



Revisión

Alimentos tratados por alta presión. Aspectos nutricionales

Montserrat Mor-Mur

CERPTA, Departamento de Ciencia Animal y de los Alimentos, Facultad de Veterinaria, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, Barcelona, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 5 de mayo de 2010
Aceptado el 10 de mayo de 2010

Palabras clave:

Alta presión isostática
Homogeneización a alta presión
Nutrición
Alergia
Alimentos funcionales

RESUMEN

El desarrollo de nuevas tecnologías de conservación y procesado de alimentos abre la necesidad de estudiar las implicaciones nutricionales y de salud que dichos tratamientos confieren a los alimentos y sus componentes. La alta presión isostática, tecnología a partir de la cual ya se comercializan numerosos alimentos, y la homogeneización a alta presión no sólo ofrecen ventajas en los aspectos sanitarios y organolépticos, sino que también abren nuevos retos en el campo nutricional y de la salud. Ante la aplicación de dichas tecnologías, diversos componentes termosensibles se muestran bastante piezoresistentes, y al mismo tiempo pueden eliminarse compuestos que causan intolerancias o alergias, de modo que se incrementa el valor funcional de los alimentos.

© 2010 Asociación Española de Dietistas - Nutricionistas. Publicado por Elsevier España, S.L.
Todos los derechos reservados.

High pressure treated food products. Nutritional aspects

ABSTRACT

The development of new conservation and food-processing technologies opens up the need to study the nutritional and health implications that these treatments lend to the food products and their components. High isostatic pressure, a technology since which many food products are being marketed, and high pressure homogenization offer advantages not only in sanitary and organoleptic aspects, but they also open up new challenges in the nutrition and health field. When these technologies are applied, different thermosensitive components prove to be quite piezoresistive, and compounds that cause intolerances or allergies can be eliminated at the same time, in such a way that the functional value of the food products is increased.

© 2010 Asociación Española de Dietistas - Nutricionistas. Published by Elsevier España, S.L.
All rights reserved.

Introducción

En las últimas décadas se han llevado a cabo importantes avances en el conocimiento de tecnologías de conservación y/o transformación de alimentos o componentes alimentarios distintas de las aplicaciones térmicas convencionales. Entre ellas podemos citar los pulsos eléctricos de alta intensidad de campo¹ (se ha estudiado el efecto de su aplicación en los componentes bioactivos), la extracción mediante fluidos supercríticos² (metodología usada como sistema alter-

nativo de extracción de conservantes naturales), la deshidratación osmótica³, la tecnología de pulsos de luz intensa⁴ o los campos eléctricos de radiofrecuencia⁵. La investigación tanto en desarrollo de equipos como en consecuencias de los nuevos tratamientos ha permitido que algunas de ellas ya estén en el mercado y se empleen industrialmente. En general se las considera como alternativa al proceso térmico con el fin de obtener alimentos seguros que mantengan mejor las características organolépticas o nutricionales.

El presente artículo revisa los efectos en algunos aspectos nutricionales de la aplicación de dos tipos de tratamientos de tecnología de alta presión, que a menudo se incluyen entre los procesados no térmicos de los alimentos. Pese a que en su utilización es habitual trabajar a temperatura moderada, este concepto debe tratarse con precaución, puesto que, si bien es cierto que en el

Correo electrónico: montserrat.mor-mur@uab.cat

ámbito industrial las temperaturas habituales se sitúan entre 10 y 30 °C, en investigación el incremento de la presión se combina con la modificación de la temperatura (ya sea de forma moderada o más elevada).

Existen dos tipos de equipos para el tratamiento por altas presiones cuyos modo de funcionamiento y fundamentos de acción sobre los componentes alimentarios y los agentes de deterioro y patógenos son muy distintos. De dichas diferencias se deriva la denominación habitual empleada para designar sendos procesos aplicados: alta presión isostática (*high pressure processing [HPP]*)⁶⁻⁸ y alta presión homogeneización (*high pressure homogenization [HPH]*)⁹. Para ambos tipos, disponemos de equipos de planta piloto con volúmenes de trabajo muy variados.

Alta presión isostática

Se trata de una tecnología que en la última década ha experimentado una importante penetración en el mercado de alimentos o componentes intermedios. El principio fundamental de este procesado por alta presión es la característica de ser isostático, es decir, que toda la masa recibe durante todo el tiempo de tratamiento la misma intensidad de presión, independientemente de su peso y su forma⁷. Ello se logra mediante la inmersión de los productos a tratar en un fluido transmisor de la presión, lo que conlleva que los alimentos implicados, ya sean líquidos o sólidos, siempre deben estar envasados en materiales flexibles.

