



Facultad de Veterinaria
Universidad Zaragoza



Trabajo Fin de

Autor/es

Director/es

Facultad de Veterinaria

ÍNDICE

1. Resumen	3
2. Introducción	5
3. Justificación y objetivos	8
4. Metodología	8
5. Discusión y resultados	9
5.1 Descripción del procesado de los alimentos por altas presiones hidrostáticas	9
5.2 Evolución histórica	9
5.3 Principios físicos involucrados en el procesado de los alimentos por altas presiones hidrostáticas.	11
5.4 Efectos de las altas presiones sobre el agua	11
5.5 Efectos de las altas presiones hidrostáticas sobre los enlaces moleculares	12
5.6 Efectos de las altas presiones hidrostáticas sobre los agentes de alteración y patógenos .	13
5.6.1 Microorganismos.	13
5.6.2 Enzimas.	17
5.7 Efectos de las altas presiones hidrostáticas sobre los componentes y características organolépticas de los alimentos	19
5.7.1 Carbohidratos.	19
5.7.2 Proteínas	19
5.7.3 Vitaminas.	20
5.7.4 Lípidos	20
5.8 Efectos de las altas presiones hidrostáticas en las propiedades sensoriales de los alimentos	21
5.9 Equipos de procesado	21
5.10 Aplicaciones de las altas presiones hidrostáticas en la industria alimentaria	24
5.11 Aspectos legales.	27
6. Conclusiones	29
7. Valoración personal.	31
8. Bibliografía	31

1. RESUMEN

Los nuevos hábitos de consumo y la demanda por parte del consumidor de alimentos con unas características similares a las de los alimentos frescos, impulsan a la industria alimentaria a buscar nuevas técnicas de procesado de alimentos. Entre estas, hay que destacar aquellas cuyos efectos sobre los alimentos son similares a los de un tratamiento térmico, pero reduciendo la temperatura de procesado.

El procesado por altas presiones hidrostáticas (APH) consiste en someter un alimento, sumergido en un medio líquido, a presiones de hasta 600 MPa durante un determinado período de tiempo. Estos tratamientos inactivan las formas vegetativas de los microorganismos patógenos y alterantes, sin aumentar la temperatura de los alimentos significativamente. También puede utilizarse para provocar cambios en la estructura de los alimentos como la gelificación de las proteínas, pudiéndose conseguir alimentos con texturas diferentes a los obtenidos por calor.

Actualmente existen más de 300 equipos de tratamiento en la industria alimentaria y se estima que se procesan más de 250000 tn de alimentos mediante esta tecnología. Las principales aplicaciones de las APH son la pasteurización de productos vegetales sensibles a tratamientos térmicos, como zumos de fruta, la pasteurización de productos cárnicos loncheados tras su envasado y el procesado de crustáceos y mariscos para reducir su contaminación microbiana y favorecer la separación del tejido muscular de las valvas o el caparazón.

El objeto de este trabajo es hacer una revisión bibliográfica de las principales aplicaciones de esta nueva tecnología de procesado en la industria alimentaria, haciendo hincapié en los aspectos legislativos y de seguridad alimentaria que se aplican a los alimentos procesados por las APH.

Para esta revisión se realizará una búsqueda bibliográfica de las principales revisiones científicas sobre el tema, así como de documentos relacionados con la tecnología publicados por las agencias reguladoras españolas y europeas.

ABSTRACT

“Applications of high hydrostatic pressures for food processing and preservation”

New consumer habits and consumer demand for foods with characteristics closer to those of fresh foods have prompted the food industry to seek new food processing techniques. These techniques include those whose effects on food are similar to those achieved with a heat treatment but reducing the processing temperature.

High Pressure Processing (HPP) involves applying pressures up to 600 MPa for a given period of time to a food submerged in a liquid medium. These treatments are able to inactivate the vegetative forms of the pathogenic and spoiling microorganisms without increasing the food temperature significantly. In addition it can be used to provoke changes in the structure of foods such as the gelation of proteins being able to obtain foods with textures different from those obtained with the heat gelation.

Nowadays there are more than 300 treatment equipment in the food industry and it is estimated that more than 250,000 tons of food are processed using this new technology. The main applications of HPP are the pasteurization of heat-sensitive vegetable products such as fruit juices, the pasteurization of sliced meat products after packaging and the processing of crustaceans and shellfish to reduce their microbial contamination and help the separation of muscle tissue of the leaflets or shell.

The objective of this work is to make a bibliographical review of the main applications of this new technology of processing in the food industry emphasizing the legislative and food safety aspects that are applied to the foods processed by the HPP.

In order to carry out this review, a bibliographical search of the main scientific reviews made on the subject as well as the documents related to the technology published by the Spanish and European regulatory agencies will be carried out.

2. INTRODUCCIÓN

La naturaleza perecedera de los alimentos, ha provocado que la conservación de los mismos sea una práctica que se remonta a los mismos orígenes del hombre con objeto de garantizar su supervivencia.

En el paleolítico, el hombre recolector y cazador empieza a conservar los alimentos sirviéndose de la naturaleza. La congelación es quizá el más antiguo de los métodos de conservación, siendo utilizado por los hombres primitivos desde las glaciaciones.

El descubrimiento y manejo del fuego fue un hecho de enorme trascendencia para la historia de la humanidad ya que, además de marcar para siempre diferencias entre los hábitos alimentarios del hombre y los del resto de las especies animales, sentó las bases de algunos métodos de conservación y procesado de los alimentos que han perdurado hasta nuestros días como la desecación, el ahumado o la modificación del aroma y la textura de los alimentos por el cocinado.

El secado se remonta al año 12000 AC, donde las culturas asentadas en las zonas más áridas y soleadas se servían del sol para secar los alimentos y conservarlos por más tiempo.

Con el desarrollo de la agricultura y la ganadería en el neolítico, hace 10000 años, aparece la necesidad de almacenar todo lo producido en una época concreta para ser consumido durante el resto del año (Thorne, 1996).

Los primeros registros históricos sobre la conservación de los alimentos por el hombre se corresponden a las civilizaciones mesopotámicas y egipcias. Las escenas de la vida cotidiana representadas en las tumbas y los restos arqueológicos hallados, han permitido conocer que la civilización egipcia ya conocía tecnologías alimentarias relativamente complejas como la elaboración de pan, vino, cerveza, aceite, queso y otros productos lácteos fermentados.

Las civilizaciones griega y romana heredaron los avances tecnológicos desarrollados en las culturas precedentes y desarrollaron otros nuevos. La civilización griega ya utilizaba habitualmente algunas especias como la cebolla, el ajo, la mostaza, la albahaca y el tomillo y en su dieta había numerosos alimentos elaborados como jamón, salchicha de cerdo, queso, pescado en salazón, cerveza, vinagre y vino. En el Imperio Romano se dio una gran importancia a la agricultura y a la ganadería, pero también a la conservación y elaboración de alimentos, ya que el abastecimiento de la ciudad de Roma, con un millón de habitantes, supuso un reto muy importante para el Imperio Romano. El vinagre y la salmuera se utilizaron de forma habitual para conservar distintos tipos de alimentos, especialmente el pescado, el cual, no sólo se utilizaba para su consumo directo, sino que a partir de él se elaboraban a gran escala distintos tipos de salsas (garum). Además utilizaban otros productos líquidos para conservar diferentes frutas como: soluciones de cera de abeja en agua, miel, vino o mosto. Además, una práctica habitual en esta época fue la conservación de los alimentos en refrigeración mediante hielo que traían de las montañas y que almacenaban en cuevas naturales o excavadas con este propósito (Thorne, 1996).

Durante la edad media y el descubrimiento de América se extiende el uso de especias, los confitados, mermeladas almíbares, usando el azúcar para bajar la "actividad de agua" (a_w) del alimento.

Durante los siglos XVIII y XIX empieza una auténtica revolución en los métodos de conservación. Aunque existen evidencias del uso del calor para la conservación del vino en la china del siglo XII, fue Nicolás Appert quien patentó en 1810 el primer método para conservar los alimentos, que consistía en introducir los alimentos en botellas de vidrio grueso y cuello ancho y tratarlas por el calor a temperaturas de alrededor de 70°C (Bender, 2016)

Tras la invención de la lata metálica y su producción masiva, la conservación por calor fue extendiéndose a numerosos alimentos. Sin embargo, no fue hasta 1857 cuando Pasteur relacionó por primera vez los tratamientos por calor, con la inactivación de microorganismos y con el aumento de la vida útil de los alimentos (Featherstone, 2012).

El descubrimiento entre 1906 y 1916 de las primeras vitaminas aumentó el interés por el valor nutritivo de los alimentos y la influencia sobre éste de los procesos tecnológicos. El descubrimiento por Esselen, en la década de los años 40, del orden logarítmico de destrucción de las vitaminas por el calor y de la distinta respuesta de éstas a los incrementos de temperatura puso de manifiesto la necesidad de reducir la duración de los tratamientos aumentando la temperatura, sentando así las bases para el desarrollo de métodos de esterilización a alta temperatura durante corto período de tiempo (HTST-High Temperature Short Time y UHT-Ultra High Temperature) que actualmente se aplican a la mayoría de los alimentos líquidos (Calvo, 2005).

Los avances que se produjeron en la física e ingeniería a lo largo del siglo XIX contribuyeron al desarrollo de distintos procesos como la producción industrial de frío que supuso un avance crucial en la conservación de los alimentos por bajas temperaturas. Como se ha indicado anteriormente, la utilización de nieve y hielo para la refrigeración de alimentos ya era una práctica habitual durante el imperio romano. Sin embargo, hasta que a finales del XIX Carl von Lynde inventó la máquina de refrigeración constituida por un compresor de amoníaco movido por una máquina de vapor, el uso de este sistema de conservación no se empezó a generalizar. Inicialmente los sistemas de refrigeración se fabricaron a escala industrial para el transporte y almacenamiento de alimentos. En 1876, el barco “Le Frigorifique” cruzó el Atlántico desde Argentina con un cargamento de carne congelada. En pocos años, los buques equipados con cámaras frigoríficas comenzaron a transportar hacia Europa enormes cantidades de carne congelada procedentes de Sudamérica y Australia (Gavroglu, 2014).

En los últimos 50 años, se han producido importantísimos avances que han permitido mejorar sustancialmente la calidad de los alimentos conservados por el frío, pero, sin duda, los más importantes han sido la posibilidad de almacenar los alimentos en refrigeración o congelación a escala doméstica, lo que permite que la cadena de frío se extienda desde la producción hasta el consumo, y la combinación del frío con las atmósferas controladas y modificadas que permite alargar considerablemente la vida útil de los alimentos refrigerados.

