



FACULTAD DE FARMACIA
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE

TRABAJO FIN DE GRADO

**TÍTULO: Conservación de alimentos por altas
presiones hidrostáticas**

Autor: Patricia Ruiz Escolante

Tutor: Maria Dolores Tenorio Sanz

Convocatoria: Junio 2017

1. RESUMEN	4
2. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.	4
3. OBJETIVOS.	5
4. METODOLOGÍA	6
5. RESULTADOS Y DISCURSIÓN.....	6
5.1 Sistemas y equipos generadores de HPP	6
5.2 Efecto de las altas presiones sobre los microorganismos.	8
5.2.1 Alteraciones morfológicas.....	9
5.2.2 Alteraciones de los mecanismos genéticos.	10
5.2.3 Alteraciones de la actividad enzimática.	10
5.2.4 Inactivación de esporas bacterianas.	10
5.2.5 Efectos sobre virus y parásitos.	11
5.3 Efecto de las altas presiones sobre los componentes de los alimentos.....	11
5.3.1 Efectos sobre el agua.....	12
5.3.2 Efectos sobre los lípidos.....	12
5.3.3 Efectos sobre los hidratos de carbono.	13
5.3.4 Efectos sobre las proteínas.	13
5.3.5 Efecto sobre las vitaminas.....	13
5.3.6 Efectos sobre los componentes bioactivos.	14
5.4 Calidad sensorial de los alimentos presurizados.	14
5.5 Oportunidades sensoriales de los alimentos HPP.....	16
5.5.1 Productos frescos mínimamente procesados y libres de aditivos.	16
5.5.2 Productos con alto riesgo comercial para el productor debido a la presencia de patógenos.	16
5.5.3 Productos termolábiles de alto valor añadido.	16
5.5.4 Productos procesados a alta presión y baja temperatura.	17
6. CONCLUSIONES	17
7. BIBLIOGRAFIA	18

1. RESUMEN

A lo largo de los tiempos se han utilizado diferentes métodos para conservar los alimentos. En la actualidad los consumidores demandan alimentos menos procesados y con unas características similares a las de los productos frescos, algo que no es posible con los tratamientos térmicos tradicionales. Debido a esto, la conservación con altas presiones hidrostáticas es una práctica cada vez más común en la industria alimentaria, ya que con un mínimo procesado, que mantiene las características nutricionales y organolépticas, conseguimos alimentos microbiológicamente seguros.

2. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.

Podemos definir como conservación de alimentos todas las acciones realizadas para prolongar la vida útil de los alimentos, de forma que mantengan un alto grado de calidad higiénica, nutricional, sensorial y tecnológica.

La mayoría de las técnicas de conservación de los alimentos se basan en la destrucción o prevención del desarrollo de microorganismos, utilizando factores que influyen en su supervivencia, como la temperatura, el pH, presencia o ausencia de oxígeno, etc.

Desde la antigüedad el ser humano ha buscado formas para conservar los alimentos, manteniendo, en la medida de lo posible, sus características organolépticas intactas.

Tradicionalmente los métodos de conservación han usado los cambios de temperatura, ya sea aplicando calor o frío. Estos, aunque han demostrado ser eficaces en la esterilización de alimentos, modifican la calidad sensorial (puede cambiar la textura, el sabor o el color), y la calidad nutritiva (principalmente pérdida de vitaminas). Los métodos térmicos tradicionales más utilizados son la pasteurización y la esterilización. La primera se usa comúnmente en alimentos con una alta acidez y el método más común de pasteurización se basa en la aplicación de altas temperaturas durante un periodo de tiempo corto (en el caso de la leche 72°C durante 15 segundos). La esterilización es un tratamiento más severo, dirigido a productos de baja acidez; y utiliza temperaturas de unos 121°C durante varios minutos.

En las últimas décadas los consumidores se han vuelto más exigentes con los productos que consumen, y buscan en los alimentos características similares al alimento fresco, alta

calidad sensorial y contenido nutricional. Buscan productos naturales, libres de químicos y/o aditivos ⁽²⁾.

Por ello se han desarrollado las nuevas técnicas de conservación, en las que se utilizan procesos no térmicos, con el fin de minimizar la pérdida de calidad de los alimentos derivada de los procesos tradicionales. Entre estas nuevas técnicas podemos destacar la irradiación, tratamiento a altas presiones hidrostáticas, pulsos eléctricos, pulsos de luz, ultrasonidos y plasma frío. A continuación se explican los fundamentos de dichas técnicas:

- *Irradiación*: Aplicación de radiaciones ionizantes provocando cambios físicos y químicos en las células ⁽¹²⁾.

- *Altas presiones hidrostáticas*: se basa en la transmisión de presión por un fluido al alimento de manera uniforme e instantánea, lo que provoca un cambio en la permeabilidad de la membrana celular ⁽¹²⁾.

