugos procesados con la tecnología denominada "Dióxido de Carbono en Fase Densa", mostrando una importante inactivación bacteriana que garantiza la calidad microbiológica y la seguridad del producto, pero no compromete las propiedades organolépticas (Tiwari *et al.*, 2009).

3. Nuevas tecnologías no térmicas

Aunque la temperatura podría ser utilizada en combinación con algunas de estas nuevas tecnologías para mejorar la eficacia, la mayor parte de la investigación ha sido realizada a temperatura ambiente, y debido a los tiempos de procesamiento extremadamente cortos, los alimentos son similares al fresco. Los científicos están explorando el uso de la presión, la luz, los diferentes tipos de radiación electromagnética, de sonido, y otros obstáculos físicos para inactivar las bacterias. Los consumidores se están volviendo gradualmente conscientes de las nuevas tecnologías para el procesamiento de alimentos y en ocasiones se refieren a los métodos no térmicos como "pasteurización en frío" (Cardello *et al.*, 2007).

Una lista más detallada incluye los siguientes procesos: alta presión hidrostática, ultrasonido, campos eléctricos pulsados, campos magnéticos oscilantes, radiación, luz ultravioleta, plasma frío, algunos productos químicos (por ejemplo, ozono, dióxido de carbono en fase densa, el dióxido de cloro, agua electrolizada y bacteriocinas), así como el uso de envases inteligentes.

Algunas de las tecnologías más exploradas en este grupo son la alta presión hidrostática y la irradiación; ambas se utilizan actualmente para productos comerciales y están disponibles en muchos lugares del mundo. Hoy en día, equipos de alta presión (300 a 700 MPa) para aplicaciones comerciales tamaños tienen tamaños que van de 35 a 420 L y tiene una capacidad de producción anual de más de 150000 toneladas (Wan *et al.*, 2009).

Otra tecnología no térmica utilizada en procesos alimenticios es la irradiación. Muchas pruebas toxicológicas se han llevado a cabo para demostrar que esta tecnología es segura para el consumidor, en adición a la efectiva inactivación microbiana y desinfestación de insectos. Desde la década de 1990 más de 40 países han establecido instalaciones seguras y apropiadas para la irradiación de alimentos (Molins, 2001). Estas instalaciones han comenzado a demostrar a los consumidores que la tecnología de irradiación tiene más ventajas que desventajas. En algunos países el nombre de esta tecnología se ha cambiado a la de “pasteurización electrónica” para una mejor aceptación por los consumidores (Molins, 2001). La técnica está regulada tanto a nivel nacional como internacional por la IAEA (International Atomic Energy Agency), la FAO y la OMS (Morehouse y Komolprasert, 2004). La FDA considera que la irradiación es más un aditivo que un proceso para alimentos.

Los campos eléctricos pulsados (PEF), son probablemente la segunda aplicación industrial más prometedora de las tecnologías no térmicas. La aplicación de PEF fue lanzado en los Estados Unidos (2006) con éxito en el procesado de zumos de frutas, logrando resultados sobresalientes en la calidad del producto. En un futuro no muy lejano, esta tecnología será lanzado por un número de empresas de alimentos en Europa para la pasteurización de alimentos líquidos tales como la leche y zumos de frutas (Kempkes, 2008).

3.1 Tiempos de procesamiento

Científicos de alimentos también están buscando operaciones de tratamiento más convenientes. Las tecnologías emergentes no térmicas han demostrado reducciones importantes en los tiempos de procesamiento en comparación con las actividades tradicionales de tratamiento térmico. Un corto tiempo de procesamiento es una característica de la mayoría de las nuevas tecnologías no