Paralelamente al desarrollo de los sistemas de conservación calor y frío, la conservación de los alimentos por deshidratación comenzó a experimentar cambios importantes. A finales del siglo XVIII, en los

talleres de Masson y Chaillet (París, Francia), se puso a punto el primer deshidratador industrial. Posteriormente, a mediados del siglo XIX, se patentaron nuevos sistemas de deshidratación y concentración por evaporación a presión reducida que permitieron el desarrollo de productos como la leche condensada y la leche deshidratada (Thorne, 1996). A lo largo del siglo XX, se produjeron importantes avances en la conservación de los alimentos por eliminación de agua y en el conocimiento científico sobre los mecanismos íntimos de interacción entre el agua y los componentes de los alimentos, introduciéndose el concepto de “actividad de agua” (a_w). La puesta a punto de nuevos métodos, que no requieren cambio de estado (ósmosis inversa y ultrafiltración) para la reducción del contenido en agua de algunos alimentos líquidos, y las mejoras introducidas en los métodos tradicionales junto con el desarrollo de la liofilización han permitido mejorar considerablemente la calidad de los alimentos.

Los métodos de conservación utilizados por la industria alimentaria se pueden clasificar en dos grupos, como muestra la *Tabla 1*, en función de sus objetivos. La mayoría de los métodos están basados en impedir la multiplicación de los microorganismos en los alimentos, el principal inconveniente es que no mejoran la calidad microbiológica de estos. En el caso de que las condiciones de conservación no se mantengan durante el almacenamiento (rotura de la cadena de frío, rehidratación de un alimentos deshidratado) los microorganismos que tenían inhibido su crecimiento pueden empezar a crecer y multiplicarse y como consecuencia el alimento se puede alterar o incluso ser peligroso para el consumidor si estaba contaminado con flora patógena.

	Bajas temperaturas	Refrigeración
	Control a_w	Congelación
Reducción del metabolismo microbiano y/o actividad enzimática	Atmósfera modificada	
	Fermentación / Acidificación	
	Conservantes químicos	
Inactivación de microorganismo enzimas	Calor	Pasteurización
		Esterilización

TABLA 1: Clasificación de los métodos de conservación de los alimentos

El calor es el principal método de conservación de los alimentos basado en la inactivación microbiana. Su aplicación a la intensidad adecuada permite la obtención de alimentos libres de microorganismos y por tanto estables y seguros. Sin embargo, la existencia de microorganismos extraordinariamente resistentes al calor obliga a la aplicación de tratamientos térmicos muy severos que alteran de forma importante las características sensoriales y nutritivas de los alimentos. Por ello, en los últimos años se han buscado técnicas de conservación que al igual que el calor provoquen la inactivación microbiana pero sin aumentar sensiblemente la temperatura de los alimentos. Entre estas técnicas se encuentran las altas presiones hidrostáticas.

3. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Como consecuencia de los grandes avances que se han producido en el campo de la Ciencia y Tecnología de los Alimentos, particularmente desde la segunda mitad del siglo pasado, en la actualidad, en los países desarrollados la población dispone en general de una gran variedad de alimentos con buenas propiedades sensoriales y nutritivas y seguros a unos costes asequibles. A pesar de ello, la industria alimentaria, al igual que cualquier otro sector industrial, para mantener su competitividad tiene que seguir innovado. El motor que mueve a la industria alimentaria a la innovación son las demandas del consumidor que por distintas razones cambian a lo largo del tiempo. En la actualidad, los consumidores demandan alimentos mínimamente procesados con unas características similares a las del producto fresco pero a la vez seguros y estables. Para conseguir estos objetivos uno de los grandes retos de la industria alimentaria en los últimos años es encontrar sistemas de conservación de los alimentos capaces de inactivar microorganismos al igual que los tratamientos térmicos pero sin aumentar la temperatura de los alimentos evitando de este modo los efectos adversos del calor. Una de estas tecnologías son las Altas Presiones hidrostáticas (APH).

El objetivo de este trabajo es hacer una revisión sobre la tecnología de las APH debido a que aunque cada vez están apareciendo en el mercado más productos procesados por ella, se trata de una tecnología novedosa poco conocida no solo por los consumidores sino también por los profesionales de la administración responsables de realizar la inspección de los alimentos. Además de describirse las características de este nuevo proceso y sus aplicaciones en la industria alimentaria se realizará especial hincapié en las normativas legales que regulan la comercialización de los alimentos procesados por APH.

4. METODOLOGÍA

Para la realización de esta revisión bibliográfica se han utilizado las bases de datos como Web of Science y Sciencedirect para disponer de artículos científicos y revisiones científicas sobre el tema. También se han utilizado capítulos de libros sobre nuevas tecnologías de procesado y artículos de divulgación dirigidos a la empresa alimentaria.

5. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

5.1 Descripción del procesado de los alimentos por altas presiones hidrostáticas

El procesado de los alimentos por altas presiones consiste en someter a los alimentos a presiones en el rango de 100 a 800 Mpa (1000-8000 atm aproximadamente) durante un período de tiempo comprendido entre los 3 y 30 minutos. La presión se transmite al alimento envasado en un recipiente flexible a través de un fluido. En las aplicaciones industriales, las elevadas presiones requeridas se generan introduciendo líquido, generalmente agua, en la cámara de tratamiento mediante bombas especiales capaces de trabajar en estas condiciones extremas. El tratamiento por APH presenta las ventajas de que la presión ejercida en el interior de la cámara es exactamente la misma en todos los puntos lo que garantiza la homogeneidad del tratamiento y que una vez alcanzada la presión de trabajo no se requiere más energía para mantener las condiciones de tratamiento (Figura 1).



Figura 1.- Esquema de un ciclo de procesado por APH (Hiperbaric, 2012)

Como se describirá a continuación estos tratamientos son capaces de inactivar microorganismos y enzimas y producir cambios deseables en la estructura de los alimentos sin aumentar sensiblemente su temperatura.

5.2 Evolución histórica

Los comienzos del procesado de los alimentos por APH se remontan a finales del siglo XIX. Hite en 1899 aplicó altas presiones para mejorar la calidad de la leche (The effect of pressure in the preservation of milk). Sus investigaciones demostraron que la leche sometida a altas presiones (450 MPa o mayores) mantenía por más tiempo sus propiedades. Sin embargo, estos primeros métodos de procesado por APH no eran viables a nivel comercial ni aseguraban siempre la completa esterilización de la leche.

En 1914 Hite et al. describieron el mismo proceso en otros alimentos, como frutas, zumos, etc., observando que algunos microorganismos eran más susceptibles al tratamiento, como las levaduras y bacterias lácticas presentes en la fruta madura. Sin embargo, otros no eran tan susceptibles a las APH probablemente debido a su capacidad para esporular.

En la década de los 70 se retomó el estudio de las altas presiones, después de que se demostrara que presiones moderadas eran más efectivas frente a esporos que las elevadísimas presiones que se usaron en los estudios de Hite. Esto es debido a que presiones moderadas provocan la germinación de los esporos, los esporos germinados se transforman en las formas vegetativas de los microorganismos que son mucho más fáciles de inactivar mediante presión o calor. Sin embargo, no todos los esporos eran capaces de

germinar a estas presiones. La presencia de estos esporos latentes tras el tratamiento impide que esta técnica pueda utilizarse para esterilizar los alimentos, así que algunos quedaban sin inactivar.

En los 80 se hicieron progresos en la fabricación de maquinaria capaz de procesar grandes cantidades de alimento, lo que facilitó la aparición de los primeros alimentos procesados con APH en la década de los 90. En 1991, en Japón se comercializaron los primeros alimentos procesados mediante altas presiones, en 1994 en Francia se comercializó el primer zumo tratado con alta presión, y en 1997 se comercializa salsa de guacamole en Estados Unidos tratado APH. En todos los casos los volúmenes de procesado eran muy pequeños, sin pasar de los 50L. Sin embargo, en 1998 se comercializa en España el jamón cocido loncheado tratado con altas presiones, utilizando un equipo con un volumen de 320L.

A principios del siglo XXI se descubre que este procesado puede separar fácilmente la carne de la cáscara de bivalvos y crustáceos, abriendo la puerta a nuevas aplicaciones de esta técnica.

Comparado con los sistemas de hoy en día el modelo de Hite es completamente primitivo, pero gracias a los avances tecnológicos, informáticos y el uso de nuevos materiales en la fabricación de equipos, hacen que esta técnica sea viable para el tratamiento de alimentos a gran escala.

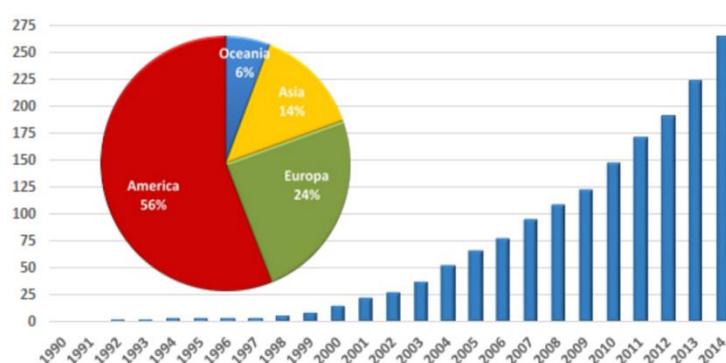


Figura 2.- Evolución histórica del número de equipos de procesado y su distribución por continentes (Elamin et al., 2015)

A pesar de ser, a priori, un método de conservación conocido desde el siglo XIX y tener aplicaciones muy interesantes en la industria alimentaria, no ha sido hasta la década de los 90 que esta técnica ha ganado popularidad como método alternativo a tratamientos con calor.

Desde mediados de los 90 hasta 2014, el aumento de procesado de alimentos con altas presiones ha sido exponencial, así como el número de equipos en uso en el mundo, sobrepasando los 250 equipos en 2014, siendo América y Europa los principales productores de alimentos procesados por esta tecnología (Figura 2).

A nivel de productos procesados, la carne y los vegetales son los más producidos, ambos ocupan un 27% de la producción mundial, seguidos de zumos con un 14% y marisco y pescado con un 12% en 2015 (Figura 3).

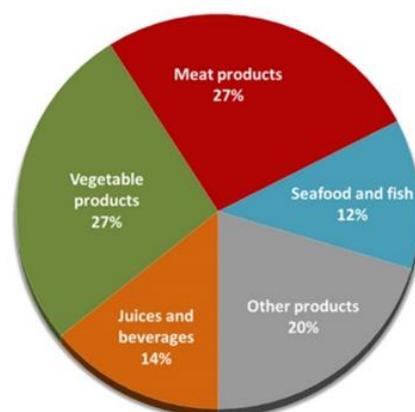


Figura 3.- Alimentos comerciales procesados por APH (Elamin et al., 2015)

Actualmente en el mundo existen alrededor de 100 empresas que trabajan con altas presiones y producen un volumen aproximado de 250.000 toneladas de alimentos al año.

5.3 Principios físicos involucrados en el procesamiento de los alimentos por altas presiones hidrostáticas

El término altas presiones se refiere a presiones comprendidas entre 100 MPa y 1000 MPa, siendo 1 MPa equivalente a 9,869 atmósferas, 10 bar o 10,2Kg/cm². Como el medio de transmisión de la presión es un líquido, generalmente agua, nos referiremos al tratamiento como altas presiones hidrostáticas.