- *Pulsos eléctricos de alta intensidad de campo*: se produce la rotura de la pared celular por la aplicación de un voltaje elevado en un corto periodo de tiempo ⁽¹²⁾.

- *Pulsos de luz*: utilización de pulsos de luz de alta intensidad para asegurar la muerte microbiológica en la superficie de los alimentos ⁽¹²⁾.

- *Ultrasonidos*: se fundamenta en la deformación de materiales ferroelectricos. Está asociado a fenómenos de cavitación gaseosa.

- *Plasma frío*: el mecanismo específico de inactivación microbiana por plasma no se conoce con precisión. El plasma es una fuente de fotones UV, partículas cargadas, radicales libres y átomos y moléculas excitadas o no, con una gran capacidad antimicrobiana.

3. **OBJETIVOS.**

En este trabajo se pretende explicar, desde un punto de vista científico, la conservación de alimentos mediante el método de altas presiones hidrostáticas (desde ahora HPP, por su nombre en inglés High pressure processing). Se abordará el estudio del fundamento de dicho método, de los equipos utilizados, los efectos que tiene sobre microorganismos y enzimas y alimentos en los que se aplica.

4. METODOLOGÍA

Se realiza una revisión bibliográfica consultando las bases de datos Medline, PubMed, Scielo, Scencedirect, Google Académico y la editorial Elsevier utilizando las palabras clave high hydrostatic pressure food processing y high pressure processing in food preservation. La revisión se hizo sobre los estudios publicados desde el año 2000 a la actualidad, con la finalidad de recopilar los avances más recientes.

5. RESULTADOS Y DISCURSIÓN

Se entiende por alta presión a la tecnología con la que se tratan los materiales a presiones entre los 100 y los 1000 MPa. La HPP fue adoptada y adaptada a la industria alimentaria a partir del proceso utilizado desde la antigüedad en la industria cerámica. Las variaciones en el proceso dependen de cada producto específico y la presión es transmitida por un fluido, que puede ser un gas o agua ⁽¹³⁾.

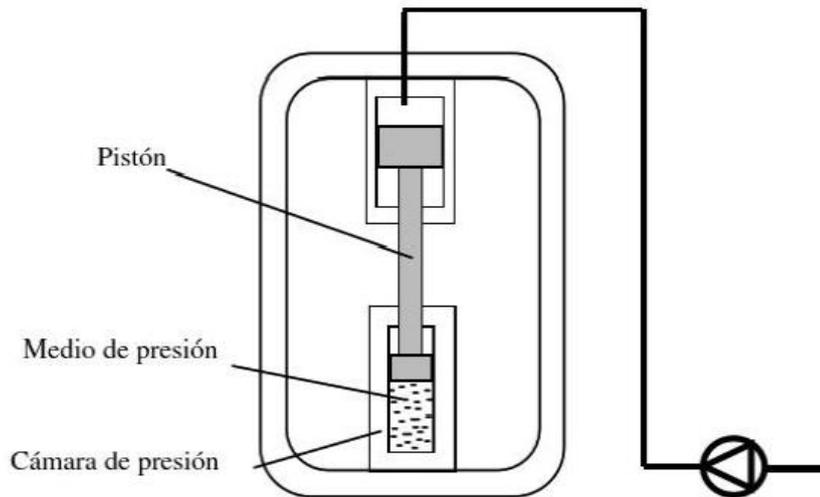
5.1 Sistemas y equipos generadores de HPP

Un equipo industrial de alta presión consta de una cámara de presión y su sistema de cierre, un sistema de generación de presión, un sistema de control de la temperatura y un sistema de manipulación del producto, que puede estar más o menos industrializado ⁽¹²⁾.

La cámara de presión es el componente más importante del equipo de alta presión. En muchos casos está construido con una aleación de aceros (monocapa), pero las presiones generadas son limitadas. Si se requieren presiones superiores, se utilizan diseños de cámaras construidas con aceros multicapa.