térmicas exploradas (Wan *et al.*, 2009). Por ejemplo, usando campos eléctricos pulsados para la pasteurización de alimentos líquidos, se reduce el tiempo total de procesamiento a menos de un segundo; la esterilización térmica a alta presión es capaz de inactivar esporas y producir un producto no perecedero en sólo unos minutos (alrededor de 5 minutos, dependiendo de las características del producto). Esta reducción en el tiempo de procesamiento repercute tanto en el ahorro energético lo que da ventajas económicas. Otra ventaja clave de las tecnologías no térmicas consiste en ser amigables con el medio ambiente, debido a la generación mínima de residuos durante el procesado. El uso de campos eléctricos pulsados es un buen ejemplo de un proceso libre de residuos (Knorr *et al.*, 2002). Se puede aseverar que la mayoría de estas tecnologías no térmicas muestran una reducción significativa en el tiempo de procesamiento en comparación con el tratamiento térmico tradicional.

3.2 Trabajando en equipo para obtener mejores resultados

El desarrollo de tecnologías no térmicas ha crecido en los últimos años debido a la constante interacción entre la universidad, la industria, el gobierno y el consumidor, así como de agencias reguladoras. El primer paso, la investigación, fue liderada por la universidad, que compartiendo los resultados con la industria y el gobierno, y más tarde, con los consumidores pudo hacer avances de importancia en corto tiempo. La alta presión hidrostática (APH), por ejemplo, comenzó a ser explorada en los laboratorios, transfiriéndose en poco tiempo la industria, llegando a ser prioridad después de ver los resultados alentadores de estos estudios. APH se utiliza en la elaboración de productos de alta calidad y alto valor agregado, que incluye el procesamiento de productos ya existentes y promueve el desarrollo de nuevos productos.

Las agencias reguladoras como la Food and Drug Administration ha aprobado el uso de

APH, primero como una alternativa a la pasteurización, y recientemente (febrero de 2009), en combinación con el calor, como una alternativa para la esterilización de alimentos conocidos como la "Pressure Assisted Thermal Sterilization (PATS)" o la "Pressure Assisted Thermal Processing (PATP)" (NCFST, 2009).

3.3 Procesamiento térmico

Ha habido algunas innovaciones en esta área, pero los equipos convencionales se siguen utilizando (Mermelstein, 2001). La esterilización y la pasteurización han sido ampliamente estudiados durante muchos años y, en el caso de alimentos de baja acidez, la esterilización debe seguir un control estricto, se requieren tiempos de procesamiento específicos para garantizar que las esporas de los microorganismos más resistentes sean inactivadas. El uso de estos procesos resulta en la pérdida de nutrientes termo sensibles como vitaminas (Teixeira y Tucker, 1997). En las últimas décadas, los ingenieros y científicos de alimentos han descrito la inactivación térmica de bacterias siguiendo una cinética de primer orden. Se han utilizado parámetros de tratamiento térmico como D , Z y los valores de F_0 para el cálculo de la letalidad del proceso. Sin embargo, se ha demostrado que las bacterias rara vez siguen una cinética de primer orden durante la inactivación y por tanto se han cuestionado los modelos matemáticos de cálculo de proceso utilizado por la industria (Corradini *et al.*, 2005).

Recientemente la falta de condiciones isotérmicas durante el procesamiento térmico han sido ampliamente revisadas y discutidas por muchos autores (Corradini *et al.*, 2008; Peleg *et al.*, 2008, Smith-Simpson *et al.*, 2007; Aragao *et al.*, 2007; Corradini *et al.*, 2007; Corradini *et al.*, 2006). Estos autores han demostrado que las curvas de inactivación de la mayoría de las bacterias durante el procesamiento térmico siguen una tendencia no lineal, y que modelos matemáticos alternativos pueden adaptarse mejor a estas

curvas (Corradini y Peleg, 2007; Aragao *et al.*, 2007; Corradini y Peleg, 2004). Se han realizado varios esfuerzos para establecer un mejor control durante el procesamiento térmico a partir de "sistemas inteligentes de modo de optimizar la seguridad, calidad y eficiencia de los procesos (Teixeira y Tucker, 1997). La mayoría de estos enfoques no pueden ser totalmente transferidos a la industria inmediatamente, o esterilización) porque previamente deben ser validada y aprobada por los organismos reguladores.