El intervalo de presiones al que trabajan se sitúa entre 100 y 1.400 MPa, aunque dicho valor máximo sólo se alcanza en pequeños equipos y 600 MPa es la mayor presión de trabajo real a escala industrial. El medio transmisor de presión en los equipos industriales es el agua, cuya temperatura de trabajo está aproximadamente entre 5 y 30 °C. En los pequeños equipos para investigación, encontramos una gama de temperaturas mucho más amplia, desde los -20 °C, obtenida mediante una mezcla de agua y etilenglicol, hasta los 150 °C. En el caso de los equipos industriales se suele hablar de pasteurización por alta presión, ya que con las presiones y temperaturas empleadas no se destruyen las células vegetativas de los géneros más resistentes o las esporas. Es por este hecho que los alimentos presurizados comerciales deben mantenerse en refrigeración. Sin embargo, mediante la combinación de presión y temperatura moderada (60-80 °C) o alta (100-110 °C) sí se puede llegar a afectar, parcial o totalmente, a las esporas. En el caso de la aplicación de altas temperaturas, se denomina esterilización por presión y temperatura (*pressure assisted thermal sterilization [PATS]*)⁷.

En la actualidad existen más de 120 equipos industriales en países de diversos continentes, de modo que se comercializan muy variados alimentos. A finales de 2009 los porcentajes de comercialización de productos presurizados de los distintos sectores alimentarios, eran: un 36% de productos vegetales, un 31% de productos cárnicos, un 14% de pescado y productos de la pesca, un 12% de zumos y bebidas y un 7% de otros sectores¹⁰. Muchas aplicaciones tienen como finalidad la disminución o inactivación de la microbiota alterante o patógena, efectos sobre los que se ha investigado mucho en los últimos años. También se han llevado a cabo numerosos estudios sobre los cambios físico-químicos que sufren los alimentos y su influencia en las características organolépticas de los alimentos, así como el potencial de modificación de la funcionalidad de los componentes alimentarios. Los aspectos nutricionales de los alimentos tratados por HPP se han explorado menos, pero se observa un aumento del interés por este aspecto fundamental.

La presión comporta inicialmente cambios de conformación de las estructuras superiores y rompe enlaces débiles entre compuestos químicos, mientras que son necesarios valores considerablemente altos para que la presión llegue a romper enlaces covalentes. En los microorganismos la estructura afectada en primer lugar es la membrana celular, con formación de poros en la membrana o modifica-

ción de sus sistemas de transporte, lo que en definitiva implica un intercambio entre el citoplasma y el medio extracelular distinto del intrínseco, que afecta a la homeostasis celular y, en consecuencia, las posibilidades de supervivencia de la célula^{7,8}.

Alta presión homogeneización

Esta tecnología, denominada también ultraalta presión homogeneización (UHPH) y alta presión dinámica (*dynamic high pressure [DHP]*), es un proceso unitario de gran potencial en las industrias química, farmacéutica, cosmética o de alimentos para preparar y estabilizar emulsiones, que ya se utiliza en biotecnología¹¹. El desarrollo de la DHP ha sido posible gracias al conocimiento adquirido durante el siglo pasado sobre los tratamientos de homogeneización, básicamente en leche, que trabajan alrededor de 50 MPa. En la actualidad se han desarrollado equipos que alcanzan valores superiores a los 200 MPa¹².

Se trata de un proceso de homogeneización en que el líquido se fuerza a pasar a elevadas velocidad y presión a través de un orificio pequeño y ajustable. A diferencia de la HPP, produce fenómenos de cavitación, fricción, cizallamiento y turbulencia. Probablemente disminuye la viscosidad de los concentrados alimentarios debido a la acción sobre las macromoléculas, como son las proteínas y los polisacáridos¹³.

El procesado DHP sólo permite el tratamiento de líquidos de baja viscosidad, pero tiene la ventaja de que se realiza de forma continua y se sigue de envasado aseptico, al contrario que el tratamiento HPP, que siempre debe realizarse por cargas.

La DHP permite inactivar microorganismos a temperatura ambiente e incluso de refrigeración, de modo que las consecuencias fisicoquímicas en los componentes alimentarios son diferentes de las causadas por los tratamientos térmicos convencionales. Se modifican las propiedades funcionales de los principios inmediatos, su susceptibilidad al ataque de las enzimas y sus propiedades reológicas y estructurales, al producir finísimas partículas previamente a la coalescencia¹⁴.

Al ser una tecnología de más reciente desarrollo, hay menos estudios sobre los efectos de la DPH que sobre los de la HPP, en todos los aspectos, tanto microbiológico como fisicoquímico, organoléptico o nutricional.

Aspectos de interés nutricional del tratamiento de alimentos mediante alta presión

Debido a las modificaciones que la presión produce en la célula y los componentes alimentarios, tanto nutrientes como bioactivos, se hace imprescindible conocer cómo redundan dichas modificaciones en la calidad nutritiva, la biodisponibilidad, la estabilidad o la alergenidad de los alimentos presurizados. Como se ha comentado, los trabajos sobre estos aspectos van aumentando en los últimos años y existen dos revisiones de interés, una que abarca los alimentos en general¹⁵ y otra sobre alimentos vegetales¹⁶, ambas sobre HPP.