Hay dos principios físicos que tienen una relevancia directa en el procesamiento de alimentos con altas presiones.

El **Principio de Le Chatelier**, establece que cuando un sistema en equilibrio se altera, este tiende a reaccionar minimizando la alteración. En el caso del tratamiento por altas presiones, el sistema se verá sometido a mucha presión, y esto hará que para minimizar ésta, se vean favorecidas las reacciones que resulten en un descenso del volumen y se vean perjudicadas aquellas reacciones que resulten en un aumento del volumen. De modo que cualquier fenómeno que vaya acompañado de un descenso del volumen será favorecido cuando el sistema se someta a presión.

El **Principio de Pascal** establece que un incremento de presión aplicado sobre la superficie de un fluido incompresible (o de baja compresibilidad como en el caso del agua) se transmite instantáneamente y de forma uniforme sobre un cuerpo cuando este se encuentra en contacto directo con el medio de presión o se encuentra sellado herméticamente en un recipiente que transmite la presión. De este modo, la presión se transmite de forma uniforme, es decir isostática, y de manera casi instantánea sobre la muestra. Así pues el tiempo y la presión de tratamiento serán independientes del tamaño, forma y composición del alimento. Esto evita que el alimento se deforme, a pesar de estar sometido a presiones tan elevadas, ya que la presión es uniforme en toda la superficie, y hace que el tratamiento sea muy homogéneo, sin presentar zonas sobretratadas al contrario que en los tratamientos por calor (*Figura 4*).

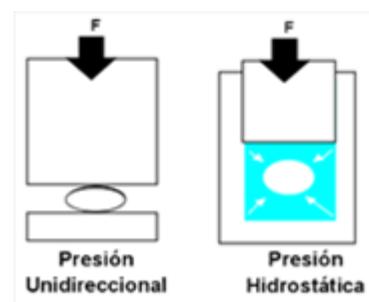


Figura 4.- Comparación de una presión unidireccional y una presión hidrostática. (Raso, 2016)

5.4 Efectos de las altas presiones sobre el agua

El agua es el componente mayoritario de muchos alimentos, y tiene un papel muy importante en todas las reacciones bioquímicas en los alimentos, actuando como solvente universal. El agua tiene unas propiedades únicas que la hacen una molécula anómala, ya que son muy diferentes a las de moléculas similares. Estas propiedades se deben a su capacidad de formar entre sí enlaces puente de hidrógeno. Cada molécula es capaz de formar cuatro enlaces por puente de hidrógeno con las moléculas adyacentes.

Las propiedades del agua pueden cambiar si aumenta la presión significativamente y se mantiene la temperatura constante.

El volumen del agua disminuye conforme aumenta la presión, del orden del 4% cuando la presión es de 100 MPa, 7% a 200 MPa, 11,55% a 400 MPa y 15% a 600 MPa. Esta baja compresibilidad comparada con otros materiales hace que el agua sea un buen medio de transmisión de la presión en los procesos por altas presiones.

La compresibilidad del agua es un proceso adiabático, es decir, que el agua al comprimirse experimentará un incremento de temperatura. Aproximadamente este incremento es de entre 2° y 3°C por cada 100 MPa más de presión. El aumento depende de la temperatura inicial del agua y de la velocidad de la compresión. Cuando se libera la presión, la temperatura disminuirá hasta llegar a la previa al tratamiento (Cheftel y Culioli, 1997).

Las altas presiones causan también disociaciones iónicas en las moléculas de agua que provocan un descenso del pH (Cheftel, 1995). Cuando el agua se somete a presión, el pH puede variar de 7 a 6,27 al aumentar de 0,1 MPa a 1000 MPa.

A presión atmosférica el agua cristaliza a 0°C. Sin embargo, la presión afecta a la temperatura a la que se produce el cambio de fase de modo que por ejemplo el agua se mantiene en estado líquido a -22°C cuando se somete a 210 MPa (Figura 5). El descenso de la temperatura a -20°C de un alimento sometido a presiones superiores a 200 MPa y la posterior descompresión provoca la congelación instantánea del alimento obteniéndose cristales mucho más pequeños que los que se obtienen a presiones atmosféricas con métodos convencionales de congelación. Esto hace que el proceso de congelación de los alimentos sea menos agresivo, ya que los cristales de menor tamaño formados bajo presión, dañan menos las estructuras de los alimentos, mejorando su textura y jugosidad al descongelarlo (Cheftel y Culioli, 1997). Otra de las aplicaciones sería la descongelación bajo presión, que sería más uniforme y rápida (Figura 5).

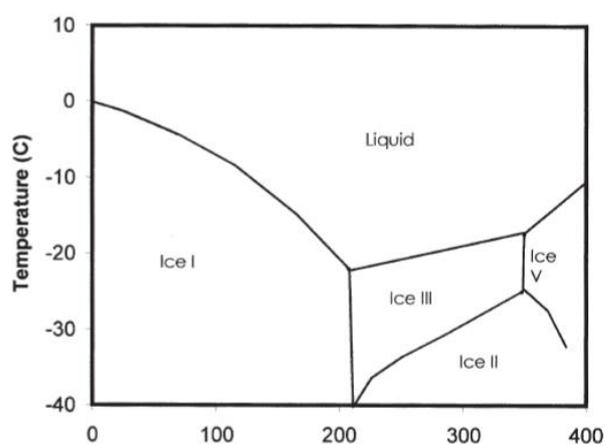


Figura 5.- Efecto de la presión en el punto de congelación del agua (San Martín et al., 2002)

5.5 Efectos de las altas presiones hidrostáticas sobre los enlaces moleculares

Tanto los enlaces intramoleculares, como los enlaces intermoleculares se pueden afectar por las APH. Los enlaces covalentes muestran muy baja compresibilidad y se ven prácticamente inalterados a las presiones que se usan convencionalmente en la industria. Sólo se afectan cuando las presiones son superiores a 1000 MPa, muy superior a los tratamientos convencionales (Tauscher, 1995). Así que las biomoléculas de bajo peso molecular, generalmente implicadas en las características sensoriales y nutritivas de los alimentos, se verán muy poco afectadas por las altas presiones.

Según el principio de Le Chatelier al aumentar la presión, el equilibrio se desplazará hacia reacciones que reduzcan el volumen del sistema, así que los enlaces por puente de hidrógeno y las interacciones iónicas e hidrofóbicas que van acompañadas de una restricción de volumen se afectan por los tratamientos de APH.

5.6 Efectos de las altas presiones hidrostáticas sobre los agentes de alteración y patógenos

5.6.1 Microorganismos

Para determinar la efectividad de un método de conservación, es prioritario evaluar su capacidad de eliminar los microorganismos patógenos y alterantes presentes en el alimento, para garantizar su seguridad y alargar su vida útil (McClements et al., 2001).

El crecimiento de microorganismos en los alimentos produce alteraciones en sabores, aroma, apariencia y textura que los hacen inaceptables, así como en el caso de microorganismos patógenos su crecimiento puede afectar a la inocuidad de estos.

Los microorganismos son un grupo muy heterogéneo de organismos capaces de crecer en amplísimos rangos de temperatura. Del mismo modo que con tratamientos basados en calor, los microorganismos resisten de forma diferente la presión según la especie y la cepa. Como se muestra en la *Tabla 2*.

Bacterias

Las bacterias son células procariotas, y son uno de los principales microorganismos causantes de alteración y pérdida de inocuidad en los alimentos. Dentro de las bacterias patógenas las causantes de más toxiinfecciones alimentarias son *Campylobacter* spp., *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*. Las más estudiadas en tratamientos de altas presiones son *Escherichia coli* y *Vibrio* spp..

Listeria monocytogenes es un bacilo gram positivo importante en alimentos listos para consumir, necesita ser controlada por su capacidad para crecer en los alimentos, de crecer en refrigeración, en condiciones de anaerobiosis y su moderada termorresistencia. *Staphylococcus aureus* tiene cierta resistencia a la presión. *E. coli* O157:H7 también tiene una alta resistencia a la presión y es considerado un importante patógeno que puede causar severas toxiinfecciones (Linton, 2000). Las bacterias son más resistentes a la presión que los microorganismos eucariotas (mohos y levaduras), aunque las esporas de algunos mohos como *Byssochlamys* y *Talaromyces* pueden ser extremadamente resistentes a la presión (Smelt, 1998).

El efecto de las APH sobre los microorganismos depende de las variables del tratamiento tales como el tiempo, la presión y la temperatura, así como de la composición del alimento, y tipo de microorganismos involucrados (Sangronis et al., 1997).

Microorganism	Substrate	Treatment conditions	Inactivation (\log_{10} units of reduction)
Vegetative bacteria			
<i>Campylobacter jejuni</i>	Pork slurry	300 MPa, 10 min, 25 °C	6
	Poultry puree	400 MPa, 10 min, 25 °C	>8
<i>Citrobacter freundii</i>	Minced meat	300 MPa, 20 min, 20 °C	>5
<i>Chronobacter (Enterobacter) sakazakii</i>	Reconstituted infant formula	500 MPa, 26.3 min, 25 °C or 500 MPa, 7.9 min, 40 °C	90% probability of obtaining a five-log reduction
<i>Escherichia coli</i> (nonpathogenic)	Goat's cheese	400 MPa, 10 min, 25 °C	>7
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	UHT milk	800 MPa, 10 min, 20 °C	<2
	Poultry meat	700 MPa, 30 min, 20 °C	5
<i>Escherichia coli</i> O157:H7 (cocktail of three strains)	Carrot juice pH 6.2	615 MPa, 2 min, 15 °C	>6
<i>Lactobacillus</i> spp.	Moscato wine, pH 3.0	400 MPa, 2 min, 20 °C	6
<i>Listeria monocytogenes</i>	UHT milk	340 MPa, 80 min, 23 °C	6
	Raw milk	340 MPa, 60 min, 23 °C	6
	Cold-smoked salmon	450 MPa, 5 min, 12 °C	~ 2
	Human milk	400 MPa, 2 min, 21 °C	8
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Pork slurry	300 MPa, 10 min, 25 °C	6
<i>Salmonella</i> spp. (five individual serovars)	Grapefruit juice pH 3.2	615 MPa, 2 min, 5 °C	>8
<i>Salmonella</i> spp. (five individual serovars)	Carrot juice pH 6.2	615 MPa, 2 min, 5 °C	5.31–7.81
<i>Staphylococcus aureus</i>	Pork slurry	600 MPa, 10 min, 25 °C	6
	Poultry meat	600 MPa, 30 min, 20 °C	4
	UHT milk	600 MPa, 30 min, 20 °C	2
<i>Streptococcus faecalis</i>	Pork slurry	300 MPa, 10 min, 25 °C	<1
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	Canned clam juice	170 MPa, 10 min, 23 °C	>5
	Oysters	300 MPa, 10 °C, 3min	5
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Pork slurry	300 MPa, 10 min, 25 °C	6
Spore-forming bacteria			
<i>Bacillus coagulans</i> spores	PBS (100 mmol l ⁻¹) pH 8.0	400 MPa, 30 min, 45 °C plating out immediately after pressurizing	2
		Pressurized spores heat treated (70 °C for 30 min) before enumeration	7
<i>Clostridium botulinum</i> type A spores BS-A	Crab meat blend	827 MPa, 15 min, 75 °C	3.2
<i>Clostridium botulinum</i> type A spores	Rich medium	250 MPa, 60 min, 70 °C	6
<i>Clostridium sporogenes</i> spores	Chicken breast	680 MPa, 20 min, 80 °C 1500 MPa, 5 min, 20 °C	>5 No inactivation
Yeasts and molds			
<i>Byssoschlamys nivea</i> ascospores	Bilberry jam, a _w 0.84	700 MPa, 30 min, 70 °C	<1
	Grape juice, a _w 0.97		4
<i>Candida utilis</i>	Pork slurry	300 MPa, 10 min, 25 °C	2
<i>Rhodotorula rubra</i>	Sucrose solution	400 MPa, 15 min, 25 °C	
	a _w 0.92		<1
	a _w 0.96		>7
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Mosca wine, pH 3.0	400 MPa, 2 min, 20 °C	6
	Apple juice pH 3.8	500 MPa, 1 min, 5 °C	~ 6
<i>Talaromyces avellaneus</i> ascospores	Apple juice pH 3.45	600 MPa, 60 min, 25 °C	~ 3
<i>Zygosaccharomyces bailii</i>	Mosca wine, pH 3.0	400 MPa, 2 min, 20 °C	6
Viruses			
Hepatitis A virus	Green onions	375 MPa, 5 min, 21 °C	4.75 PFU g ⁻¹
	Experimentally contaminated Pacific Oyster (<i>Crassostrea gigas</i>)	400 MPa, 1 min, 9 °C	>3 PFU g ⁻¹
Norovirus	Oyster tissue	400 MPa, 5 min, 5 °C	4.05 PFU g ⁻¹
Parasites			
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Apple juice	530 MPa, 1 min, 20 °C	>4 log reduction of oocysts
<i>Eimeria acervulina</i>	DMEM containing 5.8 log ₁₀ oocysts	550 MPa, 2 min, 40 °C	No pathogenicity detected in chickens and no fecal shedding of oocysts

