

Procesado de alimentos mediante alta presión hidrostática

Dr. Pedro D. Sanz

Introducción

El procesado de alimentos supone la transformación de materias primas de origen animal o de origen vegetal en productos preparados para el consumidor, caracterizados por poseer una alta seguridad microbiológica. También se persigue conseguir una mínima alteración de las características organolépticas y nutricionales del producto original, procurando que la vida útil del alimento conseguido sea lo más prolongada posible. En los últimos años, la demanda de los consumidores para disponer de alimentos más frescos, de mayor calidad y conveniencia, más naturales, saludables y seguros y con menos aditivos artificiales, ha provocado el desarrollo de nuevas tecnologías que además de garantizar una alta seguridad microbiológica producen una mínima alteración de las características organolépticas y nutricionales de los alimentos de partida. Dentro de este contexto aparece la tecnología de la alta presión hidrostática en Tecnología de Alimentos.:

Antecedentes. El termoprocesado

En 1795, Nicholas Appert, chef parisino, productor de dulces, maestro cervecero y fabricante de pepinillos, inventa el termoprocesado mediante el uso racional de la temperatura (T) y del tiempo. Ello surgió a raíz de la necesidad planteada por Napoleón Bonaparte de poder contar con alimentos sanos para sus tropas.

La invención del termoprocesado, marcó el comienzo de la Tecnología de Alimentos de la era moderna, la cual permanece vigente y con pocas modificaciones hasta nuestros días.

Problemas con el termoprocesado

Bajo la denominación de reacción de Maillard se cubre un conjunto muy complejo de reacciones químicas que traen consigo la producción de melanoidinas coloreadas que van desde el amarillo claro hasta el café muy oscuro e incluso el negro, además de diferentes compuestos aromáticos. Estas reacciones se dan al calentar (no es necesario que sea a temperaturas muy altas) los alimentos o mezclas similares, como por ejemplo la pasta. A esta reacción se debe el color marrón de la costra de la carne cocinada o del pan cocido al horno. Los productos mayoritarios de estas reacciones son moléculas cíclicas y policíclicas, que aportan sabor y aroma a los alimentos, aunque también pueden ser cancerígenas. En este sentido, cabe desatacar que la alta presión que se aplica en la industria alimentaria, trabaja a temperaturas próximas a la temperatura ambiente.

En otro orden de cosas se aprecia que, con relativa frecuencia, aparecen en la prensa noticias similares a ésta: “Los funcionarios de salud canadienses afirman que 12 muertes, (registradas en esas fechas) se vinculan con un brote de listeriosis acaecido en una planta de Tecnología de Alimentos dedicada al termoprocesado. en North York, Ontario”. Frente a ello, y afortunadamente, también existen algunos datos esperanzadores en la literatura como éste:”es posible obtener 5 log₁₀ CFU de reducción logarítmica de *Listeria monocytogenes*, aplicando 550 MPa”.

Magnitudes termodinámicas

Antes de que en la época de Napoleón, se inventara el termoprocesado (donde la Temperatura , T, juega un papel decisivo), Blaise Pascal, físico y matemático del siglo XVII, considerado como el padre de las computadoras, contribuyó mucho para aclarar el concepto de presión (p). Más recientemente, en el siglo diecinueve, Willard Gibbs, introdujo el potencial químico (μ).

Desde un punto de vista conceptual, esas tres magnitudes T, p, μ son equivalentes. Se sabe mucho sobre T y μ , pero no demasiado sobre la presión aplicada a los alimentos. Sin embargo, tiene un enorme potencial en la Tecnología de Alimentos actual.

Mercado

Actualmente existen dos grandes compañías productoras de equipos para el procesado de alimentos: Avure Technologies, Kent, WA, USA e Hiperbaric, Burgos, España. Esta última es la líder mundial y cuenta con grandes equipos, alguno de ellos de gran capacidad de producción, adaptados a las necesidades de sus clientes. Según sus datos de 2016, el 66% de sus ventas se realizaron en América, el 16% en Asia, el 13% en Europa, el 3% en Oceanía y el 2% en África. El 37% de los equipos se dedicaron a la maquila, el 22% al sector de los zumos y bebidas, el 17% al procesado de productos cárnicos, el 15% al de los pescados y mariscos, el 8% a otros usos y el 1% a Investigación y Desarrollo.