3.4 Una nueva definición de pasteurización

Las nuevas alternativas para la pasteurización de alimentos han dado lugar a varios cambios que deben ser atendidos para cumplir las normas originales para la pasteurización. Hay una serie de factores importantes a considerar cuando se piensa que una nueva tecnología es equivalente a la pasteurización térmica tales como la resistencia de microorganismos patógenos en un alimento (NACMCF, 2006). La nueva definición de la pasteurización debe cumplir con muchos requisitos para que un producto seguro pueda ser ofrecido a los consumidores; al mismo tiempo, se deben describir las ventajas de la nueva tecnología para el consumidor y para el procesador de alimentos. The National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Foods (NACMCF, 2006) adoptó una nueva definición para la pasteurización en 2004: "... cualquier proceso, tratamiento, o combinación de ellas, que es aplicado en alimentos para reducir el(los) microorganismo(s) más resistente(s) de importancia en salud pública a un nivel que no sea probable que presente un riesgo para la salud pública en condiciones normales de distribución y almacenamiento...". En el mismo documento se incluye una lista de nuevas tecnologías como posible alternativa para la pasteurización térmica. Se citan algunas nuevas tecnologías térmicas, tales como microondas y calentamiento óhmico, y la mayoría de las tecnologías no térmicas como

altas presiones hidrostáticas, campos eléctricos pulsados, radiación ultravioleta, irradiación, tratamientos químicos, luz pulsada, infrarrojos, plasma, campos magnéticos oscilantes, ultrasonido; incluyendo los criterios para su uso en la pasteurización de acuerdo al tipo de microorganismo, condiciones de procesamiento, y las necesidades de investigación.

4. Cuestiones relevantes adicionales en relación con las nuevas tecnologías

La búsqueda de alternativas para el procesamiento de alimentos no sólo proporciona instrumentos necesarios para la inactivación microbiana. Durante el desarrollo de algunas nuevas tecnologías se han realizado importantes avances en identificar las ventajas que tiene usar estos procesos tales como el ayudar a mejorar la calidad de productos específicos o el desarrollo de otros nuevos. Otras ventajas de las nuevas tecnologías son su posible utilización en la elaboración de productos específicos tales como raciones militares o alimentos para viajes espaciales que requieren reglamentaciones precisas y muy estrictas. Así mismo, nuevas tecnologías pueden ser usadas para procesar los excesos en las actividades agrícolas, evitando importantes pérdidas económicas en todo el mundo.

4.1 Nuevos ingredientes, nuevos productos

La exploración de nuevos factores de conservación en la elaboración de alimentos no se ha limitado a la inactivación de microorganismos y de enzimas. Durante una extensa investigación de las tecnologías no térmicas, se han observado importantes descubrimientos sobre nuevas propiedades en algunos de sus ingredientes. Por ejemplo, la alta presión hidrostática tiene la capacidad de modificar la estructura de las proteínas y polisacáridos, lo que permite cambiar la textura, la funcionalidad, e incluso la apariencia de los alimentos (Ross *et al.*,

2003). Estos cambios han sido observados sistemáticamente de acuerdo a la intensidad de la presión aplicada; y dependiendo del nuevo uso de la proteína o el azúcar, los cambios pueden ser modificados como se crea conveniente. La posibilidad de contar con nuevos ingredientes para la elaboración de alimentos ha abierto un mundo diferente y exhaustivo de oportunidades en la investigación alimentaria y el desarrollo de nuevos productos. Al mismo tiempo, nuevos ingredientes están ayudando a resolver algunos problemas de calidad en productos específicos. Por ejemplo, durante el tratamiento con ultrasonido de la leche, además de la pasteurización, la cavitación, que es el principal efecto de la sonicación, es responsable de la ruptura de los glóbulos de grasa en la leche y la reorganización de la microestructura en las moléculas de la caseína y los glóbulos de grasa.