TABLE 2: Efecto de las APH sobre diferentes microorganismos (Patterson, 2014)

Las APH producen cambios morfológicos en las células vegetativas. Se produce una compresión de gas en las vacuolas, que a tan solo 0.6 MPa pueden colapsar, además producen alargamiento celular y formación de filamentos. También produce una separación de la pared celular de la membrana celular,

contracción de la pared celular con formación de poros, coagulación de proteína citoplasmática, modificaciones en citoesqueleto, modifica los núcleos y orgánulos intracelulares y libera constituyentes intracelulares al medio (Cheftel, 1995).

Aparecen igualmente alteraciones bioquímicas y genéticas en las células al inactivar las enzimas encargadas de la replicación y transcripción del ADN (Linton et al., 2000). Pese a que la molécula de ADN es altamente resistente a la presión, se observa como en tratamientos de APH su síntesis disminuye considerablemente, esto se debe a que pese a su resistencia a la presión, las enzimas encargadas de su replicación se ven desnaturalizadas por efecto de la presión. Aunque la desnaturalización de las proteínas es irreversible por encima de 300 MPa, se observa como la síntesis de ADN se ve afectada a presiones muy inferiores.

La fluidez de la membrana también juega un papel importante en la inactivación por presión, siendo las bacterias con mayor rigidez de la membrana las más resistentes a la presión

El estadio de crecimiento de las células influye así mismo en su resistencia a la presión, siendo más resistentes aquellos cultivos que se encuentren en la fase estacionaria que aquellos que estén en la fase exponencial. Esto se debe a que las bacterias en fase estacionaria sintetizan una serie de proteínas que las protegen de ambientes adversos, como las altas temperaturas, el estrés oxidativo, y las altas concentraciones de sal. Del mismo modo estos mecanismos ayudan a las células en fase estacionaria a protegerse de las altas presiones.

En general, las bacterias Gram-negativas son más sensibles a la presión que las Gram-positivas como *Bacillus.spp*, *Listeria.spp*, *Staphylococcus.spp* y *Clostridium.spp* ya que poseen una capa de peptidoglicanos más gruesa y esto los hace más resistentes (Smelt, 1998).

La composición química del sustrato, el pH, la actividad de agua y la temperatura influyen significativamente en la respuesta de las bacterias a la presión. Las proteínas, lípidos y carbohidratos confieren protección, así como un medio enriquecido que provee de nutrientes a células sometidas a estrés, esto explica que los experimentos llevados a cabo en soluciones tampón ofrecen generalmente una mayor sensibilidad a la presión que los llevados a cabo en alimentos.

La temperatura es un factor muy importante a tener en cuenta en estos tratamientos, se ha demostrado que tratamientos de alta presión son capaces de aumentar la sensibilidad a posteriores tratamientos térmicos inmediatamente posteriores.

La actividad de agua influye igualmente en la barorresistencia de los microorganismos, siendo más resistentes en aquellos con actividades de agua más bajas. Cuando la actividad de agua es próxima a valores de 0,9 o inferior, las células entran en un estado latente que las hace más resistentes a la presión. Esto es algo a tener en cuenta en alimentos ricos en solutos, como el azúcar en el caso de mermeladas, ya que el aumento del azúcar en la composición de estas hará que los microorganismos contaminantes sean más resistentes a la presión que con concentraciones menores de azúcar.

Mohos y levaduras

Las levaduras son organismos eucariotas unicelulares generalmente no patógenos pero importantes desde el punto de vista de la alteración de los alimentos. Su mayor sensibilidad a las presiones hace que tratamientos leves de 400 MPa y pocos minutos sean suficientes para inactivarlos. A presiones de 100 MPa ya se observan daños en la membrana nuclear de la levadura y a 400-600 MPa hay alteraciones importantes en mitocondrias y citoplasma (Smelt, 1998).

Los mohos son hongos miceliares responsables en la industria alimentaria de la alteración de los alimentos. Estos microorganismos pueden ser inactivados con presiones similares a las de las levaduras.

Esporos bacterianos y fúngicos

Uno de los retos más difíciles en la conservación de alimentos es la inactivación de los esporos bacterianos. Las esporas son una forma de resistencia de ciertas bacterias, Gram-positivas. En hongos las esporas cumplen una función reproductiva. Estas esporas se muestran altamente resistentes a condiciones adversas que sus formas vegetativas no podrían soportar, como radiación ionizante, pH extremo, temperatura extrema, solutos, oxidantes, desinfectantes y por supuesto las APH.

Con los tratamientos clásicos por calor es posible inactivar los esporos, pero en ciertos alimentos se requieren temperaturas elevadas haciéndoles perder calidad al destruir nutrientes termolábiles.

Las esporas de los mohos y levaduras son mucho menos barorresistentes, siendo fácilmente inactivadas con presiones entre 300 y 400 MPa. Sin embargo, los esporos bacterianos son mucho más barorresistentes, siendo necesarias presiones de hasta 1000 MPa para inactivarse. Generalmente se usan tratamientos combinados de presión y temperatura para inactivarlos.

Aunque se haya demostrado que para inactivar los esporos hacen falta presiones altísimas, también se ha observado que presiones relativamente bajas (60 a 100 MPa) pueden inducir a las esporas a germinar. Estas formas vegetativas germinadas de los esporos son mucho más sensibles a temperatura y presión, de modo que puede darse primero un leve tratamiento con presión baja para favorecer la germinación y luego aumentarla para inactivar las formas germinadas produciendo un alimento prácticamente estéril. El problema es que no todas las formas esporuladas germinarán, si bien una gran parte lo hará, quedará una proporción de esporos en estado de latencia que no podrán ser inactivados ya que el tratamiento no será a tan alta presión (Russell, 1982). Estos esporos latentes insensibles al efecto germinante de las APH son los responsables de que la aplicación de esta tecnología para la conservación de los alimentos se deba centrar en la pasteurización más que en la esterilización.

Virus

Los virus también son un grupo de microorganismos importante en la industria alimentaria como causante de infecciones transmitidas por los alimentos, como norovirus o hepatitis A.

En términos estructurales y de cómo actúan este grupo de microorganismos es muy diverso. Salvo los ácidos nucleicos los virus no comparten estructuras que se asocian a células vivas. En algunos casos pueden contener enzimas necesarias para su replicación en las células. La diversidad de este grupo hace que exista un amplio rango de presiones y tiempos que han de aplicarse para ser inactivados. Los efectos que produce la presión parecen estar dirigidos a la envoltura del virus, cuando esta está presente. Los tratamientos de presurización también pueden producir disociación de las partículas víricas, reversibles o irreversibles y formación de partículas no infectantes en varios géneros de virus.

Priones

Aunque sean un peligro a tener en consideración para la salud pública, las medidas preventivas en producción primaria y en mataderos hacen que no sea una preocupación para la industria transformadora de alimentos.

Los priones se caracterizan por su extrema resistencia a tratamientos a altas temperaturas, resistiendo en algunos casos temperaturas de autoclave de más de 134°C. Se han realizado experimentos combinando altas presiones de entre 690-1200 MPa y altas temperaturas de 121-137°C para tratar carne contaminada con priones demostrando una reducción de la infectividad.

5.6.2 Enzimas

Las enzimas son proteínas de estructura globular que actúan como catalizadores biológicos de gran especificidad. Una enzima hace que una reacción química energéticamente posible, pero que transcurriría a velocidad muy baja, se produzca a velocidades mucho más altas. Las enzimas actúan disminuyendo la energía de activación de las reacciones. Una vez han actuado vuelven a quedar libres en el medio y actúan de nuevo. En los alimentos hay enzimas endógenas y exógenas, que provienen de los microorganismos. Las enzimas pueden ser agentes de alteración, pero también generan efectos beneficiosos en la industria.

La alta presión disminuye el espacio molecular disponible. Según el principio de Le Chatelier todas aquellas reacciones que resulten en una disminución del volumen se verán favorecidas. En las proteínas los principales enlaces que se ven afectados son los enlaces hidrofóbicos y las interacciones iónicas.

Como ya se ha dicho, en rangos entre 100 y 300 MPa las proteínas sufren una desnaturalización reversible, pero pasados esos 300 MPa las proteínas se desnaturalizan de manera irreversible ya que se desnaturaliza la cadena proteica individual.

Las altas presiones afectan a las proteínas alterando su estructura terciaria y cuaternaria, esto significa que las enzimas se verán afectadas por las altas presiones. Esto se debe a que se modifican estructuras intermoleculares y aparecen cambios en el sitio activo de la enzima, que es la porción de la enzima que participa directamente en la unión y la transformación del sustrato. Al igual que los microorganismos la resistencia de las enzimas a las APH es muy variable como se observa en la *Tabla 3*.