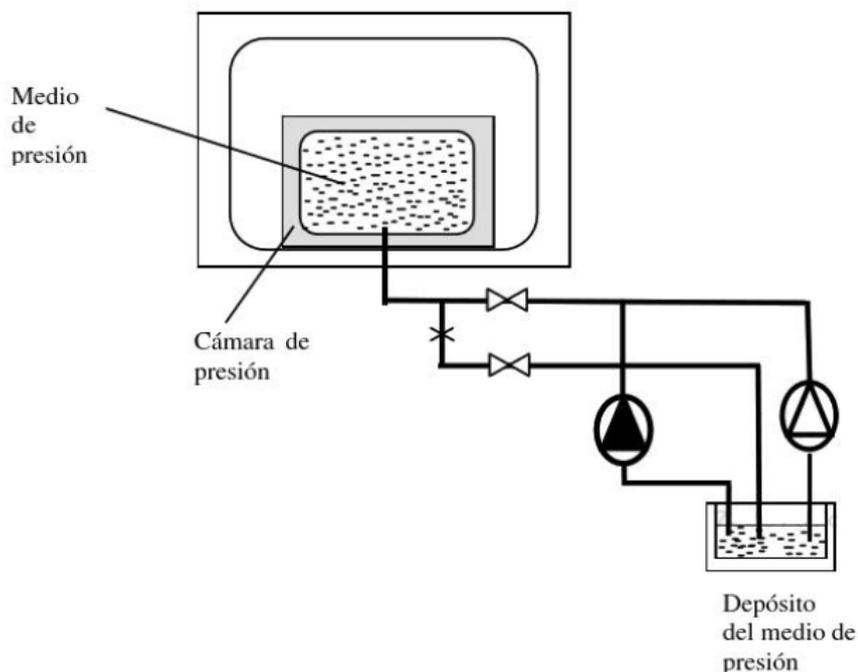
El sistema de aplicación de presión, normalmente es agua potable, con una pequeña cantidad de aceite soluble que se utiliza para lubricar y evitar corrosión. La alta presión se puede producir mediante tres métodos, compresión directa, compresión indirecta y calentamiento de medio de presión.

Para lograr la compresión directa se emplea un pistón para presurizar; la alta presión es generada por la presurización del medio a través del extremo del pistón de diámetro pequeño. Este método permite compresiones muy rápidas pero las limitaciones de sellado entre el pistón y la superficie interna de la vasija restringe su uso a laboratorios ⁽¹⁷⁾.



Instalación de alta presión con compresión directa del medio de presión (M. Raventós, 2003)

En el método de compresión indirecta, se usa un intensificador de alta presión para bombear el medio presurizante desde un depósito hacia la cámara de presurización y así se alcanza la presión deseada. Este es el método más utilizado a nivel industrial ⁽¹⁷⁾.



Instalación de alta presión por compresión indirecta del medio de presión (M. Raventós, 2003).

El calentamiento de medio de presión utiliza la expansión del medio de presión mediante el aumento de la temperatura para generar alta presión. Se requiere un control muy preciso de la temperatura dentro del volumen interno total de la cámara de presurización. Este método no

suele utilizarse en las aplicaciones del tratamiento de altas presiones en la industria alimentaria, ya que esta técnica se utiliza como tratamiento no térmico del alimento.

El alimento se coloca en un recipiente de plástico estéril, se sella y se introduce en la cámara de presurización para su procesamiento. No hay posibilidad de deformación porque la presión ejercida es uniforme. La cámara de despresurización, donde se introduce el alimento, se cierra y se llena con el medio de transmisión de la presión. La presión aplicada comprime el medio transmisor alrededor del alimento provocando una disminución del volumen que varía según la presión y la temperatura aplicadas. Al finalizar el proceso la cámara se descomprime y se extrae el alimento tratado. Seguidamente se coloca una nueva carga ⁽¹⁷⁾.

5.2 Efecto de las altas presiones sobre los microorganismos.

La tecnología HPP inactiva los microorganismos al interrumpir las funciones celulares responsables de la reproducción y supervivencia, sin necesidad de utilizar temperaturas elevadas.

La extensión del efecto de HPP sobre la inactivación microbiana depende de variables de tratamiento como presión, tiempo y temperatura de exposición, además de la composición de los alimentos involucrados ⁽¹⁵⁾.

Los parámetros críticos para la inactivación microbiana por HPP se pueden dividir en primarios y secundarios.

- *Factores primarios*: además del tipo de microorganismo, la composición del alimento, el nivel de presión y el tiempo de tratamiento, los parámetros críticos son el pH, la actividad del agua (a_w) y la temperatura. Se ha investigado la combinación de estos parámetros y se ha llegado a la conclusión que los microorganismos son más susceptibles a la temperatura a bajos pH y la recuperación de células dañadas es menor. Una reducción de la actividad del agua tiene un efecto protector en los microorganismos frente a la presión. Por último las temperaturas de tratamiento por encima o por debajo de la temperatura ambiente tienden a aumentar la tasa de inactivación de microorganismos ⁽¹⁹⁾.

- *Factores secundarios*: influyen en la efectividad del HPP, por ejemplo el potencial redox o la composición del medio donde los microorganismos están dispersos.

El mayor grado de inactivación sobre los microorganismos se lleva a cabo en la etapa logarítmica de crecimiento. Los microorganismos Gram negativos son los más sensibles a las

altas presiones; les siguen las levaduras, hongos, los Gram positivos y por ultimo las esporas (17).