El resultado es un producto homogeneizado después del sonicado (Bermúdez-Aguirre *et al.*, 2008), evitando un paso importante (homogeneización) en la fabricación de leche por métodos convencionales. Este nuevo efecto sobre la leche puede ser "inteligentemente" utilizado en algunos productos lácteos que presenten problemas durante el almacenamiento, como el yogur, en el que la sinéresis es uno de los principales problemas de calidad. Tratando la leche con ultrasonido antes de la elaboración de yogur puede minimizar este problema.

4.2 Alimentos para misiones espaciales

Otro gran desafío en materia de ciencia y tecnología de alimentos es el procesamiento y almacenamiento de alimentos inocuos y nutritivos en misiones espaciales de larga duración, donde es requerido un almacenamiento prolongado de los alimentos. Además, para que estos alimentos sean aceptables, deben ser de volumen y masa reducidos, así como generar un mínimo de residuos. Estos alimentos también deben cumplir todos los requisitos de dieta de los

astronautas para el mantenimiento de la salud durante una misión espacial, no sólo desde la perspectiva del bienestar físico sino también para hacer frente a los posibles efectos psicológicos de dichos alimentos en los astronautas (Chen y Perchonok, 2008). Este último aspecto es importante tanto para alimentos de misiones espaciales como para raciones militares, porque los que consumen esos alimentos están fuera de casa y en condiciones difíciles durante largos períodos de tiempo. Este alimento debe ser aceptable en aspecto y contenido, y debe evocar sentimientos positivos y de comodidad, dando un claro sentido de estar cerca de casa.

El Centro Espacial Johnson de la NASA es el encargado de diseñar o seleccionar los alimentos para los astronautas. En este centro se evalúa el grado de desarrollo de nuevas tecnologías con el fin de identificar aquellas que puedan servir para los objetivos a mediano o largo plazo de la NASA; y entre ellos se destaca lograr un período de cinco años de conservación de los alimentos para las misiones a Marte.

Las tecnologías de alimentos que se utilizan actualmente son la esterilización por autoclave, la liofilización, la irradiación y la deshidratación osmótica para desarrollar alimentos de humedad intermedia. Por ejemplo, productos alimenticios termo-estabilizados, una nueva tendencia en el diseño de productos para misiones espaciales, están sustituyendo algunas de las tecnologías anteriores (Chen y Perchonok, 2008).

El estudio intensivo de algunas tecnologías no térmicas posiblemente podría ofrecer una opción viable para alimentos de misiones espaciales futuras.

Con la reciente aprobación del “Proceso Térmico combinado con Altas Presiones” (Pressure Assisted Thermal Processing) como una tecnología de esterilización, se abren nuevas fronteras para la elaboración de alimentos y el desarrollo de nuevos alimentos para su inclusión en los menús espaciales.

4.3 Raciones de combate militar

En los últimos años se han hecho inversiones importantes en el desarrollo de alimentos de alta calidad para los soldados de los Estados Unidos (Natick, 2008). Los soldados están expuestos a menudo a condiciones climáticas extremas y actividad física intensa, por lo que requieren comidas de alto contenido energético, pero además de la más alta calidad posible y, a un precio asequible.

Según Chen y Perchonok (2008), uno de los objetivos del “Department of Defense Combat Feeding Program” para el 2010 es la aplicación del uso de tecnologías no térmicas y combinadas, para la producción de raciones militares de calidad que sobrepase la existente. Las nuevas tecnologías que han sido investigados hasta la fecha por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos son la irradiación, campos eléctricos pulsados, alta presión, calentamiento óhmico, microondas, y radiofrecuencia (Cardello *et al.*, 2007). La tecnología de alta presión hidrostática será incorporada en poco tiempo para la producción de raciones militares. Esta tecnología ha demostrado resultados positivos en la elaboración de productos lácteos, frutas y hortalizas, papas, huevos, pescado y carnes. Según RDECOM (Research and Development Engineering Command) (2009), el puré de papas procesado bajo “Pressure Assisted Thermal Sterilization (PATS)” ha sido oficialmente aceptado para su incorporación como un producto MRE (meals-ready-to-eat) para uso militar. Esto es realmente un gran paso para el uso de una de las primeras tecnologías no térmicas cuya investigación sistemática comenzó hace relativamente poco tiempo.

