



Interreg
España - Portugal

Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional
Fondo Europeo de Desenvolvimento Regional



UNIÓN EUROPEA
UNÃO EUROPEIA

Inþoace



INSTITUTO TECNOLÓGICO AGROALIMENTARIO DE EXTREMADURA
INSTITUTO TECNOLÓGICO AGROALIMENTARIO DE EXTREMADURA

MANUAL PRÁCTICO DE APLICACIÓN DE ALTAS PRESIONES HIDROSTÁTICAS



Rosario Ramírez¹, M^a Jesús Martín¹, Antonia Trejo¹, Marta Onrubia², J. Delgado-Adámez¹, Cristina Pintado³, Silvina Ferro⁴, Jesús García-Parra¹

¹Instituto Tecnológico Agroalimentario de Extremadura, Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX)*. mariarosario.ramirez@juntaex.es

²Hiperbaric. www.hiperbaric.com

³Instituto Politécnico de Beja (IP Beja)

⁴Centro de Apoio Tecnológico Agro-Alimentar (CATAA)

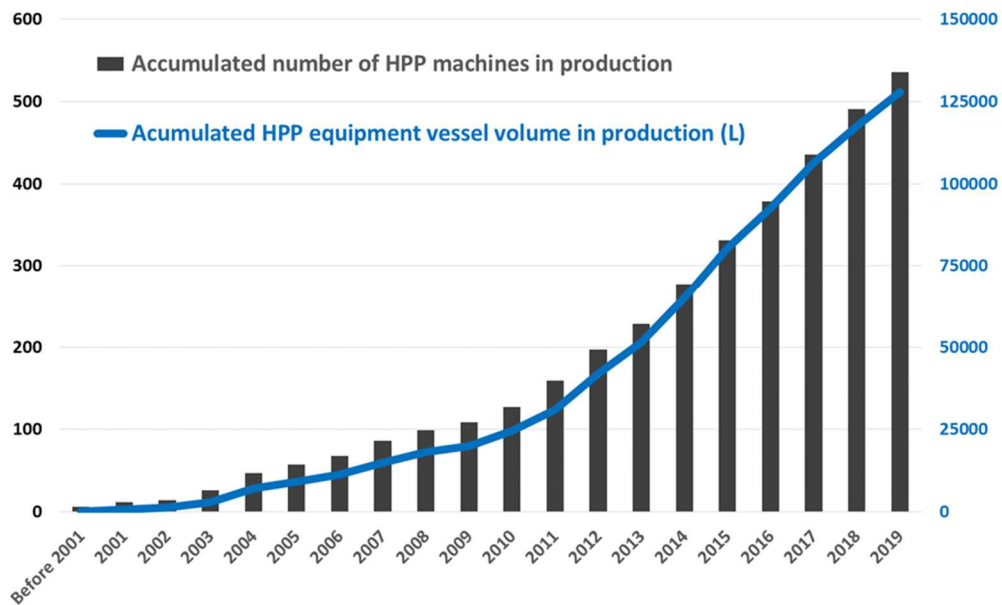
1. TECNOLOGÍA DE ALTAS PRESIONES HIDROSTÁTICAS

El tratamiento térmico es el método tradicionalmente más utilizado para la conservación de alimentos. Aunque esta tecnología es efectiva y económica, en muchos casos produce pérdidas importantes en la calidad de los alimentos. Su principal inconveniente radica en su inespecificidad; el calor además de destruir microorganismos afecta al valor nutritivo y a las propiedades sensoriales de los alimentos.

El consumidor es cada vez más exigente con la calidad de los productos que adquiere. Prima que el producto tenga una alta calidad nutritiva y sensorial, y se persigue reducir la presencia de aditivos. En el fondo, se buscan soluciones al problema de un consumidor escaso en tiempo, pero exigente en la búsqueda de alimentos saludables, seguros, cómodos, apetitosos y económicos. Esta demanda es la desencadenante en los últimos años del desarrollo de los procesos “no térmicos” de alimentos como las altas presiones hidrostáticas, ultrasonidos, pulsos eléctricos, irradiación, etc.