También hay equipos a nivel de laboratorio y de Planta Piloto que sirven para hacer la investigación básica que luego se aplica a nivel industrial.

Un poco de historia

El origen de los estudios en alta presión se debe al físico Percy W. Bridgman, el cual en 1905 emprendió la investigación de la materia sometida a esas condiciones extremas. Este investigador, diseñó un aparato capaz de producir presiones muy elevadas (500 MPa) que supuso un gran adelanto frente a los equipos disponibles en la época. El fue el primero que, en 1914 observó la desnaturalización proteica que sufre la clara de huevo, de forma irreversible, a partir de 300 MPa. Recibió el Premio Nobel de Física en 1946 por su investigación en la Física a alta presión. Sin embargo, distintos problemas tecnológicos, como la falta de disponibilidad de materiales y del equipamiento adecuado, provocaron un retraso de más de 70 años en el empleo de alta presión para la preservación de los alimentos, siendo Japón el país que reanudó su estudio.

La alta presión hidrostática es una tecnología emergente de gran interés en la actualidad para la industria alimentaria por su gran cantidad de aplicaciones. La principal de ellas es, sin duda, su capacidad para prolongar la vida útil de los alimentos, debido a la inactivación microbiana y/o enzimática que provoca en los mismos, modificando su calidad organoléptica y nutricional en menor grado que las tecnologías de conservación tradicionales. El tratamiento a alta presión tiene bajo consumo energético y respeta el medio ambiente

La presión de trabajo en Tecnología de Alimentos oscila entre 100 y 1000 MPa y ésta se mantiene durante el tiempo de tratamiento, sin necesidad de aporte energético. Dada la naturaleza isostática de la presión, la forma del producto, rico en agua, permanece invariable.

Los elementos esenciales de un equipo de alta presión son: un sistema productor de la presión (bomba hidráulica con intensificadores), un fluido que transmite esa presión y una vasija contenedora del alimento a procesar. La vasija suele ser un recipiente con bobinado de alambre, horizontal, con tapones de recipiente soportados por un yugo de alambre enrollado.

El procesado a alta presión en alimentos se basa en dos principios físicos. Por una parte, el Principio de Pascal, que establece que la presión se transmite de forma instantánea y uniforme a través de toda la masa de producto, independientemente de su volumen. Por tanto, el tiempo de presurización es independiente del tamaño y geometría de la muestra, al contrario de lo que ocurre, por ejemplo, en los tratamientos térmicos tradicionales. Por otra parte, el Principio de Le Chatelier según el cual todo fenómeno que se acompaña de una disminución de volumen se ve acelerado por un aumento de presión y viceversa.

Fundamentalmente, se trata, por lo tanto, de una Tecnología emergente que se usa para conseguir prolongar la vida útil de los alimentos mediante una inactivación microbiana y/o enzimática, con un bajo consumo energético y respetando al medio ambiente.

Etapas en el procesado

El tratamiento a alta presión consta de tres etapas principales. Desde el punto de vista puramente físico, lo que ocurre en cada una de ellas es; una primera etapa de compresión, donde se produce un aumento de la temperatura debido al aumento de la presión. De acuerdo con el Principio de Pascal, la presión se propaga instantánea y uniformemente a través del fluido contenido en la vasija independientemente del tamaño, forma o composición de la muestra tratada. Sin embargo, al mismo tiempo, se genera una transmisión simultánea y acoplada de energía, de masa y de momento en todo el sistema de alta presión (vasija más entorno). Una segunda etapa de presión constante. En esta etapa se mantiene el producto bajo la presión programada, se produce un intercambio de calor entre las paredes de la vasija de alta presión, el medio presurizador, el contenedor de muestra y la propia muestra, dando lugar a una distribución de temperatura dependiente del tiempo. Por último, transcurrido el tiempo deseado de permanencia del alimento a la presión aplicada, se realiza la tercera etapa; la de expansión. En ella, el sistema se despresuriza, y se descarga el producto tratado.

Antes de todo ello, se lleva a cabo la carga del alimento en el cilindro, después se rellena el cilindro con el fluido presurizador y se cierra el recinto. A continuación es cuando se empieza a aplicar la presión en la primera etapa mencionada. Tras la tercera etapa, se retira el fluido presurizador y, a continuación, el alimento procesado.