En algunos casos podemos inferir o intuir los posibles efectos nutricionales de los componentes resultantes del tratamiento, ya que conocemos los cambios moleculares producidos, de modo que estamos en condiciones de hipotetizar sobre su digestibilidad y su biodisponibilidad de forma individual. Sin embargo, la biodisponibilidad tras los tratamientos a presión se ha estudiado poco directamente y deberán llevarse a cabo estudios en los que se evalúe la de alimentos presurizados completos, puesto que sabemos que depende de diversos factores, tanto dietéticos como fisiológicos. Como la presión afecta al conjunto del alimento, se verán afectados la matriz y el conjunto de componentes, no sólo el que sea objeto de estudio, y con ello sus interacciones. Entre los factores que condicionan la biodisponibilidad y los tratamientos a presión podemos destacar la forma física del nutriente en la matriz alimentaria y la posi-

bilidad de que sea liberado o incluso atacado por enzimas, la forma isomérica del nutriente y su posterior solubilidad (en medio acuoso o lipídico) y la presencia de otros componentes que actúen como si-nérgicos, inhibidores o competidores¹⁷.

Hidratos de carbono

En cuanto a los hidratos de carbono (HC), son importantes los efectos que tiene la presión en la estructura de los gránulos del almidón y en su gelatinización. Deben distinguirse las consecuencias según se trate del HPP o de DHP.

Mediante HPP se puede conseguir gelatinizar una solución acuosa de almidón a temperatura ambiente, en mayor o menor medida en función de la presión aplicada, el tiempo de tratamiento, la temperatura, la concentración de almidón y el tipo de éste^{18,19}. La gelatinización inducida por calor es distinta de la conseguida mediante presión. En este caso el almidón mantiene su estructura granular, con poca lixiviación de amilosa y con dos zonas bien diferenciadas: la exterior, que permanece casi intacta, y la interior, que se modifica totalmente y forma estructuras de tipo gel²⁰. A 690 MPa, la presión cambia el almidón de tipo A (maíz normal y waxy, arroz) en una estructura similar a la del tipo B (patata y maíz alto amilosa). Éste, en solución acuosa, no se modifica por presión debido a la diferente estructura cristalina que forma la amilopectina^{21,22}. Por lo tanto, el contenido en amilosa condiciona la susceptibilidad del almidón a los cambios causados por la presión, de modo que los almidones con alto contenido en amilosa resisten los tratamientos de presión mejor que los de bajo contenido. En el maíz alto amilosa, ésta forma complejos con los lípidos presentes, estabiliza la estructura y disminuye el hinchado de los granos²³.

En cuanto a la DHP, con ella se induce la gelatinización de soluciones acuosas de almidón, de modo que el grado de gelatinización aumenta al incrementar la presión, y también depende de la concentración de la solución, el tiempo, la temperatura de tratamiento o el tipo de almidón²⁴. Sin embargo, en almidón de maíz no se ve afectada la retrogradación, y mediante difracción de rayos X se observa pérdida de cristalización tras un tratamiento de 140 MPa, con tendencia a agregarse entre sí los gránulos gelatinizados y, por lo tanto, a aumentar de tamaño²³.

Tras la constatación de los cambios fisicoquímicos, el siguiente paso es estudiar, *in vitro* e *in vivo*, el efecto de la ingesta de almidones tratados por presión en la absorción y la biodisponibilidad de los nutrientes. Dichos procesos metabólicos dependen de diversos factores, tanto dietéticos como fisiológicos, por lo que no se puede inferir a partir de la gelatinización térmica el impacto que tendrá la gelatinización, con cambio de estructura del gránulo producido por la presión en aspectos como la glucemia y la insulinemia.

Lípidos

Debido a que se trata de tratamientos de presión, los cambios de fase no se dan a las temperaturas habituales, ni en el caso del agua ni en el de los lípidos, hecho que tiene una gran trascendencia en la estabilidad o en los cambios de los componentes alimenticios. En el caso de los lípidos, Buchheim et al²⁵ concluyeron que se produce un desplazamiento reversible de la temperatura de cambio de fase de alrededor de 16 °C por 100 MPa en grasas tan distintas como las de la leche, el coco o el sebo. Desde el punto de vista nutricional, es interesante conocer los efectos en la hidrólisis lipídica y la oxidación de los ácidos grasos. La lipólisis se ve poco afectada. Se ha constatado que con tratamientos de 1.000 MPa a 80 °C no se ve afectada la hidrólisis de tripalmitina y lecitina, de modo que es previsible que no haya lipólisis en las condiciones usadas actualmente en la industria¹⁵. Sin embargo, como se señala más adelante, al aplicar presión a las enzimas, en ocasiones su actividad incrementa y en otras disminuye, de modo que deben hacerse más estudios de las consecuencias en

diversas lipasas que consecuentemente afectarían en mayor o menor medida la hidrólisis lipídica.