De las tecnologías denominadas como emergentes, el tratamiento de altas presiones hidrostáticas (HHP, del inglés *hydrostatic high pressure*) es el método de procesado con más éxito a nivel industrial. Su aplicación consiste en someter al alimento a elevados niveles de presión hidrostática (400-600 MPa) de forma continua durante tiempos relativamente cortos (de segundos a pocos minutos) a temperatura de refrigeración o ambiente. El efecto pasteurizador *no térmico* de las altas presiones en los alimentos es conocido desde el siglo XIX, pero hasta los años 90 no se desarrollaron los primeros productos. Es desde el año 2000, cuando se ha implementado esta tecnología de forma exitosa en todo tipo de industrias alimentarias alrededor del mundo. Esta línea de investigación permaneció inactiva durante casi un siglo debido a la falta de unidades comerciales apropiadas para el procesado de alimentos. Sin embargo, esta limitación se superó a finales de la década de los ochenta, lo que trajo al mercado el primer producto procesado mediante HHP: un zumo de frutas (en Japón).

Figura 1. Diagrama de evolución del número de unidades de APH instaladas en los últimos años.



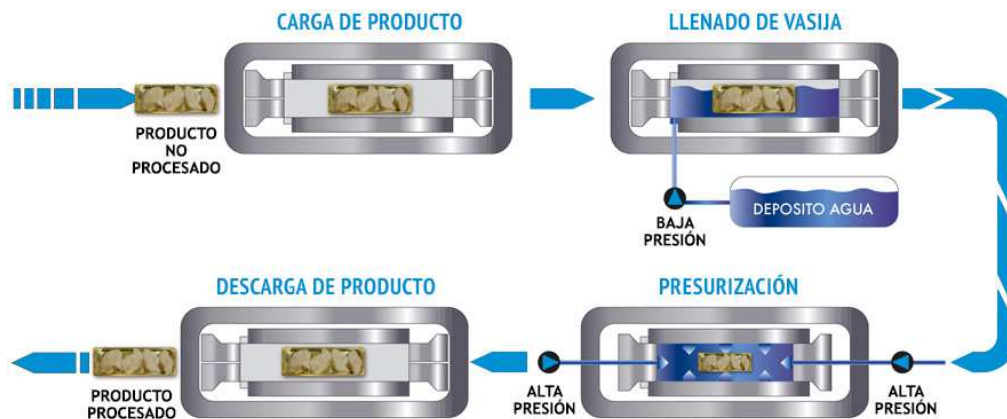
Las ventajas de la implementación comercial de los procesos de alta presión son razones importantes por las cuales esta tecnología ha llegado en poco tiempo al consumidor con una amplia variedad de productos. Por estos motivos, el número de equipos comerciales que están funcionando en el mundo se ha incrementado en los últimos años (Figura 1), y esto es un síntoma de que las empresas están apostando por incrementar la diversidad de sus productos y mejorar su calidad.

El tratamiento de altas presiones inactiva microorganismos patógenos y alterantes de los alimentos mediante el uso de presión en lugar de calor, consiguiendo una reducción en el recuento de microorganismos similar a la pasteurización térmica tradicional, motivo por el cual esta tecnología se conoce también como *Pasteurización Fría*.

Los equipos de alta presión hidrostática empleados en la industria de alimentos están formados, fundamentalmente, por una cámara de presurización (cilíndrica de acero de elevada resistencia), un generador de la presión (generalmente un sistema de bombeo constituido por una bomba hidráulica y un sistema multiplicador de presión) y un sistema de control de temperatura.

En los equipos de alta presión, los alimentos (líquidos o sólidos) envasados con material flexible se colocan en el interior de la cámara de presurización. El sistema de bombeo irá sustituyendo el aire de la cámara por el fluido de presurización hasta su total llenado. Una vez alcanzada la presión deseada, una válvula que cierra el circuito permitirá mantener la presión durante el tiempo estipulado necesario para que el tratamiento sea correcto, y pasar finalmente a la descompresión sin necesidad de un aporte adicional de energía (Figura 2). El fluido transmisor de la presión suele ser agua, de ahí el nombre de alta presión hidrostática, pues es el único permitido a nivel industrial.