El fluido presurizador, las propiedades termofísicas y el envasado.

El fluido presurizador juega un papel primordial en el procesado de los alimentos mediante altas presiones. Su principal propiedad es la de que ha de ser compatible con los alimentos. Además ha de tener un bajo coeficiente de compresibilidad. Para la obtención de los productos que actualmente están siendo comercializados, se emplea el agua (1).

El conocimiento de las propiedades termofísicas de los alimentos y de los demás materiales que intervienen en el proceso resulta ser fundamental a la hora de realizar un buen diseño del proceso. En este sentido hay que resaltar la escasez de estudios que se ha llevado a cabo hasta el momento. Por este motivo es por lo que, frecuentemente, hay que recurrir a realizar aproximaciones o extrapolaciones, teniendo como referencia,

generalmente, los correspondientes valores de que se dispone, los cuales han sido obtenidos a presión atmosférica (2).

Respecto del envasado, hay que tener en cuenta que el alimento ha de encontrarse en un determinado grado de vacío al ser sometido a esa operación básica. Si no fuera así, la presencia de aire en el interior del envase, con un coeficiente de compresibilidad mayor que el del agua, puede provocar roturas indeseadas al estar sometido a altas presiones. Ello puede conducir a provocar contaminaciones alimentarias, al facilitar la puesta en contacto el fluido presurizador con el alimento e incluso a producir contaminaciones tóxicas debidas a que algunos componentes de los materiales plásticos (monómeros) pudieran desprenderse del material plástico que forma el envase (3). Los contenedores que albergan los alimentos durante su tratamiento mediante altas presiones hidrostáticas han de ser, no sólo seguros y flexibles sino también herméticos. Los procedimientos de envasado y de sellado, así como los materiales plásticos elegidos (4) juegan un papel de primer orden a la hora de someter un alimento al procesado por alta presión. Se suelen utilizar materiales plásticos que, permitan un sellado seguro estando al vacío. Por otra parte, la muestra envasada ha de contener un elevado porcentaje de agua para permitir su procesado hidrostático. Eso, además, previene de roturas debidas a diferencias de presión, como consecuencia de diferentes coeficientes de compresibilidad de los materiales existentes dentro del envase.

Efectos sobre los componentes de los alimentos

La alta presión tiene efectos sobre los componentes de los alimentos. Cualquier reacción, cambio conformacional o transición de fase que se acompañe de una disminución del volumen será favorecido a alta presión, mientras que las reacciones que involucren un aumento de volumen serán inhibidas. A presión atmosférica, el agua aumenta de volumen al pasar al estado sólido de hielo I. Con la presión, este aumento de volumen está inhibido, lo que lleva a que el punto de congelación del agua disminuya con el aumento de presión. De manera contraria, los lípidos disminuyen de volumen al solidificarse. Por lo tanto, con la presión, la solidificación está favorecida. Respecto de las reacciones bioquímicas y dado que la formación de enlace también reduce el volumen, estos están favorecidos por la presión y por lo tanto lo están las reacciones que involucran esos enlaces. Los enlaces covalentes de las moléculas están protegidos por la presión y eso es lo que permite mantener la mayoría de los componentes del alimento sin alterar. La formación de enlaces de hidrógeno está favorecida mientras que las interacciones electrostáticas e hidrofóbicas tienden a desestabilizarse. Así pues, la estructura terciaria de las proteínas, que está estabilizada por interacciones débiles, se ve afectada por la presión mientras que su estructura primaria no se modifica. Como la funcionalidad de una proteína se relaciona con su estructura terciaria (5) su funcionalidad puede cambiar también por la presión.

Los efectos sobre las proteínas pueden ser reversibles pero también se puede llegar a inducir modificaciones de estructuras durables: inactivación de enzimas, geles más resistentes, etc. Así, se puede llegar a observar cambios de color, apariencia de alimento cocido, formación de geles...

La desnaturalización de las enzimas depende del tipo de enzima, del nivel de presión, de la temperatura, del tiempo, del pH, del contenido en agua y de la matriz del alimento. Además las reacciones enzimáticas pueden ser favorecidas o inhibidas por la presión. Un ejemplo clásico donde resulta favorable la acción de las altas presiones sobre las enzimas y que está dando lugar a un producto comercialmente muy interesante es el caso del guacamole/guacamole.