4.4 Nuevas tecnologías para todos

Científicos de la alimentación no sólo deben centrarse en mejorar la calidad y la inocuidad de los alimentos comercializados para consumidores exigentes en los países del primer mundo, sino que también se deben preocupar por las áreas en el mundo que

sufren de hambre y pobreza. En la actualidad aproximadamente 1,3 billones de personas viven en la extrema pobreza, sobreviviendo con menos de un dólar al día, y casi 2 billones de personas viven en la pobreza o en circunstancias cerca de esta condición (ADA, 2003). La mayoría de los consumidores en los países subdesarrollados sólo pueden (o se espera que puedan) pagar el monto mínimo necesario para satisfacer sus necesidades de dieta básicas. El acceso a los alimentos es otra cuestión crítica. Según la Asociación Dietética Americana (ADA, 2003), la seguridad alimentaria está relacionada con el acceso de una persona (en un momento dado) a raciones adecuadas de alimentos seguros y nutritivos. Con el nivel actual de producción agrícola mundial, las materias primas para obtener alimentos sería suficiente para todos los habitantes de todos los continentes, y en especial para alimentar a 850 millones de habitantes con hambre. Es esencial para minimizar pérdidas, controlar los factores biológicos, químicos y físicos que generan deterioro (Marsh, 2008).

El hambre en el mundo es en gran medida otra razón para el estudio de nuevas tecnologías de procesamiento de alimentos, a un costo razonable, con el contenido de nutrientes adecuados y larga vida útil. Extendiendo la comercialización de una tecnología en lugares lejanos y de difícil acceso puede hacer una gran diferencia. Las tecnologías no térmicas no van a resolver el problema del hambre en un corto plazo. La exploración inteligente de estas tecnologías podría, sin embargo, conducir al procesamiento de alimentos altamente nutritivos con una mayor vida de almacenamiento, y de un posible envío de estos productos a lugares remotos y que dieran satisfacción a las necesidades básicas de ingesta en los países subdesarrollados.

5. Iniciativa de Armonización Global

Novedosas tecnologías no térmicas han sido investigadas en diferentes partes del mundo

con importantes resultados. Miles de referencias se pueden encontrar sobre tecnologías no térmicas, como la alta presión hidrostática, pulsos eléctricos, etc. Una amplia variedad de productos presurizados se mencionan en estas referencias, incluyendo una serie de productos regionales. Sin embargo, debido a las inconsistencias en las condiciones de procesamiento hay problemas en la comercialización de estos productos fuera de estos nichos regionales. Los problemas aparecen para todas las nuevas tecnologías no térmicas en general, cuando las condiciones utilizadas en un determinado país para satisfacer las normas sanitarias no están requeridas legalmente en otros países, lo que hace difícil y costoso el procesamiento de estos productos y casi imposible su comercialización. Además, las actividades necesarias para demostrar la seguridad de un producto específico en otro país es compleja y cara, causando retrasos en la cadena de procesamiento de alimentos (Sawyer *et al.*, 2008; Lelieveld y Keener, 2007).