Figura 2.- Esquema del proceso de presurización (Fuente Hiperbaric).



El proceso es muy sencillo, consiste en inyectar agua en un cilindro de acero mediante potentes bombas, de modo que introduce en el interior del tanque más volumen del que entraría de forma normal. Así, se alcanzan presiones similares o superiores a las que encontraríamos en la fosa más profunda del océano. Estas condiciones son letales para los microorganismos, sin embargo, la presión altera de forma mínima las propiedades nutricionales, la textura, el color y sabor de los alimentos en comparación con el efecto que tienen las tecnologías térmicas (González-Cebrino et al., 2018; García-Parra, & Ramírez, 2019).

Normalmente el tratamiento se aplica en productos ya envasados (in-pack); sin embargo, recientemente se ha desarrollado un modelo que permite el procesado de líquidos a granel antes de su envasado (in-bulk). Este equipo permite el procesado de bebidas a granel antes del

embotellado (Figura 3), permitiendo utilizar cualquier material para el envasado, y que además permite abaratar considerablemente los costes e incrementar la capacidad de producción.

Figura 3. Imágenes equipos altas presiones hidrostáticas.



En los últimos años han proliferado las empresas que ofrecen el servicio de procesado por altas presiones a otras empresas alimentarias, generalmente conocido como maquila o tolling. Este modelo de negocio permite a cualquier compañía proveer servicios y dar acceso a la tecnología de alta presión a empresas de cualquier tamaño previo a la inversión o la adquisición de la tecnología (Tabla 1). Este modelo es ideal para pequeñas empresas; emprendedores, startups, restauradores y nuevos exportadores encuentran en este servicio la oportunidad de comercializar una gran variedad de productos HPP.

2. EFECTO DE LAS ALTAS PRESIONES HIDROSTÁTICAS SOBRE LOS MICROORGANISMOS

La extensión del efecto de la alta presión sobre la inactivación microbiana depende de variables de tratamiento como:

Tabla 1. Listado de empresas que tienen equipos de altas presiones trabajando en forma de maquila en Europa.

HiFood Tec	https://hifoodtec.be/	Belgium
HPP services	https://hpps-services.be/	Belgium
Aquabar	https://www.aquabar.bg/	Bulgary
HPP centre	https://www.hppcentre.fr/	France
HPP Atlantique	https://hppatlantique.fr/	France
HPP Deutschland	https://hpp-deutschland.de/	Germany
High pressure process Tolling	https://www.hpptolling.com/	Ireland
HPP Italia	https://hppitalia.com/	Italy
SterilParma	https://www.sterilparma.com/	Italy
Fruity line	https://fruity-line.nl/	The Netherlands
Pascal processing	https://www.pascalprocessing.com/	The Netherlands
Accua HPP solutions	https://www.accuahpp.com/	Spain
APA processing	http://apaprocessing.com/	Spain
Fruselva	http://www.fruselva.com/	Spain
Idro	http://idro.es/	Spain
Itacyl	http://www.itacyl.es/	Spain
MRM	http://www.mrm.es/	Spain
HPP Nordic	http://hppnordic.se/	Sweden
HPP competence	https://hppcompetence.ch/	Switzerland
Deli 24	http://deli24.co.uk/	United Kingdom
So Natural	https://www.sonatural.pt/	Portugal
Pascall	https://www.paskalizacja.com/	Polonia

- La intensidad y duración del proceso de alta presión
- La temperatura de procesado
- La composición del alimento (pH, actividad del agua, concentración de solutos)
- El tipo y recuentos iniciales de microorganismos.