Con relación a los carbohidratos (6,7), se observa que la glucosa y la fructosa, que son mono sacáridos, sólo contienen enlaces covalentes por lo que no se ven afectados por la presión. La sacarosa contiene una molécula de glucosa unida a una de fructosa a través de un enlace covalente O-glucosídico. Tampoco se ve afectado por la presión. En cambio, el almidón que contiene dos fracciones de polisacáridos; la amilasa y la amilopectina, si que se ve afectado por la presión. Los productos lácteos también sufren importantes modificaciones al ser procesados mediante la alta presión con la aparición de gelificaciones, etc (8,9).

Respecto de los zumos y similares (10-15) hay que tener en cuenta que sus enzimas son proteínas caracterizadas por su enorme poder catalítico y su especificidad y que se ven muy afectadas por la presión. Además, la inactivación de enzimas depende de la fuente de las enzimas (judías verdes, los guisantes, peras,...) y de la matriz de ensayo (pieza entera frente a pieza hecha jugo,...).

En resumen: todos los componentes del alimento se van a ver afectados por la presión en mayor o menor medida dependiendo del nivel de presión y de su estructura. En general, los enlaces covalentes no cambian mientras que los enlaces débiles si. La presión actúa de un modo diferente al de la temperatura en base al principio de Le Châtelier.

Inactivación de microorganismos

También, la alta presión hidrostática, permite inactivar los microorganismos responsables del deterioro del alimento y de los patógenos. Como cabe suponer, se han realizado muchos trabajos de investigación en ese campo. Se ha comprobado que la inactivación de los microorganismos depende fuertemente del tipo de de que se trate, de su familia, de su especie y de su cepa. De un modo general, podría decirse que el orden de creciente dificultad a la hora de inactivar microorganismos es: los más fáciles son los mohos y las levaduras, seguidos de las bacterias gram negativas, después los virus con envoltura, tras ellos vendrían los hongos, luego las bacterias gram positivas, después los virus desnudos y, finalmente, las esporas bacterianas, las cuales son difícilmente inactivadas. Además, en cada caso, la inactivación depende de la presión, la temperatura, la duración, el número de ciclos, el pH, las interacciones con otros componentes, etc.

Perspectivas

Continuamente están apareciendo productos, aparentemente parecidos a los existentes, pero en los que la pasterización térmica, ha sido sustituida por la llamada "pascalización". Sin embargo, aún queda mucha investigación para obtener nuevas estructuras y para diseñar nuevos procesos que aún no se han explorado. También para evaluar si la alta presión puede modificar ciertas alergenicidades u otras contraindicaciones de ciertos productos alimenticios.

Como se ha comentado, ya se ha comprobado que se puede obtener fácilmente la inactivación de formas vegetativas de bacterias pero se ha visto que las esporas presentan grandes dificultades para ser inactivadas. Actualmente se está combinando la alta presión y la alta temperatura con el fin de llegar a la esterilización mediante altas presiones. Ello está dando lugar al conocido como "Procesado Térmico Asistido por Presión", que pretende ser la primera tecnología alimentaria que va a ir en contra de nuestra experiencia a cerca de que los procesos de conservación logran la estabilidad microbiológica y enzimática de los alimentos pero a costa de producir cambios químicos generalmente severos

Finalmente, se continúa trabajando para diseñar sistemas continuos de procesamiento y para la optimización de los discontinuos existentes.