Producto Alimentario	Condiciones de tratamiento*	Función de la Alta Presión	Referencia
Maiz	500 MPa, 5 min.	Destrucción de la estructura cristalina del almidón	Hibi <i>et al.</i> , 1993
Sorgo	500 MPa, 5 min.	Mejora en la calidad de la malta de sorgo	Dewar <i>et al.</i> , 1994
Zanahoria	400 MPa, -20°C	Mejora en la textura y estructura histológica	Fuchigami <i>et al.</i> , 1997
Kimu-tofia (extracto de soja)	400 MPa, -20°C	Mejora en la textura y estructura histológica	Fuchigami y Teramoto, 1997
Koumyaku (gel proteico)	700 MPa, -20°C	Mejora de la textura del gel	Fuchigami y Teramoto, 1997
Carne cruda de vaca	100-150 MPa, 30-40 min., 20°C	Acelera la maduración, mejora la vida útil y provoca ablandamiento	Cheffel, 1995
Pastel de arroz	400 MPa, 10 min, 45-70°C	Reducción de la carga bacteriana de la materia prima	Cheffel, 1995
Salchichas y pasteles de pescado	400 MPa	Gelatinización, disminución de la carga bacteriana	Cheffel, 1995
Sake (aguardiente de arroz)	Presurización de partículas insolubles	Inactivación de las levaduras, se detiene la fermentación	Cheffel, 1995
Mermeladas, yogur, salsas, gelatinas de frutas, geles	400 MPa, 10-30 min, 20°C	Pasteurización, facilita la penetración de azúcar y la formación de geles	Cheffel, 1995
Zumo de pomelo	120-400 MPa, 2-20 min, 20°C	Reducción del sabor amargo	Cheffel, 1995
Zumo de mandarina	300-400 MPa, 2-3 min, 20°C	Mejora del aroma	Cheffel, 1995
Zumo de guava	400-600 MPa, 10 min	Aumenta la viscosidad de forma más suave que la pasterización	Yen y Lin, 1998
Abadejo	200 MPa, 50 °C	Aumento en la consistencia	Park, 2000
Merluza	400 MPa, 3 ciclos: 5 min, 7°C	Prolonga 2 semanas la vida útil	Hurtado <i>et al.</i> , 2000
Lechuga y tomate	300 MPa, 10 min, 20°C	Reduce en 1 log la población microbiana	Arroyo <i>et al.</i> , 1997

* El tratamiento se realizó a temperatura ambiente si no se especifica la temperatura.

Tabla 1.- Efecto de la alta presión hidrostática (HPP) en ciertas características fisiológicas de los microorganismos (S.J. Téllez-Luis, 2001)

5.2.1 Alteraciones morfológicas.

Las vacuolas gaseosas se comprimen, se produce un alargamiento de la célula, la separación de la membrana y la pared celular, la contracción de la pared celular con formación de poros, la formación de filamentos, ciertas modificaciones en el núcleo y orgánulos intracelulares, la coagulación de proteínas citoplasmáticas, la liberación de constituyentes intracelulares hacia el exterior de la célula, etc. (12).

La presencia de compuestos del líquido intracelular en el fluido de suspensión extracelular después de un tratamiento de presión demuestra que cuando las células se someten a condiciones de presión se dañan las membranas.

Investigaciones de Velázquez y col, 2005 reflejan que el tratamiento de *Leuconostoc mesenteroides* durante 5 minutos a 345MPa y 25°C alteró las membranas celulares modificando su permeabilidad. Este daño redujo el potencial de gradiente a través de la membrana limitando la síntesis celular de ATP, lo cual activó la autólisis de las paredes celulares.

5.2.2 Alteraciones de los mecanismos genéticos.

Se ha observado una disminución de la síntesis del ADN a altas presiones. Ésta se relaciona con la inactivación de las enzimas implicadas en dicha síntesis. La doble hélice del ADN permanece estable debido a que los enlaces de hidrogeno no se alteran con este proceso de conservación. La desnaturalización de las proteínas es irreversible por encima de los 300MPa., pero la replicación y la transcripción del ADN, así como la síntesis de las proteínas, se inhiben a niveles de presión mucho menores. Este fenómeno explica parcialmente la ausencia del desarrollo microbiano con los tratamientos de presiones antes mencionados ⁽¹¹⁾.

5.2.3 Alteraciones de la actividad enzimática.

Los sistemas enzimáticos de las células pueden ser inhibidos o activados mediante la aplicación de altas presiones. La inactivación de las enzimas ocurre por la alteración de las estructuras intramoleculares o cambios conformacionales en los puntos activos. La reactivación después de la descompresión depende del grado de distorsión de la molécula, y disminuye con un aumento de la presión por encima de 300MPa.

Un ejemplo de inactivación enzimática es la ATPasa de la *Escherichia coli*, involucrada en el transporte activo a través de la membrana. La actividad de la ATPasa Na^+/K^+ de la membrana celular se reduce por la presión debido a la desnaturalización directa o por la dislocación de la membrana. El ATP ya no se hidroliza, y por lo tanto, ya no está disponible para llevar a cabo el transporte activo de protones, el pH celular se acidifica y la célula finalmente muere ⁽¹⁷⁾.