En las últimas décadas, se han establecido importantes programas de investigación sobre esta tecnología que han demostrado que con tratamientos de altas presiones se pueden obtener hasta cinco reducciones logarítmicas en los microorganismos que causan el deterioro de alimentos, así como en patógenos tales como *Listeria monocytogenes*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Salmonella typhimurium*, *S. enteritidis* y *Staphylococcus aureus* (Podolak y col., 2020; Sehwat y col., 2020).

El mayor grado de inactivación de los microorganismos se produce en la etapa logarítmica de crecimiento microbiano. En general, los microorganismos Gram negativos son los más sensibles a la presión; le siguen las levaduras y mohos (se consigue su inactivación aplicando presiones del orden 300-400 MPa a temperatura ambiente) (Cheftel, 1995); los Gram positivos; y por último las esporas (son muy resistentes y pueden sobrevivir a presiones de hasta 1000 MPa) (Figura 4). Los virus son igualmente muy resistentes a las altas presiones, aunque depende del tipo de virus (Smelt, 1998). Hasta el momento, el microorganismo esporulado patógeno más resistente a las altas presiones son las esporas del *Clostridium botulinum* no proteolítico (tipo B) (Reddy y col. 2001).

Figura 4. Material de laboratorio para evaluar el efecto de las altas presiones sobre los microorganismos de los alimentos procesados mediante esta tecnología.



El efecto letal que la alta presión ejerce sobre los microorganismos radica fundamentalmente en los cambios que induce en las reacciones bioquímicas, en los mecanismos genéticos y en la pared y membranas celulares (Hoover y col. 1989). La inactivación de los microorganismos por la alta presión puede ser debida a diversos factores como: el incremento de la permeabilidad de la membrana (rotura de las membranas celulares); la inhibición de las reacciones productoras de energía; la desnaturalización de proteínas y enzimas esenciales para el desarrollo y reproducción de la célula (varios sistemas enzimáticos son inhibidos o inactivados por la presión) (Pothakamury y col. 1995) y también a daños en los mecanismos de replicación y de transcripción del material genético (disminución de la síntesis de ADN).

3.- CONSIDERACIONES EN EL ENVASADO PARA EL PROCESADO MEDIANTE ALTAS PRESIONES.

El tratamiento de alta presión puede ser aplicado tanto a alimentos líquidos como a sólidos con altos contenidos en humedad, y por lo general, se aplican una vez envasado el alimento en su envase final, otra gran ventaja, pues de este modo, los alimentos pueden ser pasteurizados después de ser cortados o envasados, evitando así el riesgo de contaminación en el entorno de la fabricación.

El envase es un factor clave en los tratamientos con altas presiones para conservar adecuadamente las características y calidad del producto envasado. Se emplean envases flexibles o semirrígidos de materiales plásticos y complejos (con el suficiente grado de flexibilidad y elasticidad para recobrar el volumen inicial tras la compresión y prevenir deformaciones irreversibles).

Los requisitos que se indican a continuación se consideran muy importantes en el envasado de un producto que será procesado mediante altas presiones:

1.- El envase debe ser duradero: Los plásticos son una de las mejores opciones para el embalaje debido a su capacidad para resistir en condiciones de presión extrema y a una manipulación exigente. La

intensa presión aplicada durante el tratamiento comprime el envase, por lo que éste debe ser capaz de recuperar su forma original sin agrietarse o romperse. El envase puede estar hecho de una gran variedad de plásticos, incluyendo polipropileno (PP), polietileno de alta densidad (HDPE) y polietileno tereftalato (PET) y puede ser de cualquier color, aunque los transparentes ganan terreno porque dejan ver el interior. Los envases de PP son muy duraderos, pueden soportar el calentamiento posterior en el microondas y el lavado en el lavavajillas, y además pueden reciclarse fácilmente. Es muy interesante considerar la posibilidad de añadir una capa de barrera de oxígeno a un envase de PP si se desea una vida útil aún más larga, aunque esto puede afectar a la reciclabilidad del envase.