Las polifenoloxidasas son unas enzimas muy presentes en vegetales y son responsables de reacciones que producen su pardeamiento. El pardeamiento enzimático consiste en la aparición de colores oscuros debido a la acción de enzimas. Este fenómeno puede ser beneficioso para la industria en el caso de algunos alimentos naturalmente de color oscuro, como té, cacao, dátiles y otras frutas secas, pero supone un grave problema en otros productos, como los vegetales de IV gama o productos listos para consumo, como frutas envasadas o zumos de naranja.

Esta enzima puede inactivarse mediante tratamientos con altas presiones en diferentes tipos de alimentos vegetales, como zumos, ciruelas y patatas entre otros.

Product	Temperature (°C)	Pressure (MPa)	Holding Time (min)	Results	References
PME, PG, PPO, POD, LOX in model systems, crude extracts and real foods	20–26	0.1–500	Variable	Most of the enzyme activity is retained except for LOX which can be completely inactivated using high pressure–low temperature combinations	Buggenhout <i>et al.</i> , 2006
Tomato PG and PME (enzyme extracts)	25	300–500 850	15 15	PG inactivated completely, PME still active. Only 50% PME inactivated	Rodrigo <i>et al.</i> , 2006
PPO in Victoria grape must	55–70 20–70	0.1 100–800	Variable	Synergistic effect of pressure and temperature on the inactivation of enzyme except in the high temperature–low pressure region where an antagonistic effect was observed	Rapeanu <i>et al.</i> , 2005
Purified tomato PG (pH 4.4)	25–65	100–500	Variable	High pressure shifts the optimum temperature of tomato PG activity to lower values as compared to studies at atmospheric pressure. Inhibition of PG activity increases with increasing pressure and the effect is higher at higher temperatures	Verlent <i>et al.</i> , 2004a
Purified tomato PME (pH 4.4 and 8.0)	20–65	0.1–600	Variable	Elevated pressures resulted in higher PME activities. At all pressures the PME activity was higher at pH 8.0 than at pH 4.4. Chemical de-esterification of pectin increases under pressure at pH 8.0 whereas no chemical de-esterification occurs at pH 4.4	Verlent <i>et al.</i> , 2004b

TABLA 3: Efecto de las APH sobre diferentes enzimas (Gupta y Balasubramaniam, 2012)

La estabilidad de las polifenoloxidasas (PPO) depende del origen de las mismas. En manzana, uva, aguacate y pera la inactivación a temperatura ambiente se produce a 600, 700, 800 y 900 MPa respectivamente. Pero en el caso de la ciruela, las polifenoloxidasas requieren una presión de 900 MPa para su inactivación.

Otra de las enzimas importantes en el mundo vegetal es la pectinmetilesterasa (PME). Esta enzima forma un complejo con las pectinas mediante interacciones de tipo electrostático catalizando su hidrólisis formando metanol, pectinas bajo metoxilo y ácido galacturónico, esta enzima es la responsable de la clarificación de zumos de fruta y hortalizas como el tomate.

Aunque esta enzima puede inactivarse con tratamientos de pasteurización alta a 90°C durante un minuto, estos tratamientos alterarán las características organolépticas y nutricionales de los zumos.

La aplicación de las altas presiones puede ser una alternativa tecnológica al tratamiento térmico en el caso de zumos, sopas de verduras y derivados del tomate (Hernández y Cano, 1998).

Los tratamientos a 600 MPa durante 10 minutos en zumo de naranja fueron capaces de inactivar hasta en un 90% la pectinmetilesterasa de forma irreversible (Ogawa et al., 1990).

Las peroxidasas son otras de las enzimas alterantes de los alimentos. Se encuentran en una gran cantidad de alimentos como los vegetales y es importante en la industria por su capacidad de oxidar gran cantidad de sustancias orgánicas alterando su sabor, color, y textura.

Al tratarse de una de las enzimas más termorresistentes, se usa como marcador de eficacia de escaldado en frutas y verduras. Algunas incluso han mostrado capacidad de regenerarse tras los tratamientos térmicos. Estas enzimas necesitan tratamientos a muy alta presión y largos para una inactivación próxima al 80%.

5.7 Efectos de las altas presiones hidrostáticas sobre los componentes y características organolépticas de los alimentos

5.7.1 Carbohidratos

Existen pocos estudios sobre el efecto de las altas presiones sobre los carbohidratos. Los azúcares simples no se ven afectados por este proceso (Cheftel, 1992). La reacción de Maillard es una de las más importantes en la industria alimentaria. Es responsable del color, sabor y aroma de una gran variedad de alimentos. Es una reacción beneficiosa y deseada en algunos casos, como tostado del café o cocinado de la carne pero en otros casos produce un efecto no deseado, como en el caso del pardeamiento de leches esterilizadas.

Esta reacción se ve inhibida por las aplicaciones de alta presión entre 50 y 200 MPa (Sangronis et al., 1997). De este modo los efectos en aroma, sabor y color que tiene la reacción de Maillard en los alimentos no se producirán en los alimentos tratados con altas presiones.

La alta presión tiene también la capacidad de inducir la formación de geles de polisacáridos con características diferentes a aquellos formados térmicamente.

Los gránulos de almidón gelatinizan bajo presión a temperaturas más bajas de las necesarias para gelificarlo térmicamente.

5.7.2 Proteínas

Las proteínas son cadenas de aminoácidos unidas mediante enlace peptídico (estructura primaria), que posteriormente se pliegan gracias a los enlaces puente de hidrógeno entre los aminoácidos que forman la cadena (estructura secundaria) y que forman diferentes interacciones débiles, dando lugar a estructuras globulares, gracias a interacciones iónicas, puentes disulfuro o interacciones hidrofóbicas (estructura terciaria), hablamos de estructura cuaternaria cuando se unen varias subunidades de proteínas.

Como se ha indicado, la estructura de las proteínas se ve afectada por la presión, sobre todo las estructuras terciaria y cuaternaria (Sun, 2008).

Los efectos de las APH sobre los enlaces responsables de su estructura terciaria y cuaternaria explica la razón por la que estos tratamientos son capaces de provocar su gelificación al igual que ocurre con el tratamiento térmico. Sin embargo, los geles inducidos por APH tienen características fisicoquímicas y morfológicas totalmente diferentes, además de conservar perfectamente el color y el aroma original del producto gelificado. Por otro lado además el tratamiento de clara de huevo con APH lo hace un producto microbiológicamente estable, que conserva todas sus propiedades originales y mejora su digestibilidad.

5.7.3 Vitaminas

Las vitaminas son uno de los micronutrientes más importantes para normal funcionamiento de nuestro organismo, así como uno de los más valorados por parte del consumidor. El efecto que tienen las APH sobre estos micronutrientes es uno de los más estudiados especialmente en comparación con los tratamientos por calor (Mertens, 1993).

Debido a que las altas presiones no afectan a los enlaces covalentes, las moléculas pequeñas como pueden ser las vitaminas, así como otras moléculas volátiles, responsables de sabores y olores no se verán especialmente afectadas por las altas presiones.

Vitaminas del grupo B, como la tiamina (B1), la riboflavina (B2) y el piridoxal (B6) se ven inalteradas tras los tratamientos con altas presiones (Butz et al., 2007), aunque el ácido fólico (B9) sí parece verse afectado por este tratamiento, y se muestra más sensible por la desglutamación de folatos (Verlinde et al., 2008).

La vitamina C o ácido ascórbico se ve inalterada por las altas presiones siempre que el tratamiento se lleve a cabo en una temperatura baja, cuando el tratamiento se lleva por encima de los 65°C el calentamiento adiabático consecuencia de la aplicación de la alta presión provoca pérdidas (Sánchez-Moreno et al., 2009).

Los carotenoides, compuestos responsables del color natural de frutas y verduras, permanecen totalmente inalterados (McInerney et al., 2007).

5.7.4 Lípidos

La temperatura de fusión de los lípidos puede aumentar de manera irreversible cuando son sometidos a presión, hasta en más de 10°C por cada 100 MPa. Esto hace que algunos lípidos que a temperatura ambiente son líquidos, como los triglicéridos, puedan llegar a cristalizar bajo presión. La formación de estos cristales densos y estables puede explicar algunas de las causas de destrucción de microorganismos debido a los cambios cristalinos en las membranas fosfolípídicas (Cheftel, 1995).

La oxidación de los lípidos puede verse favorecida por los tratamientos por presión en alimentos como carne y pescado. Se cree que este fenómeno está relacionado con la desnaturalización que sufren las

proteínas en el proceso, haciendo quedar libres iones metálicos que pueden catalizar las reacciones de oxidación (Beltrán et al., 2003).

5.8 Efectos de las altas presiones hidrostáticas en las propiedades sensoriales de los alimentos

Aunque la vida útil y la inocuidad de los alimentos estén íntimamente relacionados con su calidad microbiológica, existen otros fenómenos responsables de la alteración de los alimentos como, reacciones químicas, reacciones enzimáticas y cambios estructurales que influyen de forma significativa en las propiedades sensoriales de los alimentos. Los procesos térmicos tradicionales de pasteurización y esterilización conllevan una lenta penetración de calor hacia el punto más frío del producto y posteriormente un enfriamiento lento y progresivo. Estos tratamientos producen cambios en la calidad del producto que dependen tanto de sus características como del tiempo y temperatura del proceso. Los principales cambios que ocurren afectan a la textura, el color y a las moléculas volátiles implicadas en el olor y sabor. Los tratamientos por APH no alteran los componentes de los alimentos asociados a cualidades deseables, tales como aminoácidos, vitaminas y moléculas volátiles. No obstante las macromoléculas como proteínas, enzimas, polisacáridos y ácidos nucleicos si pueden verse afectadas y dañar la apariencia o textura del alimento comparado con el producto fresco.

El color es una de las características más importantes para el consumidor. En el caso de algunos alimentos, como la carne roja, se observa la pérdida del color rojo brillante característico como consecuencia del tratamiento debido a la desnaturalización de la mioglobina que es el responsable de su color.

De forma secundaria, la aplicación de altas presiones puede evitar el pardeamiento de algunas frutas y verduras gracias a su capacidad de inactivación de las enzimas responsables, como se ha comentado previamente.

En el caso de la textura, las altas presiones no muestran cambios significativos en la mayoría de los alimentos. Sin embargo, en aquellos que contiene en su composición gas, o pequeñas burbujas de aire, se pueden observar cambios en su estructura debido al colapso de estas burbujas o a su desplazamiento en la matriz del alimento (Ting y Marshall, 2002). En algunos productos como el surimi las altas presiones producen un cambio en la textura muy interesante. El surimi, es un elaborado tradicional japonés a base de pasta de pescado que se gelifica térmicamente. Se ha observado que los tratamientos por APH, son también capaces de gelificar las proteínas del pescado dando un producto de mayor calidad que el obtenido por gelificación térmica (Okamoto et al., 1990).

5.9 Equipos de procesado

Los equipos de procesado por altas presiones constan básicamente de una cámara de tratamiento, donde se introduce el producto envasado colocado en unos bastidores de plástico, el sistema generador de

presión, que es el encargado de generar la presión dentro de la cámara y el sistema de control que permite monitorizar y controlar el proceso (Zhang y Barbosa-Cánovas, 2011).