5.2.4 Inactivación de esporas bacterianas.

Una de las operaciones más difíciles en la conservación de los alimentos es la inactivación de las esporas bacterianas, que aunque se puede conseguir mediante la aplicación de tratamientos térmicos convencionales, no es recomendable ya que el calor afecta a la calidad de los alimentos destruyendo nutrientes termolábiles.

Generalmente en la inactivación de las esporas se necesitan combinaciones de presión y temperatura adecuadas. La primera etapa se realiza a baja presión (50-200MPa) y se consigue la germinación de la spora. Posteriormente si la presión y/o temperatura es suficientemente alta, se puede inactivar la spora germinada, ahora sensible a presión. Aun así, existen esporas que pueden permanecer en latencia extrema y no germinan ⁽¹²⁾.

La germinación inducida por presión parece provocarse por la ionización de los constituyentes de las esporas. Las presiones y temperaturas bajas causan la germinación, pero no hay inactivación apreciable en las esporas germinadas. Las presiones intermedias provocan una germinación considerable y se inactiva una proporción elevada de esporas germinadas. Las presiones altas causan menos germinación y solo una pequeña proporción de las esporas germinadas resulta inviable.

La germinación iniciada por tratamientos de HPP bajos es dependiente de los constituyentes del medio. Los aminoácidos alanina y riboniacina actúan como potenciadores efectivos de la presión en la germinación de *Bacillus cereus*. El azúcar y la sal son inhibidores efectivos en la inactivación de las esporas. La presencia de glucosa, sacarosa y glicerol disminuye la eficiencia en la inactivación ⁽¹⁷⁾.

Para la distribución de los productos HPP actualmente en el mercado se necesita refrigeración, actividad acuosa (a_w) reducida o bajo pH para prevenir la germinación de las esporas bacterianas ⁽¹⁸⁾.

5.2.5 Efectos sobre virus y parásitos.

Algunos virus encapsulados son inactivados a 300MPa y 25°C durante 10 minutos. A 400MPa el poder de inactivación de estos virus se reduce a 7 o 4 ciclos logarítmicos. La presión daña la capsula viral y previene la adhesión de las partículas víricas a las células. Esto sugiere que el procesado por altas presiones en muestras biológicas contaminadas por virus podrá ser factible ⁽¹²⁾.

Por lo que respecta a los parásitos presentes en diferentes carnes y pescados, se conoce que son inactivados mediante procesado por HPP ⁽¹²⁾.

5.3 Efecto de las altas presiones sobre los componentes de los alimentos.

Algunos de los cambios originados en los alimentos por la presión son similares a los generados por calor. Parte de las diferencias son debidas a las diferencias entre el interior y el exterior en los alimentos en los sólidos, o la zona de contacto con la fuente de calor y el resto de la masa en los líquidos, debido a la necesidad de transferencia de calor por conducción. A menudo las zonas externas han de ser sobrecocinadas para poder garantizar una adecuada cocción en el interior. Por el contrario, los cambios originados por presión son isostáticos, lo

que hace que serán prácticamente instantáneos y uniformes en todo el sistema, por lo que es independiente del volumen y la geometría de la muestra.

5.3.1 Efectos sobre el agua.

Los efectos de la alta presión sobre el agua son de gran importancia, ya que es el medio utilizado para transmitir la presión.

La disociación iónica del agua se ve aumentada por la presión, con un descenso correspondiente del pH. Esta disminución del pH puede provocar la desnaturalización de proteínas y la inactivación microbiana en los alimentos. Los efectos de la disociación iónica son debidos al fenómeno de electrostricción; la presión causa la separación de las cargas eléctricas porque la capa externa organiza las moléculas de agua a su alrededor ⁽¹²⁾.

Las transiciones de fase del agua se ven influidas por la presión. Esto tiene importantes implicaciones prácticas ⁽¹⁹⁾:

- Es posible descongelar alimentos a bajas temperaturas (entre -20 y 0°C) bajo presión.
- Es posible conservar alimentos a temperaturas de 0 y -20°C sin que se congelen si son mantenidos bajo presión.
- Se puede obtener una congelación ultrarrápida cuando primero se presuriza la muestra a 200MPa, después se enfría a -20°C (sin congelar) y posteriormente se despresuriza de forma rápida. La microcristalización resultante es menos perjudicial para la textura de los alimentos que la congelación tradicional.

5.3.2 Efectos sobre los lípidos.

La temperatura de fusión de los lípidos se incrementa, de forma reversible, en 10°C por cada 100MPa. Por esto los lípidos en estado líquido a temperatura ambiente se pueden cristalizar bajo presión. La presión refuerza la formación de cristales más densos y estables.