Figura 5. Foto envase triangular desarrollado por la empresa Pressurefruit para el procesado de zumos de manzana mediante altas presiones hidrostáticas.



2.- El sellado de los bordes debe ser lo más resistente posible. La película utilizada en el envasado de un producto procesado mediante altas presiones debe mantener una alta resistencia al desgarro, y aun así ser fácilmente desprendible para el consumidor. Las películas pueden estar hechas de muchos tipos de plástico; uno de los factores más importantes

es ser compatible con el material de envase. La unión o sellado entre el film y el contenedor debe ser fuerte y segura. Para establecer los parámetros de sellado óptimos, se debe realizar un estudio de optimización del sellado para encontrar la fuerza de sellado máxima, manteniendo al mismo tiempo una película fácilmente desprendible.

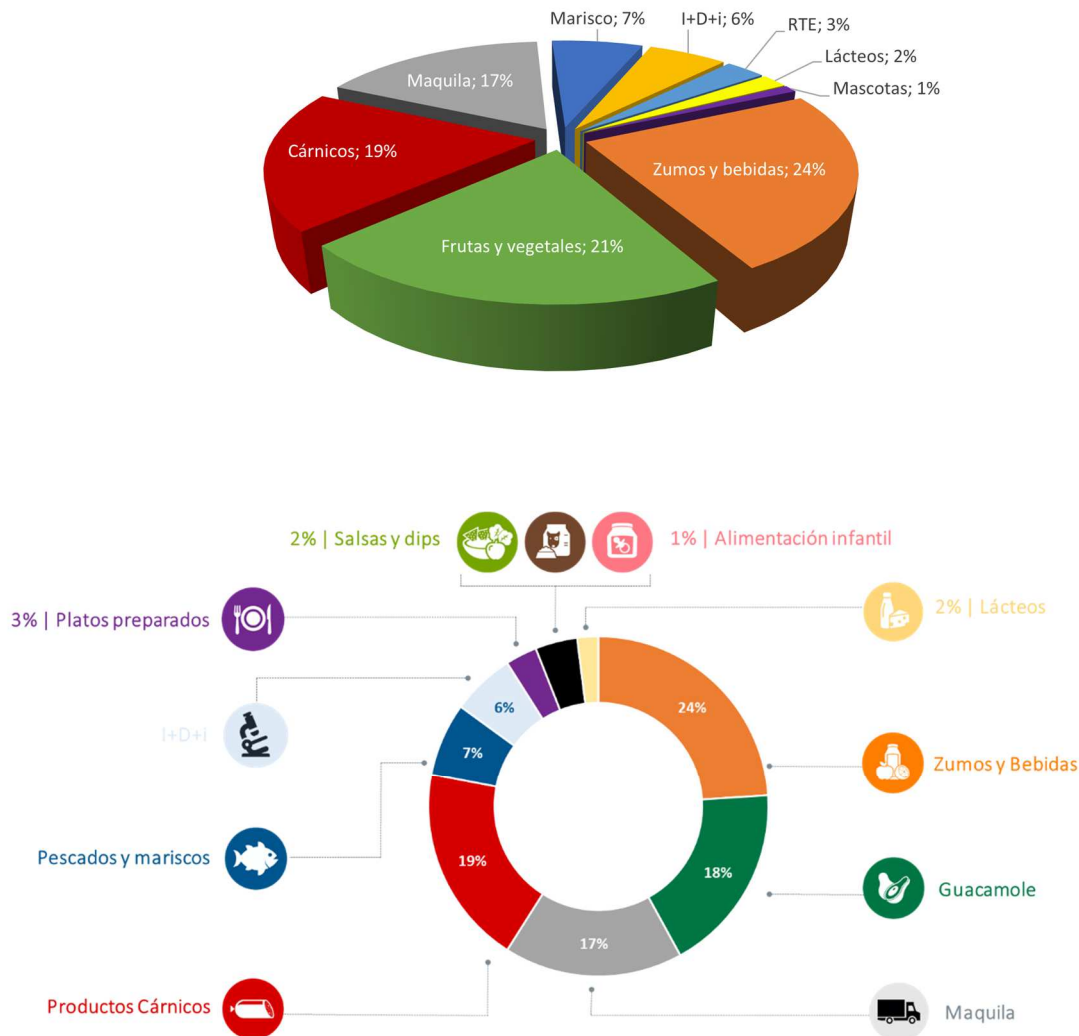
3.- El espacio de cabeza (distancia que hay entre el nivel del producto y la superficie interior superior del envase) debe ser mínimo. Reducir al máximo el espacio de la cabeza en el envase es importante para optimizar el rendimiento de los equipos. Una regla general es llenar el envase al menos en un 90% o más para reducir el espacio de cabeza dentro del mismo. Si hay demasiado aire en un envase, podría causar un exceso de tensión en él y provocar que se rompa o se agriete. Igualmente un exceso de aire en el interior del envase supone no aprovechar todo el volumen del tanque de procesado del equipo de alta presión.