La oxidación de los ácidos grasos tiene un impacto en la calidad organoléptica, y por supuesto puede tenerla en la nutricional al relacionarse con diversos aspectos patológicos, como los riesgos cardiovasculares y los procesos cancerígenos. De igual forma que para los demás componentes, la oxidación de los ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados tras aplicar presión depende de los parámetros de tratamiento, los componentes y la matriz alimentaria, y se ha estudiado en sistemas modelo y en alimentos reales. Puesto que habitualmente la presión se combina con temperaturas moderadas, se ha constatado que la oxidación puede ser menor que con los tratamientos térmicos.

Por un lado, en sistemas modelo en lácteos, Kowalski et al²⁶ observaron que con presiones desde 100 a 600 MPa a 40 °C se rebajaba la disminución de ácido alfa linoleico, por lo que señalan la posibilidad de retener determinados ácidos grasos esenciales. Por otro lado, en aceites vegetales se ha comprobado que el aceite de oliva virgen es mucho más piezorresistente²⁷ que los aceites de semillas, de modo que formular con aceite de oliva los alimentos que se va a presurizar puede ser, una vez más, una buena opción¹⁵. También hay retención de aceites esenciales en especias y condimentos. Por ejemplo, la presurización de albahaca consiguió retener sus aceites esenciales, mientras que tras un tratamiento térmico convencional disminuían en un 65%²⁸. En alimentos musculares, tanto carne como pescado, se ha visto que la oxidación de los ácidos grasos durante la conservación de productos presurizados es mayor que al almacenar productos crudos. Ello se asocia habitualmente a la liberación de metales prooxidantes, como el hierro hémico por desnaturalización de la mioglobina y la hemoglobina, o el cobre al romperse las células por efecto de la presión. La intensidad de oxidación depende de los parámetros de tratamiento y del procesado previo del alimento, de modo que hay significativas diferencias entre los bajos valores de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS), índice comúnmente utilizado para cuantificar la oxidación, en carne entera presurizada y los más elevados de la carne picada presurizada²⁹. Debe señalarse que dichas oxidaciones, en muchas ocasiones, no son mayores o incluso son inferiores a las habituales al cocinar térmicamente los alimentos. Además, se han descrito los efectos piezoprotectores de la oxidación de diversos aditivos, entre ellos los quelantes de metales, por las razones ya indicadas³⁰.

Proteínas

La alta presión produce disociación de las proteínas oligoméricas y de los complejos proteicos. La presión elevada tiende a ocasionar que las proteínas adopten una estructura más compacta, aunque la pérdida de su estructura secundaria es un fenómeno que solamente se manifiesta a presiones extremas⁸. La alta presión induce la gelificación a baja temperatura, y se obtienen geles de características distintas de las de los obtenidos por calor³¹.

La HPP rompe las micelas de caseína en un amplio intervalo de pH, de modo que se transfieren importantes cantidades de caseína a la fase sérica³². También la DHP (150 MPa) disminuye el tamaño de las micelas de caseína¹⁴. Por DHP, la fracción 11S de proteína de soja pierde la solubilidad debido a su desnaturalización y agregación³³.

El efecto de la presión en la actividad enzimática puede ser tanto de incremento como de disminución (hasta llegar a inactivarse) dependiendo de la enzima, la naturaleza de los sustratos y los parámetros de procesado (presión, temperatura y tiempo)³¹. Además, en el caso de las enzimas se puede ver comprometida la unión con el sustrato. Se ha comprobado que, en soluciones de ovoalbúmina sin sal ni azúcar, la proteína soluble residual mantiene su susceptibilidad a la digestión por tripsina, pero no así la proteína insolabilizada, debido a la presión. Por otra parte, si las soluciones contenían sal o azú-

car, a pH neutro mostraban un aumento de la susceptibilidad de la ovoalbúmina a la tripsina dependiente de la presión³⁴.

Finalmente, son interesantes los ensayos de digestibilidad *in vitro* de proteínas de carne y altramuz, en que la digestibilidad quedó ordenada de la siguiente manera. En carne: cruda > presión (500 MPa a 10 °C 10 min) ≥ presión (200 MPa a 10 °C 10 min) > calor (95 °C 30 min). En altramuz, el efecto de la presión es más marcado: presión (500 MPa a 10 °C 10 min) > calor (95 °C 30 min) > presión (200 MPa a 10 °C 10 min) ≥ crudo³⁵.

Hablaremos de otros aspectos de la presión y las proteínas al tratar aspectos de intolerancia y alergenicidad.

Vitaminas

La conservación de alimentos por presión tiene un impacto nutricional importantísimo en las vitaminas, ya que se muestran mucho más piezoestables que termoestables.