El tratamiento de HPP puede producir un aumento de la oxidación de los lípidos insaturados del alimento. Se cree que este aumento de la oxidación puede estar relacionado con la desnaturalización de las proteínas causada por presión, que dejan libres iones metálicos que catalizan la oxidación lipídica. Además muestras con un contenido alto de agua experimentan mucha más oxidación que muestras con contenidos bajos ⁽¹²⁾.

5.3.3 Efectos sobre los hidratos de carbono.

Los azúcares libres no resultan afectados por este tratamiento.

La reacción de Maillard se inhibe por la aplicación de presión entre 50-200MPa. En consecuencia, no se produce el desarrollo de sabor y color típicos de esta reacción. Esto puede ser una ventaja o un inconveniente de la aplicación de este proceso en la conservación de los alimentos ⁽¹²⁾.

Con respecto al almidón, el tratamiento con presión modifica la estructura del gránulo de almidón y afecta su susceptibilidad al ataque de la amilasa. Además el almidón puede gelatinizar con HPP o con calor. La presión a la cual gelatiniza el almidón depende de su procedencia y se puede estimular aumentando las temperaturas de presurización.

5.3.4 Efectos sobre las proteínas.

La estructura espacial y la funcionalidad de una proteína se pueden considerar como el resultado del equilibrio conseguido entre una gran serie de fuerzas interactuantes.

Según el principio de Le Chatelier, la deformación de la estructura nativa de la proteína se puede producir, teóricamente, por efecto de la presión, ya que los enlaces implicados en esta disposición tridimensional producen una variación del volumen positiva para el sistema, opuesta al efecto inducido por la presión. La alta presión aplicada a un sistema en el que se encuentre presente una proteína implica el desplazamiento del equilibrio entre la forma nativa y las formas desnaturalizadas ⁽¹²⁾.

Una vez el sistema se ha despresurizado, las proteínas tienden a reorganizarse en una estructura que no depende del efecto de la presión.

5.3.5 Efecto sobre las vitaminas.

En general, las vitaminas no se ven afectadas por el tratamiento de HPP.

La cantidad total de carotenos presentes en frutas y vegetales no se ve afectada por la preservación usando HPP. Un aumento de la cantidad de esta vitamina podría deberse a la pérdida de humedad, y por tanto su concentración. Los efectos de HPP sobre los carotenos dependen del alimento y de los tipos de carotenos estudiados ⁽³⁾.

En cuanto a las vitaminas del grupo B la mayoría de los autores coinciden en que son estables al tratamiento por HPP a temperatura ambiente, y no se producen pérdidas importantes de las mismas ⁽³⁾.

La vitamina C queda relativamente inalterada después de un tratamiento de altas presiones. Varios estudios demostraron que la retención de la vitamina C suele ser superior al 80%, pero la literatura puede ser contradictoria porque se la oxidación es un factor importante en la degradación de la vitamina C y no siempre se tiene en cuenta. Oet et al. descubrieron que dicha vitamina es inestable a altas presiones combinadas con temperaturas por encima de los 65°C.

5.3.6 Efectos sobre los componentes bioactivos.

Los compuestos fenólicos son un gran grupo de fitoquímicos naturales que pueden encontrarse en muchos productos vegetales y tienen una gran capacidad antioxidante. Gracias a esto son capaces de eliminar especies reactivas de oxígeno (ROS) generadas de manera endógena o por carcinógenos químicos. Los flavonoides son los más comunes y ampliamente distribuidos, y dentro de estos las flavonas, los flavonoles, las flavanonas, antocianos e isoflavonas son las más comunes en las frutas ⁽¹⁰⁾.

Estudios realizados sobre los compuestos fenólicos cuando se les aplica alta presión determinaron que estos compuestos no se ven afectados o aumentados en concentración o extracción. En ellos se utilizaron fresas, zarzamoras y frambuesas y se demostró que las antocianinas son relativamente estables. En los tratamientos con HPP no se observaron pérdidas de pelargonidin-3-glucósido, que es la mayor antocianina en la fresa o de cianidina-3-glicósido en las moras ⁽³⁾.

En cuanto a la fibra alimentaria, la preservación a alta presión no afectó la calidad o cantidad de la misma. En un artículo sobre la fibra de la col se comprobó que se modifica la distribución de dicha fibra, aumentando la fibra insoluble y disminuyendo la soluble cuando se somete a un tratamiento de HPP a 400MPa a 20°C ⁽³⁾.

5.4 Calidad sensorial de los alimentos presurizados.

Una de las mayores ventajas de HPP es que consigue la retención de sabores, olores y colores, a diferencia de lo que sucede con los métodos térmicos.

El zumo de pomelo tratado por HPP, a diferencia de los procesos térmicos convencionales, no posee el sabor amargo que le confiere el limoneno. Los zumos de otros cítricos, después del tratamiento con HPP adquieren un sabor fresco, sin pérdida de la vitamina C y con una vida útil de 17 meses. Sin embargo, en el caso de algunos tipos de frutas como las peras se produce un oscurecimiento rápido después del tratamiento con altas presiones debido a que los valores de HPP aplicados incrementan la actividad de la polifenoxidasa ⁽¹⁷⁾.