4.- Otro aspecto muy importante a tener en cuenta para mejorar el rendimiento de llenado del tanque de procesado es el diseñar un envase que permita el máximo llenado del equipo. De hecho algunas empresas han desarrollado envases con forma triangular o hexagonal para incrementar el volumen de aprovechamiento del tanque en cada ciclo de tratamiento (Figura 5).

4.- OPORTUNIDADES COMERCIALES QUE OFRECE EL TRATAMIENTO DE ALTA PRESIÓN HIDROSTÁTICA

La principal finalidad de la aplicación de la tecnología de altas presiones es la extensión de la vida comercial de alimentos manteniendo una calidad organoléptica similar al producto sin tratar y obteniendo productos seguros, mediante la eliminación de patógenos. Por ejemplo, este tratamiento permite el control de *Salmonella spp* en ovoproductos, *Listeria* en cárnicos y *Vibrio* en moluscos y crustáceos.

Figura 6. Distribución de los equipos HHP en los diferentes sectores de alimentación (Fuente: Hlperbaric,).



En general, los equipos instalados en el mundo procesan zumos y bebidas (24%), un 19% de los equipos trabaja a maquila, le sigue con un 17% el procesado de productos cárnicos, y un 12 % corresponde a productos derivados del aguacate (Figura 6).

En el caso de zumos, smoothies y otras **bebidas a base de fruta** (Figura 7), el procesado mediante altas presiones mantiene las cualidades originales del producto. De este modo, se conserva el verdadero sabor del zumo recién exprimido; además, las propiedades nutricionales permanecen intactas, permitiendo la creación de una gama de productos de máxima calidad. Asimismo, con esta tecnología es posible procesar zumos que se veían seriamente comprometidos con un tratamiento

térmico, como la granada, manzana, zanahoria, remolacha...etc. Los productos premium, orgánicos y/o naturales mantienen propiedades sensoriales, funcionales y nutricionales más elevadas, al mismo tiempo que se mejora su seguridad y su vida útil. Una de las tendencias actuales que hace que el procesado por altas presiones tenga éxito, es que esta tecnología permite el desarrollo de alimentos más saludables, ricos en vitaminas, antioxidantes y compuestos antimutagénicos termosensibles, debido a su tratamiento no térmico y a la no manipulación post envasado, otorgando así una mayor funcionalidad al nuevo producto.

De entre los productos tratados mediante altas presiones que ya están en el mercado, elaborados a partir de **productos hortofrutícolas** destacan los purés, salsas, productos "listos para consumir" (guacamole, hummus, ensaladillas...). La principal ventaja es el importante aumento de la vida útil de este producto sin alterar de forma importante las cualidades del producto fresco. Se trata de una gran herramienta para la fabricación de productos de alto valor añadido.

El guacamole y productos derivados del aguacate, es uno de los productos con mayor mercado procesado mediante altas presiones hidrostáticas. Conserva sus características sensoriales en perfecto estado al tiempo que permite la inactivación efectiva de microorganismos y enzimas relacionadas con el deterioro de alimentos, consiguiendo de este modo prolongar su vida útil.