Por lo tanto, independientemente del país de origen, se hace necesario implementar urgentemente un sistema de regulación global que garantice la seguridad y la calidad de los alimentos. Lelieveld y Keener (2007) señalaron que, además de un sistema de regulación global, debe haber un Consejo de Administración que regule y vigile el cumplimiento de estas normas de elaboración de alimentos. Aunque actualmente existen instituciones que regulan la elaboración de alimentos (por ejemplo, el Codex Alimentarius), las normas resultantes a menudo sólo se aplican a los países que pertenecen a organizaciones específicas. Así, la nueva normativa propuesta debe aplicarse a todos los países y mostrar claramente su validez en el exterior. Con este objetivo en mente, un Iniciativa de Armonización Global (Global Harmonization Initiative, GHI) se puso en marcha hace cinco años por la División Internacional del Instituto de Tecnólogos en Alimentos (International

Division of the Institute of Food Technologists) y la Federación Europea de Ciencia y Tecnología de Alimentos (European Federation of Food Science and Technology, EFFoST) para establecer un sistema de regulación a nivel mundial. Desde entonces, GHI ha realizado importantes contribuciones para sistematizar y uniformizar estándares de distintos países y/o regiones (Lelieveld, 2009).

6. Tecnología de barrera

A menudo el uso de nuevas tecnologías es insuficiente para alcanzar el objetivo de transformación deseada, por ejemplo, la adecuada inactivación microbiana. A veces, el uso inteligente de dos o más factores de conservación aplicadas simultáneamente, conocida como tecnología de barrera o de obstáculo, puede cumplir con los requisitos de un producto específico. El concepto de tecnología de barrera no es nuevo, factores de transformación se han combinado en el pasado para extender la vida útil de los alimentos, que incluyen pH, acidez, calor, actividad de agua y/o antimicrobianos. Actualmente, una serie de nuevas tecnologías son buenas candidatas para ser usados en combinación con estos factores de preservación. Resultados preliminares han mostrado importante extensión de la vida útil de los productos. Probablemente el mejor ejemplo es la reciente aprobación por la FDA (NCFST, 2009) de la alta presión en combinación con calor para la esterilización comercial de los alimentos en los Estados Unidos.

Otras tecnologías combinadas con calor para mejorar su eficacia son los campos eléctricos pulsados y ultrasonido. En ambos casos, el calor se utiliza para debilitar las células durante el proceso y aumentar el efecto letal contra las bacterias. En particular, ultrasonido ha sido probado en tres combinaciones diferentes: con calor (termo-sonicación), presión (manosonicación), y combinación de los factores sonido, calor y presión

(manotermosonicación); estas combinaciones han sido efectivos en la inactivación microbiana y enzimática (Knorr *et al.*, 2002). Claramente el uso de procesos no térmicos en tecnología de obstáculos requiere encontrar la combinación adecuada de los factores de conservación. En la actualidad, los mecanismos observados de inactivación celular con tecnologías no térmicas no son tan claros. Conocer más acerca de este tema ayudará a determinar las combinaciones más adecuadas de los factores de conservación necesarias para lograr una mayor inactivación y efectos más letales contra las bacterias.

Comentarios finales

El ámbito de las tecnologías no térmicas es un vasto mundo de oportunidades para la transformación y conservación de los alimentos con excelente calidad. Actualmente hay muchos desafíos que enfrentan los científicos de alimentos, específicamente las relacionadas con las tecnologías no térmicas, aunque ya varios de ellos han sido probados con éxito en la inactivación microbiana. Sin embargo, los aspectos relacionados con los mecanismos de inactivación celular y mejoras en los procesos y equipos no térmicos se encuentran entre las prioridades que deben abordarse en los próximos años. Actualmente, los científicos y los ingenieros de alimentos en todo el mundo están dedicando mucho tiempo a investigar la mayoría de estos aspectos. Otras necesidades en la investigación siguen siendo, por ejemplo, aspectos relacionados con la inactivación de esporas y el uso de nuevas tecnologías que inactiven efectivamente células vegetativas. Los resultados podrían ser similares a los alcanzados con alta presión, que trajo consigo la reciente aprobación de la tecnología PATS.