En la carne y el pescado, los tejidos en pre-rigor mortis tratados con HPP se ablandan y se vuelven opacos. La carne fresca se ablanda en solo 10 minutos y además se incrementa la digestibilidad de sus proteínas, mientras que a presión atmosférica se necesitan 2 semanas para su ablandamiento.

La alta presión provoca la gelatinización del almidón. La alteración en la estructura del almidón y de la proteína aplicando HPP podría ser utilizada en el arroz para cocerlo en pocos minutos. Los cambios en la estructura cristalina del almidón se deben al incremento de la densidad, por consiguiente el mejoramiento de la estructura cristalina disminuye la densidad del grano.

Los huevos sometidos a altas presiones no tienen el sabor y el olor sulfurosos característico provocado por calentamiento. El calor produce la formación de lisinolanina, promotora de estas características. Además la lisinolanina limita la asimilación de aminoácidos en el cuerpo humano ⁽⁷⁾.

El aumento de la acidez del yogur durante su almacenamiento se puede prevenir si se trata entre 200 y 300MPa durante 10 minutos a 10°C. Así se consigue mantener la concentración inicial de bacterias lácticas evitando que se reproduzcan.

Aunque las características sensoriales de los alimentos en la mayoría de los casos mejoran o no sufren modificaciones con la HPP, en otros si se alteran y algunas veces de forma indeseable. La influencia de la HPP en las características organolépticas de los alimentos depende del tipo de alimento y de las condiciones de presurización y no se puede generalizar, hay que estudiar cada caso en particular antes de plantearse la comercialización de un producto presurizado.

5.5 Oportunidades sensoriales de los alimentos HPP.

5.5.1 Productos frescos mínimamente procesados y libres de aditivos.

Un ejemplo clásico es el procesamiento por alta presión del aguacate. El proceso de conservación del guacamole requiere niveles de presión menores a 600 MPa por minuto. El aguacate tratado por altas presiones fue aceptado rápidamente en el mercado de los Estados Unidos debido a que hasta ese momento no se había satisfecho la demanda del consumidor por un producto con una vida comercial aceptable, fácil de usar y libre de aditivos químicos ⁽¹⁸⁾.

El queso fresco, de color blanco y textura suave tiene un sabor moderadamente salado y no se funde cuando se calienta. Tradicionalmente se preparaba con leche cruda, pero hoy en día debe prepararse con leche pasteurizada. Una oportunidad de interés comercial es la posibilidad de producir queso fresco tratado por HPP sin recurrir a tratamientos térmicos para inactivar patógenos. La pasteurización daña propiedades importantes para la fabricación del queso, inactivando enzimas que participan en el desarrollo del sabor durante su procesamiento y almacenamiento ⁽⁶⁾. El tratamiento térmico del queso asegura su inocuidad pero causa olores y sabores no deseados. No se ha estudiado todavía la viabilidad de las bacterias prebióticas después del tratamiento HPP y no se ha estudiado si la composición, textura y sabor se altera, pero sugiere una oportunidad en la fabricación de quesos frescos.

5.5.2 Productos con alto riesgo comercial para el productor debido a la presencia de patógenos.

Los productores de pescados y mariscos ahumados en frío no pueden garantizar la inocuidad de los productos y podrían presentarse casos de contaminación con *Listeria monocytogenes*. Esto podría reducirse con un proceso de HPP y reformulaciones del producto con el objetivo de lograr 5 reducciones decimales de *L.monocytogenes* con un mínimo daño del producto ahumado ⁽¹⁸⁾.

5.5.3 Productos termolábiles de alto valor añadido.

Los consumidores han mostrado un creciente interés por los alimentos funcionales o biológicamente activos. La tecnología HPP es capaz de lograr productos para este mercado, con bajos contenidos microbianos y libres de patógenos, sin alterar la composición y la actividad biológica ⁽¹⁸⁾.

5.5.4 Productos procesados a alta presión y baja temperatura.

Una interesante aplicación sería la descongelación de alimentos con alta presión. Al aplicar presión a un alimento congelado, se produce la descongelación al llegar a la temperatura del cambio de fase, la cual será menor a 0°C. Una vez concluida la descongelación bajo presión, se incrementa la temperatura por encima de los 0°C y se descomprime. Este proceso se ha aplicado a atún y surimi congelados observándose tiempos de descongelación menores que los descongelados a presión atmosférica ⁽¹⁸⁾.

6. CONCLUSIONES

La conservación por altas presiones hidrostáticas cada vez tiene más aplicaciones en la industria alimentaria. Sin embargo, aún es un proceso caro, que no puede realizarse de manera continua.