Igualmente, en los últimos años se ha incrementado la demanda de productos vegetales con propiedades saludables y sin aditivos. Como ejemplo podríamos citar algunas novedades en este campo: un producto de pudín a base de semillas de chía, humus, salsas de tomate, barritas de fruta, etc.

Los **productos cárnicos y sus derivados** (Figura 8) han sido uno de los principales productos procesados mediante este tratamiento durante los últimos años. Esta tecnología permite aumentar la vida útil del producto manteniendo su frescura, calidad sensorial y nutricional, postulándose como una alternativa eficaz a los conservantes y aditivos. Debido a su efectividad frente a patógenos como *Listeria monocytogenes*, *E. coli* o *Salmonella spp*, las empresas del sector cárnico han aplicado esta

tecnología para incrementar la seguridad de sus productos. Jamón cocido loncheado, cortes de pollo, platos listos para su consumo o incluso piezas completas de jamón, son tan sólo algunos de los ejemplos de productos procesados por alta presión que pueden encontrarse actualmente en el mercado.

Figura 7. Zumos y bebidas conservados mediante altas presiones hidrostáticas



Su aplicación en carne fresca se limita principalmente a productos picados o marinados, ya que el tratamiento produce una decoloración de la carne fresca, que hace que en muchos casos pueda ser rechazada a nivel visual, aunque una vez cocinada no se aprecian diferencias.

Igualmente, en los últimos años ha cobrado especial relevancia la eliminación de diferentes agentes patógenos mediante altas presiones, especialmente, *L. monocytogenes* en productos curados debido a su dificultad de control. Este patógeno puede estar presente en la superficie del producto y mediante el proceso de manipulación o por contaminación cruzada alcanzar el producto envasado.

En el sector del ibérico, esta tecnología puede solucionar la problemática de las exportaciones fuera de la Unión Europea. La tecnología de alta presión permite incrementar la calidad higiénico-sanitaria y sensorial de los productos cárnicos derivados del cerdo ibérico, manteniendo los atributos de calidad que caracterizan a estos productos y, de esta forma, cumplir con la normativa exigida para la comercialización en nuevos mercados. Esto ha permitido la exportación de productos cárnicos curados (jamones, embutidos) a países con “tolerancia cero” frente a *Listeria* como EEUU y Japón.

El procesado mediante altas presiones ofrece también varias posibilidades de mejora en el **sector lácteo** en aspectos como la seguridad, funcionalidad y posibilidades de exportación e innovación de productos. Los rellenos de sandwich, con base de queso o mayonesa, pueden procesarse para mejorar considerablemente la vida útil manteniendo la calidad. En la industria quesera, el procesado por alta presión de queso fresco puede mejorar la maduración (frenándola o acelerándola) y aumentar la vida útil del producto de una forma importante. Es interesante la mejora de la seguridad alimentaria que ofrece esta tecnología en ciertos tipos de queso, especialmente los elaborados a partir de leche cruda. Aunque todavía no se aplica a nivel comercial, las altas presiones hidrostáticas podrían ser empleadas en quesos tipo Torta para mitigar la aparición de sabores extraños y/o desagradables asociados a un exceso de proteólisis durante la maduración y obtener un producto con una mayor estabilidad sensorial.

Los resultados conseguidos hasta el momento podrían ser muy interesantes para incrementar el tiempo de comercialización de este tipo de quesos en condiciones óptimas de calidad.

Figura 8. Productos cárnicos conservados mediante altas presiones hidrostáticas.



Este tratamiento es además una interesante opción para preservar la funcionalidad de los componentes bioactivos (inmunoglobulinas, lactoferrinas, vitaminas) presentes en el calostro. De hecho, en el ámbito

sanitario se investiga la conservación de la leche materna almacenada en los Bancos de Leche.