Los primeros equipos estaban contruidos a partir de cámaras de procesamiento de hierro o acero y resultaban poco seguros. Los avances en el procesamiento de metales en los años 40 y 50 contribuyeron sin duda al desarrollo de cámaras de tratamiento más seguras y a la implantación de la tecnología en la industria alimentaria a finales del siglo XX.

El conocimiento de las características del equipo de procesamiento es fundamental para que las industrias alimentarias elijan el equipo más adecuado a sus necesidades, optimizando el coste-beneficio la implantación de la tecnología.

Cámara de tratamiento: La cámara de tratamiento es el componente más importante del equipo. Se trata de una cámara cilíndrica donde se introduce el alimento para ser procesado. Su diseño es muy importante ya que debe ser capaz de resistir altísimas presiones sin deformarse. En cada tratamiento este componente se somete a altísimas presiones por lo que los tratamientos sucesivos que se requieren en el procesamiento industrial de los alimentos terminan afectando a su integridad por lo que es necesario reemplazarla tras un cierto número de tratamientos. El número de ciclos de presurización que este componente puede soportar depende de los materiales con los que está fabricado y de la sensibilidad de estos materiales a agrietarse.

Las primeras cámaras de tratamiento consistían simplemente en un cilindro metálico al que se le realizaba un orificio para alojar el producto a tratar en su interior. Actualmente los nuevos diseños son más complejos y se pueden diferenciar tres tipos básicos: los cilindros monolíticos, que consisten en un simple cilindro de paredes anchas, los cilindros concéntricos en los que se introduce un tubo dentro de otro, haciendo que el externo ejerza presión sobre el interno, resistiendo así mejor las presiones que se produzcan en el interior, y los cilindros simples rodeados por una cinta o cable para conferirles resistencia (Figura 6).

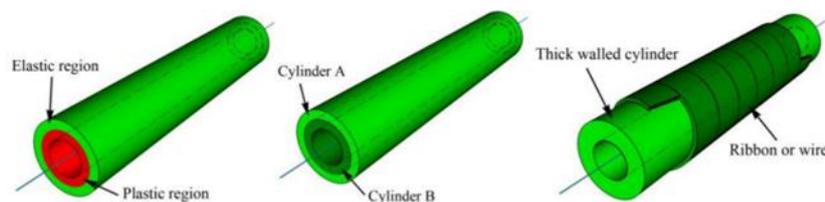


Figura 6.- Diferentes tipos de cilindros según el tipo de tratamiento (Elamin et al., 2015)

Los cilindros monolíticos similares a las primeras cámaras de tratamiento son los diseños más sencillos de fabricar. Sin embargo, el diámetro de la cámara donde se alojan los alimentos no supera los 15 cm y solo son capaces de soportar presiones de hasta 400 MPa. Son los más baratos de fabricar y su vida útil puede aumentarse si se aplican tratamientos de *autofrettage*. Estos tratamientos consisten en someter al cilindro a una presión enorme, lo que conlleva que la parte interna sufra una deformación plástica, y que

la parte externa del cilindro ejerza una ligera presión hacia el interior. Esto hace que la parte interna quede sometida a un estrés residual después de este tratamiento. Este tratamiento evita que las grietas crezcan. Los tratamientos de *autofrettage* no son eficaces cuando se requiere alcanzar presiones mayores a los 400 MPa.

Los cilindros multicapa se fabrican introduciendo varios tubos concéntricos uno dentro del otro. Este tipo de cámaras suponen un gran avance con respecto a las anteriores ya que en el caso de aparecer grietas sólo aparecen en uno de los cilindros por lo que no afectan a toda la cámara siendo en este sentido este tipo de cilindros más seguros.

Los cilindros rodeados de cable se fabrican rodeando un cilindro de acero inoxidable con una cinta o cable bajo tensión. La ventaja que presenta este sistema es que la fuerza del cable que rodea el cilindro es independiente de su diámetro. Además tiene la misma ventaja del anterior en cuanto a las grietas que pueden formarse. Actualmente con este método se alcanzan los mayores diámetros de cilindro y las mayores presiones. Estos cilindros presentan la mayor vida útil, llegando a millones de ciclos. Hay que tener en cuenta que un equipo funcionando en una empresa a pleno rendimiento suele realizar unos 50000 ciclos de presurización al año.

Otro factor importante en el diseño de la cámara de tratamiento es la corrosión. Aunque antiguamente los equipos utilizaban aceite como medio para transmitir la presión al ser un fluido no oxidante, la compresibilidad del aceite es mucho mayor que la del agua y se producía un mayor incremento de temperatura durante su compresión adiabática. En la actualidad, tanto por la menor compresibilidad como por la facilidad de limpieza y desinfección es el agua el líquido de elección para transmitir la presión por lo que se requiere utilizar materiales resistentes a la corrosión.

Sistema generador de presión: La alta presión necesaria para el procesado de los alimentos puede generarse mediante sistemas de compresión directos o indirectos. En el caso de los sistemas de presurización directa la alta presión se genera por medio de un pistón que se desplaza por el interior de la cámara de presurización disminuyendo su volumen. Esos sistemas permiten que la presurización de la cámara de tratamiento sea rápida. Sin embargo, la dificultad de que el pistón se ajuste perfectamente a la superficie interior de la cámara de tratamientos restringe su uso a equipos de laboratorio o pequeñas instalaciones piloto. En los sistemas indirectos una bomba de baja presión llena el recipiente de agua que después será comprimida por un intensificador de presión. El intensificador de presión utiliza un fluido

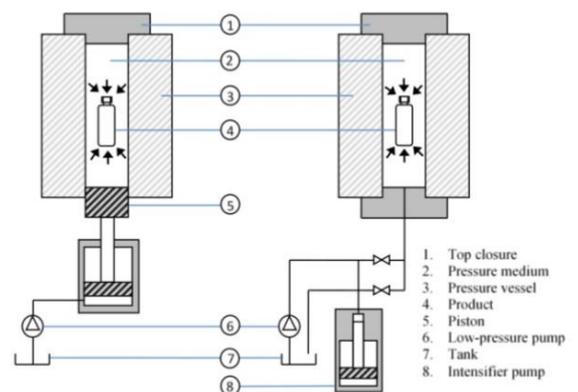


Figura 7.-Sistemas directo e indirecto de generación de presión (Elamin et al., 2015)

hidráulico a baja presión para mover un pistón que por un lado presenta una gran superficie y por el otro extremo una superficie menor por lo que el cambio de superficie del pistón provoca que la presión en el extremo de menor superficie se multiplique por un factor dependiente de la relación entre el diámetro de ambos pistones (*Figura 7*).

Sistema de control y monitorización: Para el diseño de un tratamiento por alta presión es fundamental tener en cuenta tres parámetros básicos: temperatura, tiempo y presión. Estas condiciones de tratamiento deben monitorizarse y registrarse a lo largo de los distintos ciclos de tratamientos para garantizar que el producto recibe el tratamiento establecido. Para ello se requieren sensores capaces de medir todos estos parámetros de forma fiable, considerando que el tratamiento por APH se considerará como un punto de control crítico en el sistema APPCC de una industria alimentaria. En algunos casos se pueden utilizar incluso sensores especiales que se introducen en alguna de las muestras de alimento y que indican si el tratamiento ha sido eficaz a nivel individual.

5.10 Aplicaciones de las altas presiones hidrostáticas en la industria alimentaria

Las principales ventajas que presenta el procesado de los alimentos por APH es su capacidad para inactivar microorganismos sin aumentar sensiblemente la temperatura de los alimentos. Por lo tanto, es un método de elección para prolongar la vida útil de los alimentos especialmente sensibles al calor sin afectar a sus propiedades nutritivas y sensoriales. Sin embargo, los tratamientos no son efectivos para la inactivación de las formas esporuladas de las bacterias por lo que los productos procesados por APH son productos pasteurizados libres de microorganismos patógenos pero que contienen flora alterante por lo que es necesario mantenerlos en refrigeración tras el procesado. El procesado de los alimentos se realiza una vez envasado por lo cual una vez tratado no existe riesgo de contaminación posterior al tratamiento. A diferencia de otras nuevas tecnologías de conservación de los alimentos como los pulsos eléctricos de alto voltaje (PEF) que sólo son efectivos para inactivar microorganismos en productos líquidos, las APH son eficaces tanto en productos líquidos como sólidos. Como se muestra a continuación existen muchas aplicaciones específicas de las APH para el tratamiento de productos cárnicos y productos derivados de la pesca. Los principales inconvenientes de la tecnología son los costes de los equipos, un equipo de APH puede llegar a costar alrededor de los 2 millones de euros, la baja capacidad de producción de los equipos, los equipos más grandes solo pueden procesar alrededor de 400 kg de producto por ciclo, y la imposibilidad de trabajar en flujo continuo. La mayoría de los procesos de la industria alimentaria funcionan en flujo continuo lo que permite conseguir productividades muy elevadas. En el caso de las APH hay que trabajar con ciclos de trabajo, lo que limita la capacidad de producción de las instalaciones.

Productos de origen vegetal

Alimentos de origen vegetal como mermeladas y cremas de verduras fueron los primeros productos procesados por APH que se comercializaron en el año 1990 en Japón. En la actualidad, los principales productos de origen vegetal procesados con esta técnica son zumos, *smoothies*, purés de frutas, guacamole, mermeladas y compotas, representando aproximadamente el 40% del total de alimentos procesados por APH. Estos productos generalmente tienen pH de menos de 4,5, y el principal objetivo de su tratamiento por APH es prolongar su vida útil en refrigeración y garantizar que el producto es seguro para el consumidor al inactivar posibles microorganismos patógenos presentes en la materia prima. Aunque los microorganismos patógenos no pueden multiplicarse en alimentos de pH inferior a 4,5 si son capaces de sobrevivir a estos bajos pH y como consecuencia se han descrito brotes provocados por cepas de *E.coli* y *Salmonella* spp. transmitidos por sidra de manzana y zumos de naranja.

Tratamientos de 500 MPa a temperatura ambiente durante 1-2 minutos son suficientes para alargar el tiempo de vida útil de productos vegetales alrededor de tres semanas si se mantienen en refrigeración.

Los tratamientos por APH son especialmente beneficiosos en algunos zumos como los de brócoli, granada, manzana, zanahoria y remolacha especialmente sensibles a los tratamientos térmicos. Por otro lado, uno de los productos procesados por APH con más éxito en el mercado es el guacamole (*Figura 8*) ya que tras el tratamiento mantiene el color verde característico del aguacate durante 6 semanas en refrigeración.

En resumen, las tendencias actuales del consumidor, hacen que este tratamiento tenga especial éxito en el desarrollo de alimentos derivados de frutas y hortalizas naturales, orgánicos, sin aditivos pudiéndose comercializar productos ricos en vitaminas.