Probablemente, la piezoestabilidad del ácido ascórbico es el tema que más trabajos ha motivado en cuanto a vitaminas se refiere. El contenido en ácido ascórbico evaluado tras diversas combinaciones de presión, tiempo y temperatura se mantiene en valores cercanos a los previos al tratamiento en alimentos tan dispares como frutas, guisantes o huevos, así como variadas preparaciones como zumo, néctar, puré, *coulis*, etc., incluso tras condiciones severas (hasta 900 MPa y 30 min en algunos casos)¹⁵. A presión constante, la degradación es sensible al aumento de temperatura. En general, para la conservación de la vitamina C, es mejor usar alta presión durante el menor tiempo posible que a la inversa³⁶.

Más inestable es la conservación de la vitamina C durante el almacenamiento del alimento tratado, y el porcentaje de degradación varía en función de la materia prima y la preparación previa¹⁵. Dicha degradación sigue una cinética de primer orden, al igual que tras un tratamiento térmico¹⁶. Aun así, el tratamiento de zumo de naranja logró mejor conservación de vitamina C después de 40 días a 4 °C que la pasteurización convencional³⁷. Más adelante se citan más peculiaridades del comportamiento de la vitamina C ante la aplicación de presión al comentar el poder antioxidante.

En cuanto a la vitamina A y los carotenoides, se ha observado un patrón de mantenimiento después del tratamiento similar al indicado para el ácido ascórbico en preparados tales como puré de zanahoria o mezclas de zumos de naranja y limón. La presión isostática también permite aumentar el grado de extracción de carotenoides, aunque disminuye en presencia de determinados aditivos como la sal o el ácido cítrico¹⁶. Es interesante observar la retención de vitamina A y carotenoides durante el almacenamiento en frío. Tras conservarse a 4 °C durante 30 días, se ha descrito mayor contenido en un zumo de naranja presurizado que en uno no tratado³⁸, hecho atribuido por los autores a la destrucción por presión de las enzimas causantes de la degradación de los carotenoides durante la conservación, conjuntamente con la mejora extractiva obtenida por la presión. Comprobados estos efectos, Sánchez-Moreno et al¹⁶ destacan la ventaja industrial que representa la HPP como alternativa a procesados tradicionales de frutas y vegetales, no sólo por conservar mejor las características organolépticas y nutricionales, sino por abrir posibilidades a alimentos funcionales y a mejorar la extracción de componentes bioactivos a partir de materiales de bajo coste o de subproductos vegetales.

La conservación del retinol tras presurización se ha mostrado bastante distinta entre sistemas modelo y alimentos reales, a favor de los alimentos reales, ya que en clara y yema de huevo se ha comprobado el mantenimiento de la concentración inicial a presiones entre 400 y 1.000 MPa³⁹.

Las vitaminas del grupo B se ven muy poco afectadas incluso con tratamientos largos si las temperaturas son las que se emplean en la actualidad en sistemas modelo, leche y carne. A temperaturas de 100 °C y presión de 600 MPa, sí hay una degradación considerable.

Debe estudiarse cuál es el efecto de los tratamientos PATS en las vitaminas, pues están pensados para la destrucción de esporas y en las propuestas actuales la temperatura es superior a 100 °C, pero las presiones son menores que las indicadas y los tiempos, más cortos.

Otros aspectos de la aplicación de tecnologías de alta presión relacionados con la salud

Inmunoglobulinas

Se ha demostrado la piezoestabilidad de diversas inmunoglobulinas, significativamente mayor que la termoestabilidad⁴⁰, lo que permitiría aumentar el valor funcional de alimentos. Es el caso de la IgG de leche bovina⁴¹, la IgE del calostro de cabra⁴² o la IgA de leche humana^{43,44}.

Intolerancias y alérgenos

Se están desarrollando sistemas de extracción y separación de proteínas causantes de intolerancias o alergias mediante presión, lo que permitiría elaborar productos con cereales que ahora no son asequibles a determinadas personas. Por ejemplo, en soluciones acuosas tratadas por presión, la mayoría de las proteínas lixiviadas son las alergénicas⁴⁵. En variados alimentos se pueden reducir los efectos alergénicos sin eliminar las proteínas que los causan, sino gracias a que la presión aumenta su accesibilidad para las enzimas digestivas. Es el caso, por ejemplo, de la betalactoglobulina en que, debido a la presión, se modifican estructura y desdoblamiento⁴⁶, y el caso de los extractos de carne de vacuno⁴⁷.

Compuestos antimutagénicos

Butz et al⁴⁸ comprobaron las ventajas de la presión frente a los tratamientos térmicos para mantener la actividad de diversos compuestos antimutagénicos de frutas y hortalizas. En fresa y pomelo se mantenía la actividad tras la aplicación de presión y calor. En zanahoria, puerro, espinacas y coliflor, cuyo alto potencial antimutagénico es sensible al calor, se mantenía tras la aplicación de HPP. Finalmente, también se observó que se afectaba dicha propiedad en tomate y remolacha, pero cuando las condiciones de presión y temperatura eran extremas.