Además, para comprobar si la aplicación de la energía generada por una tecnología no térmica es suficiente para inactivar los microorganismos y para preservar el contenido nutricional de los alimentos se deben evaluar varias características

relacionadas a los aspectos toxicológicos de los nuevos productos. Una tecnología no térmica no debe ser responsable de la creación de compuestos indeseables o sustancias tóxicas que puedan ser perjudiciales para los consumidores. Los investigadores y tecnólogos de alimentos que impulsan una determinada tecnología emergente desde el laboratorio a la aprobación regulatoria, y luego a la comercialización, deben asegurarse que los alimentos proporcionarán a los consumidores productos de características sobresalientes.

Referencias

- American Dietetic Association (ADA).2003. Position of the American Dietetic Association: Addressing world hunger, malnutrition and food insecurity. *Journal of the American Dietetic Association*, 103(8): 1046-1057.
- Aragao, G.M.F.; Corradini, M.G.; Normand, M.D.; Peleg, M. 2007. Evaluation of the Weibull and log-normal distribution functions as survival models of *Escherichia coli* under isothermal and non-isothermal conditions. *International Journal of Food Microbiology*, 119: 243-257.
- Bendicho, S.; Barbosa-Cánovas, G.V.; Martín, O. 2002. Milk processing by high intensity pulsed electric fields. *Trends in Food Science and Technology*, 13: 195-2004.
- Bolado-Rodríguez, S.; Góngora-Nieto, M.M.; Pothakamury, U.; Barbosa-Cánovas, G.V.; Swanson, B.G. 2000. A review of nonthermal technologies. In: Lozano J., Añón M.C.; Parada E.; Barbosa-Cánovas G.V. *Trends in Food Engineering*, Lancaster, PA, Technomic Publishing.
- Bermúdez-Aguirre, D.; Mawson, R.; Barbosa-Cánovas, G.V. 2008. Microstructure of fat globules in whole milk after thermo-sonication treatments. *Journal of Food Science*, 73(7): E325-E332.
- Bermúdez-Aguirre, D.; Mawson, R.; Versteeg, K.; Barbosa-Cánovas, G.V. 2009. Composition parameters, physical-chemical characteristics and shelf-life of whole milk after thermal and thermo-sonication treatments. *Journal of Food Quality*, 32: 283-302.
- Cardello, A.V.; Schutz, H.G.; Lesher, L.L. 2007. Consumer perceptions of foods processed by innovative and emerging technologies: A conjoint analytic study. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8: 73-83.
- Chen, H.; Perchonok, M. 2008. US Governmental Interagency Programs, Opportunities and Collaboration. *Food Science and Technology International*, 14(5): 447-453.
- Corradini, M.G.; Normand, M.D.; Peleg, M. 2008. Prediction of an organism's inactivation patterns from three single survival ratios determined at the end of three non-isothermal heat treatments. *International Journal of Food Microbiology*, 126: 98-111.
- Corradini, M.G.; Normand, M.D.; Peleg, M. 2007. Modeling non-isothermal heat inactivation of microorganisms having biphasic isothermal survival curves. *International Journal of Food Microbiology*, 116: 391-399.
- Corradini, M.G.; Peleg, M. 2007. A Weibullian model of microbial injury and mortality. *International Journal of Food Microbiology*, 119: 319-329.
- Corradini, M.G.; Normand, M.D.; Peleg, M. 2006. On expressing the equivalence of non-isothermal and isothermal heat sterilization processes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86: 785-792.
- Corradini, M.G.; Normand, M.D.; Peleg, M. 2005. Calculating the efficacy of heat sterilization processes. *Journal of Food Engineering*, 67: 59-69.
- Corradini, M.G.; Peleg, M. 2004. Demonstration of the Weibull-Log logistic survival model's applicability to non isothermal inactivation of *E. coli* K12 MG1655. *Journal of Food Protection*, 67: 2617-2621.
- Evans, G.; Cox, D.N. 2006. Australian consumers' antecedents of attitudes towards foods produced by novel technologies. *British Food Journal*, 108(11): 916-930.
- Garde-Cerdán, T.; Arias-Gil, M.; Marsellés-Fontanet, A.R.; Ancín-Azpilicueta, C.; Martín-Belloso, O. 2007. Effects of thermal and non-thermal processing treatments on fatty acids and free amino acids of grape juice. *Food Control*, 18: 473-479.
- Kempkes, M. 2008. Personal communication. Pullman WA.
- Knorr, D.; Ade-Omowaye, B.I.O.; Heinz, V. 2002. Nutritional improvement of plant foods by non-thermal processing. *Proceedings of the Nutrition Society*, 61: 311-318.
- Lelieveld, H. 2009. Progress with the global harmonization initiative. *Trends in Food Science and Technology*, 20: S82-S84.
- Lelieveld, H.; Keener, L. 2007. Global harmonization of food regulations and legislation – the Global Harmonization Initiative. *Trends in Food Science and Technology*, 18: S15-S19.
- Marsh, K.S. 2008. A call to action on world hunger. *Food Technology*, 62(3): 128.
- Mermelstein, N.H. 2001. High-Temperature, Short-Time Processing. *Food Technology*, 55(6): 65-66, 68, 70, 78.
- Molins, R.A. 2001. Introduction, In: Molins R.A., *Food Irradiation: Principles and Applications*, New York, John Wiley & Sons, Inc., 1-21.
- Morehouse, K.M.; Komolprasert, V. 2004. Irradiation of food and packaging: an overview, In: Komolprasert V.; Morehouse K.M., *Irradiation of food and packaging*, Washington, D.C., American Chemical Society, 1-11.
- Natick. 2008. Operational Rations of the Department of Defense. RDECOM. 8th edition. US Army Natick Soldier RD&E Center.
- National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Foods (NACMCF). 2006. Requisite Scientific Parameters for Establishing the Equivalence of Alternative Methods of Pasteurization. *Journal of Food Protection*, 69(5): 1190-1216.
- National Center for Food Safety and Technology (NCFST). 2009. Receives regulatory acceptance of novel food sterilization process. Press release, February 27, 2009. Summit-Argo, IL.
- Peleg, M.; Normand, M.D.; Corradini, M.G. 2008. Interactive software for estimating the efficacy of non-isothermal heat preservation processes. *International Journal of Food Microbiology*, 126: 250-257.