Figura 8.- Aguacate y guacamole tratados con APH (Hiperbaric, 2012)

Productos cárnicos

El primer derivado cárnico procesado por APH fue sobres de jamón loncheado. Este producto se comercializó en España por la empresa Espuña S.A. en 1998. Actualmente los productos cárnicos representan aproximadamente el 27% del total de alimentos tratados con APH. Los principales productos cárnicos que pueden verse beneficiados gracias a esta técnica son los loncheados, las carnes marinadas, los platos de carne preparados y otros productos como el *foie*. En los productos cárnicos el principal objetivo de los tratamientos por las APH es también la inactivación microbiana ya que en los productos curados el tratamiento térmico dañaría sus características organolépticas y en el caso de los productos cocidos loncheados este tratamiento permite inactivar a los microorganismos con los que se puede contaminar el producto durante su loncheado y envasado y de esta manera prolongar su vida útil en refrigeración y garantizar la seguridad del producto.

Otra de las aplicaciones interesantes en el sector cárnico es el caso de las carnes separadas mecánicamente. Estas carnes son ingrediente habitual de muchos derivados cárnicos. Pese a poseer óptimas propiedades nutritivas y funcionales su carga microbiana es muy alta. El tratamiento por APH permite reducir su carga microbiana y mejorar las características de los geles que se forman, sin necesidad de añadir productos emulsionantes.

Los tratamientos que suelen aplicarse a los productos cárnicos son entre 500 y 600 MPa durante 1 a 5 minutos ya que además de inactivar a la flora alterante, son capaces de reducir varias unidades logarítmicas los principales contaminantes patógenos de estos productos (*Listeria*, *E.coli*, *Salmonella*...).

Finalmente hay que destacar que en el caso de los productos curados loncheados, como el jamón curado, este tratamiento puede abrir barreras comerciales y permite exportar este producto a países altamente exigentes, como Japón, Canadá, Corea del Sur o Australia, que requieren en este tipo de productos ausencia de *Listeria monocytogenes*. Por otro lado este proceso permite vender productos más atractivos para el consumidor al reducir el número de aditivos al poder eliminar el uso de conservantes.

Carne fresca

Desde 2001, en EEUU, la FDA investigó la capacidad de las APH para inactivar microorganismos en carne picada de ternera, y declaró que estos tratamientos eran eficaces para eliminar *Salmonella* spp., *Listeria* spp., *E. coli*, o *Staphylococcus* spp.. La carne fresca es un alimento altamente perecedero debido a los microorganismos alterantes naturalmente presentes en ella. Se ha demostrado que el tratamiento alarga la vida útil de las hamburguesas que en condiciones normales es de 1 semana hasta 6 semanas.

Aunque se han realizado bastantes estudios sobre las APH como método de prolongar la vida útil de la carne fresca, los cambios que provoca el tratamiento especialmente en el color de la carne roja suponen una barrera para su aplicación comercial. Se ha observado que en la carne de vacuno, carne tratada a más de 400 MPa se produce un fenómeno de ablandamiento de la misma, gracias a la liberación de proteasas de los lisosomas celulares (Homma et al., 1994). Sin embargo, este proceso cambia el color de la carne adquiriendo un aspecto de carne cocida. Como alternativa a estos tratamientos se ha observado que tratamientos entre 100 MPa y 200 MPa durante 2 minutos, aplicados a carne antes del *rigor mortis*, permite incrementar la glicolisis, haciendo que baje rápidamente el pH, instaurándose más rápidamente el *rigor mortis* consiguiéndose una carne más tierna. Estos tratamientos que no afectan al color de la carne están empezando a utilizarse en los últimos años, para mejorar la ternura de algunos cortes de carne.

En el caso de la carne del pollo, los tratamientos de APH han demostrado ser eficaces para eliminar *Salmonella* spp., incluyendo algunas cepas resistentes de *S. typhimurium*. Sin embargo si el tratamiento es demasiado intenso, también puede verse afectada la apariencia del producto.

Productos derivados de la pesca

En 1999 se comercializaron por primera vez en EEUU ostras tratadas por APH y en la actualidad los productos derivados de la pesca representan el 12% del total de alimentos procesados por esta tecnología. Las APH permiten inactivar microorganismos patógenos presentes en moluscos bivalvos como *Vibrio E.coli* y *Norovirus*. Además también se ha demostrado como un tratamiento eficaz para la inactivación de *Anisakis* del pescado crudo. Los tratamientos de APH permiten aumentar la vida útil de los productos derivados de la pesca entre 2 a 4 veces.

Otras aplicaciones interesantes de la tecnología de la APH en este sector es favorecer la apertura de los moluscos bivalvos al inducir la relajación del músculo aductor y favorecer la posterior retirada de la carne consiguiéndose de este modo reducir la mano de obra requerida para esta aplicación.



Figura 9.- Crustáceo sin caparazón tras la aplicación de APH (Hiperbaric, 2012)

En el caso de los crustáceos como el bogavante, la langosta o el cangrejo el tratamiento por APH es la única forma de extraer en frío su carne (*Figura 9*). De este modo los tratamientos por APH permiten obtener un nuevo producto que se puede comercializar con el alto valor añadido que esto supone, ya que se ofrece al consumidor la posibilidad de comprar carne cruda de crustáceo, sin cáscara, para ser cocinada. También permite un máximo aprovechamiento industrial de todas las partes de los crustáceos, ya que permite un descarnado completo.

Leche y derivados lácteos

Las aplicaciones de las APH en los lácteos han sido estudiadas desde principios de la década de los 90. Los principales productos comerciales procesados por las APH son, rellenos de sándwich, ensaladas, cremas para untar, calostros, leche, yogures y otras leches fermentadas.

En términos generales los tratamientos mantienen los sabores y texturas de los distintos productos lácteos inalterados prolongando su vida útil. En el caso del calostro procesado por APH se trata de un producto comercializado por una empresa neozelandesa dirigido fundamentalmente al mercado asiático. Se consigue un producto estable a temperatura ambiente como consecuencia del tratamiento de APH y del descenso del pH que mantiene los compuestos bioactivos presentes en el calostro como la lactoferrina, las inmunoglobulinas y los factores de crecimiento.

5.11 Aspectos legales

Los alimentos procesados por APH se comercializan desde hace más de 15 años. En la actualidad hay más de 60 compañías repartidas por todo el mundo que comercializan más de 250 alimentos diferentes. Las principales razones por las que estas compañías han apostado por las APH son prolongar la

vida útil de alimentos refrigerados, obtener productos de máxima calidad sin que el procesado afecte a sus propiedades nutritivas y sensoriales e introducir productos innovadores en el mercado.

La comercialización de los alimentos procesados por una nueva tecnología de procesado debe cumplir con los requerimientos legales establecidos.

En la Unión Europea los alimentos procesados por nuevas tecnologías deben cumplir las regulaciones europeas establecidas para nuevos alimentos (*Novel foods*) que han sustituido a la de los países miembros. A finales del 2015, se publicó el Reglamento (EU) 2015/2283 sobre dichos alimentos que sustituye al primer reglamento publicado sobre estos alimentos (CE 258/97). La legislación entró en vigor el 31 de diciembre de 2015 y será de aplicación el 1 de enero de 2018 por lo que a partir de principios de enero de 2016, las empresas disponen de dos años para comprender las nuevas disposiciones y preparar sus planes de innovación para el desarrollo de nuevos ingredientes y productos.

Según la reglamentación comunitaria se entiende por “nuevo alimento” cualquier alimento que no haya sido utilizado en una medida importante para el consumo humano en la Unión Europea antes del 15 de mayo de 1997, con independencia de las fechas de adhesión de los Estados miembros a la Unión y que esté comprendido, por lo menos, en una de las categorías que constan en el Reglamento. Entre las 10 categorías que comprenden los nuevos alimentos se encuentra una que hace referencia a: *“alimento que resulte de un nuevo proceso de producción no utilizado para la producción alimentaria en la Unión antes del 15 de mayo de 1997, que dé lugar a cambios significativos en la composición o estructura del alimento que afectan a su valor nutritivo, a su metabolismo o al nivel de sustancias indeseables”*. Al tratarse de una nueva tecnología de procesado que se viene utilizando regularmente en la industria alimentaria desde hace alrededor de 15 años los alimentos procesados por APH se incluirían en esta categoría. Sin embargo, el hecho que un alimento se procese por una nueva tecnología no indica que se considere como nuevo alimento, como se indica en el reglamento solo se considerará que es un nuevo alimento si el tratamiento que recibe provoca cambios significativos en su composición o estructura, o afecta su valor nutritivo, su metabolismo o al nivel de sustancias indeseables.

Según establece el reglamento son los propios fabricantes los responsables de comprobar si el alimento que quieren comercializar en la UE entra en el ámbito de aplicación del Reglamento (EU) 2015/2283 sobre nuevos alimentos. En el caso de que se tenga dudas sobre si el alimento que la empresa quiere comercializar entra en el ámbito de aplicación de dicho Reglamento, los fabricantes deberán consultar al Estado miembro en el que quieren comercializar el nuevo alimento. Los criterios que utilizará la Comisión para autorizar e incluir un nuevo alimento en la lista son:

Que el alimento no plantea ningún riesgo para la salud de las personas en base a las pruebas científicas disponibles, la utilización prevista del mismo se deberá incluir para no inducir a error al

consumidor, especialmente si está destinado a sustituir a otro alimento y en el caso de que el nuevo alimento sustituya a otro alimento no debe resultar desventajoso desde el punto de vista nutricional para los consumidores.

Por lo que respecta a los alimentos procesados por APH, a pesar de la multitud de productos comercializados en UE por esta tecnología, por el momento los únicos productos procesados por APH cuya comercialización ha sido aprobada como nuevo alimento son los zumos de frutas desde el año 2001. Para su aprobación, la empresa Danone aportó la información requerida por la UE para demostrar que los tratamientos por APH proporcionaban el mismo nivel de seguridad microbiológica que un tratamiento térmico de pasteurización. Por el momento, por lo que respecta al resto de alimentos procesados por APH comercializados en la UE, se considera que el tratamiento no provoca cambios sustanciales en los mismos por lo que no se consideran como nuevos alimentos y por lo tanto no se requiere una autorización para su comercialización.

Otra regulación europea que afecta a los alimentos procesados por APH es la que hace referencia al etiquetado de los alimentos. Entre otras consideraciones la directiva 2000/13/CE establece que es necesario indicar en la etiqueta el tratamiento específico que ha recibido un producto si la ausencia de esta información puede producir confusión al consumidor. En las etiquetas de los alimentos procesados por APH se indica que han sido procesados por esta tecnología. De esta manera el consumidor puede encontrar una explicación al hecho que estos alimentos tengan una vida útil superior a la de los alimentos que se comercializan sin recibir ningún tipo de tratamiento.

Finalmente, el material usado para el envasado de los productos procesados por APH debe cumplir también con el Reglamento (CE) nº 1935/2004, sobre los materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos.

6. CONCLUSIONES

La aplicación de las altas presiones hidrostáticas en los alimentos puede inactivar los microorganismos alterantes y patógenos, las enzimas, y puede modificar estructuras de los alimentos, sin alterar sus cualidades organolépticas de alimentos frescos.