Bibliografía.-

- 1 B. Guignon; C. Aparicio; P.D. Sanz. Volumetric properties of pressure-transmitting fluids up to 350 MPa: Water, ethanol, ethylene glycol, propylene glycol, castor oil, silicon oil, and some of their binary mixture. *Journal of Chemical and Engineering Data*. 55 - 9, pp. 3017 - 3023. 2010. Disponible en Internet en: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-77956555915&partnerID=MN8TOARS>>.
- 2 L. Otero; B. Guignon; C. Aparicio; P.D. Sanz. Modeling thermophysical properties of food under high pressure. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 50 - 4, pp. 344 - 368. 2010. Disponible en Internet en: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-77949556808&partnerID=MN8TOARS>>.
- 3 K. Segovia Bravo; R. Ramírez; R. Durst; Z.J. Escobedo-Avellaneda; J. Welti-Chanes; P.D. Sanz; J.A. Torres. Formation risk of toxic and other unwanted compounds in pressure-assisted thermally processed foods. *Journal of Food Science*. 77 - 1, pp. R1 - R10. 2012. Disponible en Internet en: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84856058753&partnerID=MN8TOARS>>.
- 4 J. F. Fradin; A. Le Bail; P. D. Sanz; A. D. Molina Garcia. Behaviour of packaging materials during high pressure thawing. *Food science and technology international*, 5-3, pp 275-278 1999.
- 5 S.R. Vaudagna; C.B. Gonzalez; B. Guignon; C. Aparicio; L. Otero; P.D. Sanz. The effects of high hydrostatic pressure at subzero temperature on the quality of ready-to-eat cured beef carpaccio. *Meat Science*. 92 - 4, pp. 575 - 581. 2012. Disponible en Internet en: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84865564249&partnerID=MN8TOARS>>.
- 6 P. P. Fernandez; M. N. Martino; N. E. Zaritzky; B. Guignon; P. D. Sanz. Effect of locust bean, xanthan and guar gums. *Food Hydrocolloids*. 21 - 4, pp. 507
- 7 A.D. Molina-García; Martino, M.N.; P.D. Sanz. Almidon parcialmente gelatinizado por alta presión como vehículo para la suplementación en oligoelementos de productos lácteos: cinc y magnesio. *Alimentaria: Revista de tecnología e higiene de los alimentos*. 86, pp. 293
Internet en: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2.0-0034196505&partnerID=MN8TOARS>>.
- 8 Berengere Guignon; Ivan Rey-Santos; Pedro D. Sanz. Determination, analysis and prediction of the volumetric behavior of milk at high pressure. *Food Research International*. 64, pp. 336 - 347. 2014.
- 9 I. Povedano; B. Guignon; O.R. Montoro; P.D. Sanz; M. Taravillo; V.G. Baonza. Effects of high pressure on unsaturated fatty acids. *High Pressure Research*. 34 - 4, pp. 428 - 433. 2014. Disponible en Internet en: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84919413169&partnerID=MN8TOARS>>.

- 10 G Prestamo; PD Sanz; G Arroyo. Fruit preservation under high hydrostatic pressure. *High Pressure Research*. 19 -1-6, pp. 535-542. 2000.
- 11 M. A. Bañuelos; I. Loira; C. Escott; J. M. Del Fresno; A. Morata; P.D. Sanz; L. Otero; J. A. Suárez-Lepe. Grape Processing by High Hydrostatic Pressure: Effect on Use of *Non-Saccharomyces* in Must Fermentation. *Food and Bioprocess Technology*. 9 - 10, pp. 1769 - 1778. Springer, 07/09/2016. Disponible en Internet en: <DOI 10.1007/s11947-016-1760-8>.
- 12 A. Morata; I. Loira; R. Vejarano; M.A. Bañuelos; P.D. Sanz; L. Otero; J.A. Suárez-Lepe. Grape Processing by High Hydrostatic Pressure: Effect on Microbial Populations, Phenol Extraction and Wine Quality. *Food and Bioprocess Technology*. 8 - 2, pp. 277 - 286. 2015. Disponible en Internet en: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84926685788&partnerID=MN8TOARS>>.
- 13 B. Guignon; C. Aparicio; P.D. Sanz; L. Otero. Orange juice pVT-properties for high pressure processing and modeling purposes: Importance of soluble solids concentration. *Food Research International*. 46 - 1, pp. 83 - 91. 2012. Disponible en Internet en: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84855470744&partnerID=MN8TOARS>.
- 14 C. Aparicio; L. Otero; P.D. Sanz; B. Guignon. Specific volume and compressibility measurements of tomato paste at moderately high pressure as a function of temperature. *Journal of Food Engineering*. 103 - 3, pp. 251 - 257. 2011. Disponible en Internet en: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-78650755240&partnerID=MN8TOARS>>.
- 15 C. Aparicio; B. Guignon; L. Otero; P.D. Sanz. Thermal expansion coefficient and specific heat capacity from sound velocity measurements in tomato paste from 0.1 up to 350 MPa and as a function of temperature. *Journal of Food Engineering*. 104 - 3, pp. 341 - 347. 2011. Disponible en Internet en: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-79952043850&partnerID=MN8TOARS>>.