Ostras, almejas, bogavantes, langostinos, bacalao, merluza, pescados “listos para consumir”, son algunos ejemplos de una amplia variedad de **productos del mar** que se pueden procesar mediante alta presión. Una de las principales aplicaciones en este campo es la apertura de moluscos bivalvos, evitando la utilización de material peligroso para el trabajador, como cuchillos u otros utensilios cortantes.

5.- LA TECNOLOGÍA DE ALTAS PRESIONES HIDROSTÁTICAS EN CICYTEX

El Instituto Tecnológico Agroalimentario de Extremadura (INTAEX), perteneciente al Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX) dispone de una inmejorable dotación de equipos de procesado mediante alta presión. Se trata de un equipo para la aplicación de tratamientos de altas presiones hidrostáticas de tipo comercial de HIPERBARIC (Wave 6000/55) con una capacidad de 55 L que aplica una presión máxima de 600 MPa. Este equipo se complementa a la perfección con otro equipo multivasija de RESATO, que aplica de forma combinada presión (hasta 1000 MPa) y temperatura (máximo 120 °C), y que es por tanto un equipo ideal para realizar trabajos de investigación. Esta dotación de equipos es única en toda la Península Ibérica y creemos que muy pocos centros a nivel mundial cuentan con estos equipos.

La alimentación del futuro exigirá alimentos ya preparados, de buena calidad, que mantengan al máximo las características tradicionales de los recién preparados o frescos. Por esta razón, en el CICYTEX se está investigando la aplicación de los tratamientos de altas presiones en múltiples productos (productos hortofrutícolas, lácteos y cárnicos), con el fin de conseguir la máxima calidad nutritiva y sensorial, así como mejorar la seguridad alimentaria de los productos que llegan al mercado.

AGRADECIMIENTOS

El proyecto INNOACE está cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través del Programa INTERREG V-A España-Portugal (POCTEP) 2014-2020 de la Comisión Europea.

BIBLIOGRAFÍA

- Cheftel J. C.(1995). High pressure, microbial inactivation and food preservation. *Comptes Rendus de l'Academie d'Agriculture de France*, 81(1): 13-38.
- García-Parra, Ramírez, R. (2018) New Preservations Technologies: Hydrostatic High Pressuer Processing and High Pressure Thermal Processing. In Reference Module in Food Science, Elsevier, , ISBN 9780081005965, Encyclopedia .
- González F., García-Parra J., Ramírez. R. (2016). Effect of hydrostatic high pressure treatment on bioactive compounds of vegetable products. Edited by Moreno Jorge J. Taylor & Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300, Boca Raton, FL 33487-2742 CRC Press Pages 219–239 CRC Press Reference - 303 Pages - 77 B/W Illustrations. ISBN 9781498714846 eBook ISBN: 978-1-4987-1485-3 DOI: 10.1201/9781315371276-11. Innovative Processing Technologies for Foods with Bioactive Compounds.
- Hoover D. G., Metrick C., Farkas D.F. (1989). Effects of high hydrostatic pressure on milk. *Milchwissenschaft* 47(12), 760-763.
- Podolak, R., Whitman, D., & Black, D. G. (2020). Factors Affecting Microbial Inactivation during High Pressure Processing in Juices and Beverages: A Review. *Journal of Food Protection*, 83(9), 1561-1575
- Pothakamury, U., Barbosa-Gnovas, G.V. (1995). Review Fundamental aspects of controlled release in foods.
- Reddy N.R., Solomon H.M., Telzloff R.C., Balasubramaniam V.M., Rhodehamel E. J., Ting E.Y. (2001). Inactivation of *Clostridium botulinum* spores by high pressure processing. Ann. Report, Natl. Center for Food Safety y Technology, Summit-Argo, Ill.
- Sehrawat, R., Kaur, B. P., Nema, P. K., Tewari, S., & Kumar, L. (2020). Microbial inactivation by high pressure processing: principle, mechanism and factors responsible. *Food Science and Biotechnology*, 1-17.
- Smelt J., (1998). Recent advances in the microbiology of high pressure processing, *Trends Food Sci.*, 9, 152-158.