Por el contrario, la alta presión puede no ser recomendable para alimentos con alto contenido en isotiocianatos, sustancia que se encuentra, por ejemplo, en el brócoli y tiene propiedades anticancerígenas demostradas. En ensayos de presión combinada con temperatura ambiente y moderada, se ha visto aumentada hasta 4 veces la degradación de los tiocianatos en comparación con los tratamientos habituales, y se observa que dicha degradación afecta a la calidad organoléptica y algunas propiedades fisiológicas⁴⁹.

Aspartamo

Butz et al⁵⁰ comprobaron que los tratamientos de presión elevada reducen el contenido de sustancias activas hasta el 50% dependiendo del pH, al mismo tiempo que pueden generarse sustancias potencialmente tóxicas en función de la cantidad. Por ello, en tratamientos por presión, no parece posible sufragar la pérdida de actividad edulcorante mediante el aumento de aspartamo añadido, por el riesgo toxicológico que se podría ocasionar.

Capacidad antioxidant

Mediante HPP se mantiene muy adecuadamente la capacidad antioxidant, pero los resultados dependen una vez más de los parámetros del proceso, de la matriz alimentaria estudiada y del método de análisis usado, ya que se miden diferentes vías por las que el alimen-

to puede tener dicha propiedad¹⁶. Además, también se preserva mejor la capacidad antioxidante durante el almacenamiento refrigerado que con pasteurización convencional¹⁶.

Respecto a la vitamina C, de la que se han hecho anotaciones en apartados anteriores, y su capacidad antioxidante, son muy interesantes los trabajos de Sánchez-Moreno et al^{16,51-53} efectuados con voluntarios sanos que seguían su dieta habitual y no consumían suplementos vitamínicos ni minerales. En dichos individuos, el consumo de zumo de naranja o gazpacho presurizados se asoció a un incremento de la concentración plasmática de vitamina C y un descenso de los marcadores de inflamación, tanto en mujeres como en varones. Así pues, el consumo diario de dos raciones (500 ml) de dichos alimentos permitía mantener la biodisponibilidad de vitamina C y la reducción del estrés oxidativo, habitualmente obtenidas a partir de alimentos frescos, pero en este caso tenía la ventaja para el consumidor con poco tiempo de que se trataba de productos de larga conservación y agradables gustos y aromas.

Conclusiones

A pesar de que todavía deben hacerse muchos estudios sobre la calidad nutricional de los alimentos presurizados, los datos obtenidos hasta la actualidad son alentadores y abren las puertas a nuevos e interesantes desarrollos. Es preciso ahondar específicamente en los ensayos de digestibilidad y biodisponibilidad *in vitro* e *in vivo* de los nutrientes y los componentes bioactivos contenidos en los alimentos procesados con dichas tecnologías.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte de la colaboración de FESNAD con la revista ACTIVIDAD DIETÉTICA y representa a ALCYTA, Asociación de licenciados y doctores en ciencia y tecnología de alimentos (<http://www.alcyta.com/>).