- Penna, A.L.B.; Gurram, S.; Barbosa-Cánovas, G.V. 2007. High hydrostatic pressure processing on microstructure of probiotic low-fat yogurt. *Food Research International*, 40 (4): 510-519.
- RDECOM. 2009. High Pressure Processing (HPP). US Army Natick, Soldier RD&E Center.
- 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.
- San Martín-González, M.F.; Rodríguez, J.J.; Gurram, S.; Clark, S.; Swanson, B.G.; Barbosa-Cánovas, G.V. 2007. Yield, composition and rheological characteristics of cheddar cheese made with high pressure processed milk. *LWT – Food Science and Technology*, 40(4): 697-705.
- Sawyer, E.N.; Kerr, W.A.; Hobbs, J.E. 2008. Consumer preferences and international harmonization of organic standards. *Food Policy*, 33: 607-615.
- Smith-Simpson S.; Corradini, M.G.; Normand, M.D.; Peleg, M.; Schaffner, D.W. 2007. Estimating microbial growth parameters from non-isothermal data: A case study with *Clostridium perfringens*. *International Journal of Food microbiology*, 118: 294-303.
- Teixeira, A.A.; Tucker, G.S. 1997. On-line retort control in thermal sterilization of canned food. *Food Control*, 8(1): 13-20.
- Tiwari, B.K.; O'Donnell, C.P.; Cullen, P.J. 2009. Effect of nonthermal processing technologies on the anthocyanin content of fruit juices. *Trends in Food Science and Technology*, 20(3-4): 137-145.
- Wan, J.; Coventry, J.; Swiergon, P.; Sanguansri, P.; Versteeg, C. 2009. Advances in innovative processing technologies for microbial inactivation and enhancement of food safety – pulsed electric field and low-temperature plasma. *Trends in Food Science and Technology*, 20(9): 414-424.