Pese a sus limitaciones, los productos obtenidos tienen una alta calidad y unas características organolépticas muy similares a los productos frescos, por lo que en un futuro cercano se buscarán nuevas aplicaciones a esta técnica y las tecnologías no térmicas terminarán desbancando a las tecnologías tradicionales.

7. BIBLIOGRAFIA

- (1) Andreou, V., Dimopoulos, G., Katsaros, G., Taoukis, P. (2016). Comparison of the application of high pressure and pulsed electric fields technologies on the selective inactivation of endogenous enzymes in tomato products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 38, 349-355.
- (2) Barbosa-Cánovas, G.V., Bermúdez-Aguirre, D., (2010). Procesamiento no térmico de los alimentos Nonthermal processing of food. *Scientia Agropecuaria* 1, 81-93.
- (3) Barret, D.M., Lloyd B. (2012). Advanced preservation methods and nutrient retention in fruits and vegetables. *J Sci Food Agric* 92, 7-22.
- (4) Fernández-Ávila, C., Gutiérrez-Mérida, C., Trujillo, A.J. (2017). Physicochemical and sensory characteristics of a UHT milk-based product enriched with conjugated linoleic acid emulsified by Ultra-High Pressure Homogenization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 39, 275-283.
- (5) Fernández-Avila, C., Trujillo A.J. (2016). Ultra-high pressure homogenization improves oxidative stability and interfacial properties of soy protein isolate-stabilized emulsions. *Food Chemistry* 209, 104-113.
- (6) Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan, T.M., Sweeney, P.L. (2000). In fundamentals of Cheese Science, *Cheese Yield*, 9, 169-202, Aspen Publishers, Maryland.
- (7) Hayashi, R. (1989). Application of high pressure to food processing and preservation: philosophy and development. *Engineering and Food*, 2, 815-826.
- (8) Hygrieva, D., Pandey, M.C. (2016). Novel approaches in improving the quality and safety aspects of processed meat products through high pressure processing technology. *Trends in Food Science and Technology* 54, 175-185.
- (9) Oey, I., Plancken, I., Van der Loey, A. Hendrickx, M., (2008). Does high pressure processing influence nutritional aspects of plant based food system? *Trends Food Sci Technol* 19, 300-308.
- (10) Oms-Oliu, G., Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., Elez-Martinez, P., Martín-Belloso, O. (2012). Stability of heat-related compounds in plant foods through the application of non thermal processes. *Trends in Food Science & Technology* 23, 111-123.
- (11) Pothakamury, U.R., Barbosa-Cánovas, G., Swanson, B.G. (1995). The pressure builds for better food processing, *Chem. Eng. Progress. March*. 45-53.

- (12) Raventós, M. *Industria alimentaria: tecnologías emergentes*. Barcelona. ES: Universitat Politècnica de Catalunya, 2003. *ProQuest ebrary*. Web. 21 February 2017.
- (13) San Martín, M.F., Barbosa-Cánovas G.V., & Swanson, B.G. (2002). Food Processing by High Hydrostatic Pressure, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 42:6, 627-645, DOI:10.1080/20024091054274.
- (14) Sancho, F., Lambert, Y., Demazeau, G., Largeteau, A., Bouvier, J.M., Narbonne, J.F. (1999). Effect of ultra high hydrostatic pressure on hidrosoluble vitamins. *J. Food Eng.* 39, 247-253.
- (15) Sangronis, E., Pothakamury, U., Ramos, A.M., Ibarz, A., Barbosa G.V. (1997). La alta presión hidrostática: una alternativa en el proceso no térmico de los alimentos. *Alimentaria* 33, 32-43.
- (16) Sanz- Puig, M., Moreno, P., Pina-Pérez, M.C., Rodrigo, D., (2017). Combined effect of high hydrostatic pressure (HPP) and antimicrobial from agro-industrial by products against *S.Typhimurium*. *Food Science and Technology* 77, 126-133.
- (17) Téllez-Luis, S.J., Ramírez, J.A., Pérez-Lamela, C., Simal-Gándara, J. (2001). Aplicación de la alta presión hidrostática en la conservación de alimentos Application of high hydrostatic pressure in the food preservation Aplicación da alta presión hidrostática na conservación dos alimentos, *Ciencia y tecnología alimentaria*, 3:2, 66-80, DOI:10.1080/11358120109487649.
- (18) Velázquez, G., Vázquez, P., Vázquez, M., J.A. Torres (2005). Avances en el procesado de alimentos por alta presión Advances in the food processing by high pressure Avances no procesado de alimentos por alta presión. *Ciencia y tecnología alimentaria*, 4:5, 353-367.
- (19) Yaldagard, M., Mortazavi, S.A., Tabatabaie, F. (2008). The principles of ultra high pressure technology and its application in food progressing/preservation: A review of microbiological and quality aspects. *African Journal of Biotechnology* Vol.7