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Soliva-Fortuny R, Balasa A, Knorr D, Martín-Belloso O. Effects of pulsed electric fields on bioactive compounds in foods: a review. *Trends in Food Science & Technology*. 2009;20:544-56.
2. Reglero G, Señoráns FJ, Ibáñez E. Supercritical fluid extraction: an alternative to isolating natural food preservatives. En: Barbosa-Cánovas GV, Tapia MS, Cano MP, editores. *Novel food processing technologies*. New York: CRC Press; 2005. p. 539-53.
3. Rastogi NK, Raghavarao KSMS, Nirajan K. Developments in osmotic dehydration. En: Sun DW, editor. *Emerging technologies for food processing*. London: Elsevier; 2005. p. 221-49.
4. Palmieri L, Cacace D. High intensity pulsed light technology. En: Sun DW, editor. *Emerging technologies for food processing*. London: Elsevier; 2005. p. 279-306.
5. Geveke DJ. Non-thermal processing by radio frequency electric fields. En: Sun DW, editor. *Emerging technologies for food processing*. London: Elsevier; 2005. p. 307-22.
6. Yuste J, Capellas M, Pla R, Fung DYC, Mor-Mur M. High pressure processing for food safety and preservation: a review. *Journal of Rapid Methods and Automation in Microbiology*. 2001;9:1-10.
7. Mor-Mur M, Saldo J. High pressure processing. En: Sun DW, editor. *Handbook of food safety engineering*. New York: Wiley-Blackwell [en prensa].
8. Saldo J. Microorganismos en condiciones extremas. En: Valient R, Aguado F, Méndez JM, Recio JM, editores. *Materia a alta presión. Fundamentos y aplicaciones*. Oviedo: Servicio de publicaciones de la Universidad Oviedo; Servicio de publicaciones Universidad de Cantabria [en prensa].
9. Popper L, Knorr D. Applications of high-pressure homogenization for food preservation. *Food Technol*. 1990;44:84-9.
10. Tonello C. Alimentos tratados por alta presión, comercializados en 2009 en el mundo en función del sector alimentario. 2010 [comunicación personal].
11. Diels AMJ, Callewaert L, Wuytack EY, Masschalck B, Michiels CW. Inactivation of *Escherichia coli* by high-pressure homogenisation is influenced by fluid viscosity but not by water activity and product composition. *Int J Food Microbiol*. 2005;101:281-91.
12. Saldo J, Suárez-Jacobo A, Gervilla R, Guamis B, Roig-Sagués AX. Use of ultra-high-pressure homogenization to preserve apple juice without heat damage. *High Pressure Research*. 2009;29:52-6.
13. Lacroix N, Fliss I, Makhlof J. Inactivation of pectin methylesterase and stabilization of opalescence in orange juice by dynamic high pressure. *Food Research International*. 2005;38:569-76.
14. Sandra S, Dalgleish DG. Effects of ultra-high-pressure homogenization and heating on structural properties of casein micelles in reconstituted skim milk powder. *Int Dairy J*. 2005;15:1095-104.
15. Indrawati A, Van Loey A, Hendrickx M. High pressure processing. En: Henry CJK, Chapman C, editores. *Nutrition handbook for food processors*. Cambridge: Woodhead Publishing; 2002. p. 433-61. Disponible en: <http://knovel.com/web/portal/browse/>
16. Sánchez-Moreno C, De Ancos B, Plaza L, Elez-Martínez P, Cano MP. Nutritional approaches and health-related properties of plant foods processed by high pressure and pulsed electric fields. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2009;49:552-76.
17. Fairweather-Tait SJ, Southon S. Bioavailability of nutrients. En: Caballero B, Trugo L, Finglas PM, editores. *Encyclopedia of food sciences and nutrition*. 2.ª ed. London: Elsevier Science; 2003. p. 478-84. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/>
18. Stute R, Heilbronn R, Klingler W, Boguslawski S, Eshtiaghi MN, Knorr D. Effects of high pressures treatment on starches. *Starch/Stärke*. 1996;48:399-408.
19. Bauer BA, Knorr D. Electrical conductivity: a new tool for the determination of high hydrostatic pressure-induced starch gelatinisation. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2004;5:437-42.
20. Błaszcak W, Valverde S, Fornal J. Effect of high pressure on the structure of potato starch. *Carbohydrate Polymers*. 2005;59:377-89.
21. Rubens P, Snauwaert J, Heremans K, Stute R. In situ observation of pressure-induced gelation of starches studied with FTIR in the diamond anvil cell. *Carbohydrate Polymers*. 1999;39:231-5.
22. Katopo H, Song Y, Jane J. Effect and mechanism of ultrahigh hydrostatic pressure on the structure and properties of starches. *Carbohydrate Polymers*. 2002;47:233-44.
23. Wang B, Li D, Wang LJ, Chiu YL, Chen XD, Mao Zh. Effect of high-pressure homogenization on the structure and thermal properties of maize starch. *Journal of Food Engineering*. 2008;87:436-44.
24. Sablani SS, Dasse F, Bastarrachea L, Dhawan S, Hendrix KM, MIN SC. Apple peel-based edible film development using a high-pressure homogenization. *J Food Sci*. 2009;74:372-81.
25. Buchheim W, Frede E, Wolf M, Baldenegger P. Solidification and melting of some edible fats and model lipid systems under pressure. En: Ludwig H, editor. *Advances in high pressure bioscience and biotechnology*. Heidelberg: Springer; 1999. p. 153-6.
26. Kowalski E, Ludwig H, Tauscher B. Behaviour of organic compounds in food under high pressure: lipid peroxidation. En: Hayashi R, Balny C, editores. *High pressure bioscience and biotechnology*. Amsterdam: Elsevier Science; 1996. p. 473-8.
27. Severini C, Romani S, Dall'Aglio G, Rovere P, Conte I, Lerici CR. High pressure effects on oxidation of extra virgin olive oils. *It J Food Sci*. 1997;3:183-91.
28. Krebbers B, Matser A, Koets M, Bartels P, Van den Berg R. High pressure temperature processing as an alternative for preserving basil. Poster presentation in XXXIX European High Pressure Research Group Meeting, Santander (Spain), 2001.
29. Beltran E, Pla R, Yuste J, Mor-Mur M. Lipooxidation of pressurized and cooked chicken: role of sodium chloride and mechanical processing on TBARS and hexanal values. *Meat Science*. 2003;64:19-25.
30. Beltran E, Pla R, Yuste J, Mor-Mur M. Use of antioxidants to minimize rancidity in pressurized and cooked chicken slurries. *Meat Science*. 2004;66:719-25.
31. San Martín MF, Barbosa-Cánovas GV, Swanson BG. Food processing by high hydrostatic pressure. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2002;42:627-45.
32. Anema SG. Effect of pH at pressure treatment on the acid gelation of skim milk. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2010;11:265-73.
33. Flory J, Desrumaux A, Legrand J. Effect of ultra-highpressure homogenization on structure and on rheological properties of soy protein-stabilized emulsions. *J Food Sci*. 2002;67:3388-95.
34. Iametti S, Donnizelli E, Vecchio G, Rovere PP, Gola S, Bonomi F. Macroscopic and structural consequences of high-pressure treatment of ovalbumin solutions. *J Agric Food Chem*. 1998;46:3521-7.
35. De Lamballerie-Anton M, Delapine S, Chapleau N. Effect of high pressure on the digestibility of meat and lupin proteins. Oral presentation in XXXIX European High Pressure Research Group Meeting, Santander (Spain), 2001. p. 16-9.
36. Houska M, Strohalm J, Kocurov K, Totusek J, Lefnerov D, Triska J, et al. High pressure and foods-fruit/vegetable juices. *J Food Eng*. 2005;77:386-98.
37. Sánchez-Moreno C, Plaza L, De Ancos B, Cano MP. Impact of high-pressure and traditional thermal processing of tomato puree on carotenoids, vitamin C and antioxidant activity. *J Sci Food Agric*. 2006;86:171-9.
38. De Ancos B, Sgroppo S, Plaza L, Cano MP. Possible nutritional and health-related value promotion in orange juice preserved by high-pressure treatment. *J Sci Food Agric*. 2002;82:790-6.
39. Hayashi R, Kawamura Y, Nakasa T, Okinawa O. Application of high pressure to food processing: pressurization of egg white and yolk, and properties of gels formed. *Agric Biol Chem*. 1989;53:2935-9.
40. Paschke A. Aspects of food processing and its effect on allergen structure. *Mol Nutr Food Res*. 2009;53:959-62.
41. Li SQ, Zhang QH, Lee YZ. Processing effects of pulsed electric fields, high pressure processing or heat treatment on the stability of bovine immunoglobulin G and soy isoflavone in an enriched soymilk [póster]. IFT Annual Meeting; 2005.
42. Trujillo AJ, Castro N, Quevedo JM, Argüello A, Capote J, Guamis B. Effect of heat and high-pressure treatments on microbiological quality and immunoglobulin G stability of caprine colostrum. *J Dairy Sc*. 2007;90:833-9.