Los efectos de estos tratamientos permiten reducir o evitar la adición de aditivos para alargar la vida útil de los alimentos, haciendo estos productos más atractivos para un consumidor cada vez más preocupado por la presencia de estos componentes en los alimentos.

Los principales inconvenientes son por una parte el elevado coste de las instalaciones y que el tratamiento no se pueda aplicar en flujo continuo que junto con el hecho de los volúmenes de las cámaras de tratamiento no sea muy elevado (525L el más grande) provoca que la capacidad de tratamiento de las instalaciones no sea muy elevada.

Las aplicaciones que puede tener esta nueva tecnología suponen un reto y una revolución en la industria alimentaria. Esta tecnología ofrece alimentos inocuos y seguros para el consumidor, manteniendo las cualidades del alimento fresco.

Además este método ofrece la posibilidad de explorar nuevas propiedades sensoriales y nutricionales de los alimentos, en comparación con las que ofrecen los métodos de procesado tradicionales.

Desde el punto de vista de la ingeniería y la tecnología alimentaria, este método ofrece una serie de ventajas tales como la independencia del tamaño o la forma del alimento, la posibilidad de ofrecer un leve tratamiento por calor adicional y la garantía de que se trata de un proceso respetuoso con el medio ambiente al no generar residuos.

No obstante la implantación de este método debe ser cautelosa para las empresas alimentarias, ya que van a competir contra tecnologías de conservación basadas en el calor bien establecidas, económicamente viables y efectivas a la hora de controlar peligros de carácter biológico.

Conclusions

The application of high hydrostatic pressures in food can inactivate altering microorganisms and pathogens, enzymes, and can modify food structures without altering their organoleptic qualities of fresh food.

The effects of these treatments allow to reduce or avoid the addition of additives to extend the shelf life of foods, making these products more attractive to a consumer increasingly concerned about the presence of these components in food.

The main disadvantages are on the one hand the high cost of the installations and that the treatment can not be applied in a continuous flow, which together with the fact that the volumes of the treatment chambers are not very high (525L the largest) causes that the capacity of treatment of the facilities is not very high.

The applications of this new technology are a challenge and a revolution in the food industry. This technology offers safe food for the consumer, keeping the qualities of fresh food.

In addition, this method offers the possibility of exploring new sensory and nutritional properties of foods, as compared to traditional processing methods.

From the point of view of engineering and food technology, this method offers some advantages such as the independence of the size or shape of the food, the possibility of offering an additional heat treatment and the guarantee that this technology is environmentally friendly.

However, the introduction of this method must be cautious for food companies, as they will compete against well established, economically viable and effective heat conservation technologies in controlling biological hazards.

7. VALORACIÓN PERSONAL

Este trabajo de fin de grado me ha ayudado a familiarizarme con la búsqueda y redacción de textos de carácter científico y académico, también a manejarme con más soltura con las bases de datos disponibles, lo cual me será seguro de utilidad en el futuro. Esta revisión me ha supuesto un reto que me servirá para enfrentarme a proyectos similares con más madurez.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Beltrán, E., Pla, R., Yuste, J., & Mor-Mur, M. (2003). Lipid oxidation of pressurized and cooked chicken: Role of sodium chloride and mechanical processing on TBARS and hexanal values. *Meat Science*, 64(1), 19-25. doi:10.1016/S0309-1740(02)00132-8
- Bender, N.E. (2016). Historic bottle and jar closure. Vol. 6. Walnut Creek, CA: Left Coast Press.
- Butz, P., Bogner, A., Dieterich, S., & Tauscher, B. (2007). Effect of high-pressure processing at elevated temperatures on thiamin and riboflavin in pork and model systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(4), 1289-1294. doi:10.1021/jf0626821
- Calvo, M. (2005). Desarrollo histórico de la Ciencia y la Tecnología de los Alimentos. Actas V curso de verano interdisciplinar Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Caspe.
- Cheftel, J. C. (1992). Effect of high hydrostatic pressure on food constituents: An overview. *High Pressure and Biotechnology*, 195-209.
- Cheftel, J. C. (1995). Review : High-pressure, microbial inactivation and food preservation / revision: Alta-presión, inactivación microbiana y conservación de alimentos. *Food Science and Technology International*, 1(2-3), 75-90. doi:10.1177/108201329500100203
- Cheftel, J. C., & Culioli, J. (1997). Effects of high pressure on meat: A review. *Meat Science*, 46(3), 211-236. doi:10.1016/S0309-1740(97)00017-X
- Elamin, W.M., Endan, J.B., Yosuf, Y.A., Shamsudin, R. y Ahmedov, A. (2015). High Pressure Processing Technology and Equipment Evolution: A Review [Imagen]. Recuperado de *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 8(5), 75-83.
- Featherstone, S. (2012). A review of development in and challenges of thermal processing over the past 200 years – A tribute to Nicolas Appert. *Food Research International*, 47(2), 156-160.
- Gavroglu, K. (2014). Historiographical issue in the history of cold. In K. Gavroglu (Ed.), *History of artificial cold, scientific, technological and cultural issues* (pp. 1-17). Netherlands: Springer.

- Gupta, R. y Balasubramaniam, V.M. (2012). High-Pressure Processing of Fluid Foods [Tabla]. Recuperado de Cullen, P.J., Tiwari, B.K. and Valdramidis, V.P. (Ed.), *Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Fluid Foods*. (pp. 109-133). Elsevier Inc.
- Hernández, A., & Cano, M. P. (1998). High-pressure and temperature effects on enzyme inactivation in tomato puree. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(1), 266-270. doi:10.1021/jf970455g
- Hiperbaric (2012). *Pescados y mariscos* [Imagen]. Recuperado de: <http://www.hiperbaric.com/es/pescados>
- Hiperbaric (2012). *¿Qué es la alta presión?* [Imagen]. Recuperado de: <http://www.hiperbaric.com/es/alta-presion>
- Hiperbaric (2012). *Aguacate* [Imagen]. Recuperado de: <http://www.hiperbaric.com/media/uploads/productos/ficha/verfruco.jpg>
- Homma, N., Ikeuchi, Y., & Suzuki, A. (1994). Effects of high pressure treatment on the proteolytic enzymes in meat. *Meat Science*, 38(2), 219-228. doi:10.1016/0309-1740(94)90111-2
- Linton, M. (2000). The combined effect of high pressure and storage on the heat sensitivity of Escherichia coli O157:H7. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 1(1), 31-37. [http://dx.doi.org/10.1016/s1466-8564\(00\)00002-3](http://dx.doi.org/10.1016/s1466-8564(00)00002-3)
- Linton, M., McClements, J. M. J., & Patterson, M. F. (2000). The combined effect of high pressure and storage on the heat sensitivity of escherichia coli O157:H7. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 1(1), 31-37. doi:10.1016/S1466-8564(00)00002-3
- McClements, J. M. J., Patterson, M. F., & Linton, M. (2001). The effect of growth stage and growth temperature on high hydrostatic pressure inactivation of some psychrotrophic bacteria in milk. *Journal of Food Protection*, 64(4), 514-522. doi:10.4315/0362-028X-64.4.514
- McInerney, J. K., Seccafien, C. A., Stewart, C. M., & Bird, A. R. (2007). Effects of high pressure processing on antioxidant activity, and total carotenoid content and availability, in vegetables. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8(4), 543-548. doi:10.1016/j.ifset.2007.04.005
- Mertens, B., & Deplace, G. (1993). Engineering aspects of high-pressure technology in the food industry. *Food Technology*, 47, 164-169.
- Ogawa, H., Fukuhisa, K., Kubo, Y., & Fukumoto, H. (1990). Pressure inactivation of yeasts, molds, and pectinesterase in satsuma mandarin juice: Effects of juice concentration, pH, and organic acids, and comparison with heat sanitation. *Agricultural and Biological Chemistry*, 54(5), 1219-1225. doi:10.1080/00021369.1990.10870118

- Okamoto, M., Kawamura, Y., & Hayashi, R. (1990). Application of high pressure to food processing: Textural comparison of pressure- and heat-induced gels of food proteins. *Agricultural and Biological Chemistry*, 54(1), 183-189. doi:10.1080/00021369.1990.10869911
- Patterson, M. (2014). High-Pressure Treatment of Foods [Tabla]. Recuperado de Encyclopedia of Food Microbiology, 2, 206-212. doi: 10.1016/B978-0-12-384730-0.00164-6
- Raso, J. (s/f). *Altas Presiones Hidrostáticas Para Mejorar la Calidad y Seguridad de Carnes, Pescados y Derivados*. [Figura] [Presentación en Powerpoint] Universidad de Zaragoza.
- Russell, A. D. (1982). *The destruction of bacterial spores*. London u.a: Acad. Pr.
- San Martín, M.F., Barbosa-Cánovas, G.V. y Swanson, B.G. (2002). Food Processing by High Hydrostatic Pressure [Figura]. Recuperado de *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 42:6, 627-645. doi:10.1080/20024091054274
- Sánchez-Moreno, C., de Ancos, B., Plaza, L., Elez-Martínez, P., & Cano, M. P. (2009). Nutritional approaches and health-related properties of plant foods processed by high pressure and pulsed electric fields. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49(6), 552-576. doi:10.1080/10408390802145526
- Sangronis E., Pothakamury, U., Ramos, A. M., & Barbosa-Cánovas G. V. (1997). La alta presión hidrostática: Una alternativa en el procesamiento no térmico de alimentos, *Alimentaria*, 35, 33-43.
- Smelt, J. P. P. M. (1998). *Recent advances in the microbiology of high pressure processing* Elsevier Ltd. doi:10.1016/S0924-2244(98)00030-2
- Sun, D. (2008). *Emerging technologies for food processing* (1st ed., pp. 1-60). Amsterdam [etc.]: Elsevier Academic.
- Tauscher, B. (1995). Pasteurization of food by hydrostatic high pressure: chemical aspects. *Zeitschrift Für Lebensmittel-Untersuchung Und -Forschung*, 200(1), 3-13. <http://dx.doi.org/10.1007/bf01192901>
- Thorne, S. (1996). *The History of Food Preservation*. Londres: Parthenon Publishing.
- Ting, E.Y. y Marshall, R.G. (2002). Production issues related to UHP food. En J. Welti-Chanes, G.V. Barbosa-Cánovas & J.M. Aguilera (Eds.), *Engineering and Food for the 21st Century* (pp. 727-738). Food Preservation Technologies Series, Boca Ratón: CRC Press.
- Verlinde, P., Oey, I., Hendrickx, M., & Van Loey, A. (2008). High-pressure treatments induce folate polyglutamate profile changes in intact broccoli (brassica oleraceae L. cv. italica) tissue. *Food Chemistry*, 111(1), 220-229. doi:10.1016/j.foodchem.2008.03.065
- Zhang, H., Barbosa-Cánovas, G., & Balasubramaniam, V. (2011). *Nonthermal processing technologies for food* (1st ed., pp. 43-124). Chichester, West Sussex, UK: Wiley-Blackwell/IFT Press.