43. Viazis S, Farkas BE, Allen JC. Effects of high-pressure processing on immunoglobulin A and lysozyme activity in human milk. *J Hum Lact.* 2007;23:253-61.
44. Permanyer M, Castellote C, Ramírez-Santana C, Audí C, Pérez-Cano FJ, Castell M, et al. Maintenance of breast milk immunoglobulin A after high-pressure processing. *J Dairy Sci.* 2010;93:877-83.
45. Kato T, Katayama E, Matsubara S, Omi Y, Matsuda T. Release of allergenic proteins from rice grains induced by high hydrostatic pressure. *J Agric Food Chem.* 2000;48:3124-9.
46. Zeece M, Huppertz T, Kelly A. Effect of high-pressure treatment on in-vitro digestibility of β -lactoglobulin. *Innovative Food Science and Emerging Technologies.* 2008;9:62-9.
47. Han GD. Heat and high-pressure treatments on in vitro digestibility and allergenicity of beef extract. *Food Sc Biotec.* 2006;15:523-8.
48. Butz P, Edenharder R, Fister H, Tauscher B. The influence of high pressure processing on antimutagenic activities of fruit and vegetables juices. *Food Res Int.* 1998;30:287-91.
49. Grupe C, Ludwig H, Tauscher B. The effect of high pressure on the degradation of isothiocyanates. En: Isaacs NS, editor. *High pressure food science, bioscience and Chemistry.* Cambridge: Royal Society of Chemistry; 1997. p. 125-9.
50. Butz P, Fernandez A, Fister H, Tauscher B. Influence of high hydrostatic pressure on aspartame: instability at neutral pH. *J Agric Food Chem.* 1997;45:302-3.
51. Sánchez-Moreno C, Cano M, De Ancos B, Plaza L, Olmedilla B, Granado F, et al. High-pressurized orange juice consumption affects plasma vitamin C, antioxidant status and inflammatory markers in healthy humans. *J Nutr.* 2003;133:2204-9.
52. Sánchez-Moreno C, Cano MP, De Ancos B, Plaza L, Olmedilla B, Granado F, et al. Effect of orange juice intake on vitamin C concentrations and biomarkers of antioxidant status in humans. *Am J Clin Nutr.* 2003;78:454-60.
53. Sánchez-Moreno C, Cano MP, De Ancos B, Plaza L, Olmedilla B, Granado F, et al. Consumption of high-pressurized vegetable soup increases plasma vitamin C and decreases oxidative stress and inflammatory biomarkers in healthy humans. *J Nutr.* 2004;134:3021-5.