



Ultrasonidos

Téc. Magali Parzanese
Secretaría de Agricultura,
Ganadería y Pesca

Día a día el sector agroalimentario invierte grandes esfuerzos en el desarrollo de métodos y tecnologías innovadoras para el procesamiento, conservación e higienización de alimentos. Entre otras cosas se buscan alternativas más eficientes que los tratamientos térmicos, como por ejemplo las radiaciones de microondas, el calentamiento óhmico o las radiaciones de luz UV.

Asimismo se procura combinar diversas tecnologías con el objetivo de reducir la intensidad de los tratamientos térmicos y por lo tanto sus efectos sobre la calidad nutricional y organoléptica de los productos (por ejemplo, la adición de ácidos permite reducir la temperatura y el tiempo de esterilización de algunas conservas vegetales).

Los ultrasonidos, combinados con la aplicación de presión (*manosonicación*) tratamientos térmicos leves (*termosonicación*) o ambos (*manotermosonicación*) son actualmente una de las tecnologías en fase de investigación de mayores perspectivas para la conservación de alimentos. Asimismo los ultrasonidos intervienen en otras operaciones y procesos dentro de este sector, y forman parte de los procedimientos técnicos aplicados en equipamientos de limpieza, envasado, sellado, etc.

El empleo de ultrasonidos se inició en sectores muy distintos a la industria de alimentos. Los primeros ensayos con esta tecnología se realizaron para la detección de objetos metálicos sumergidos y es probable que estos primeros intentos se hayan realizado en 1912 luego del hundimiento del Titanic. Algunos años después durante la Primera Guerra Mundial, Langevin y colaboradores trataron de emplear el ultrasonido para localizar submarinos alemanes. En 1914 reportaron la construcción de un generador de ultrasonido que empleaba el efecto piezoeléctrico recíproco. El desarrollo de esta tecnología condujo a los primeros sistemas de S.O.N.A.R. ("*Sound Navigation and Ranging*") y a las primeras aplicaciones a nivel industrial, como los detectores de figuras en piezas de metal fundido.

Actualmente los ultrasonidos son utilizados industrialmente para la caracterización interna de materiales, medición de distancias y otros ensayos no destructivos. Asimismo se emplean equipos de ultrasonidos en ingeniería civil, para detectar posibles anomalías en

Tecnologías para la Industria Alimentaria

determinados materiales, en medicina para el diagnóstico por imágenes, y en distintas terapias como fisioterapia y ultrasonoterapia. Un ejemplo muy difundido del uso del ultrasonido en la medicina son los dispositivos de *doppler* fetal que utilizan ondas de ultrasonido de entre 2 a 3 MHz para detectar la frecuencia cardíaca fetal dentro del vientre materno.

Para entender el funcionamiento de esta tecnología es necesario explicar previamente algunos conceptos sencillos acerca del sonido. Físicamente una onda sonora consiste en una perturbación mecánica de un medio (gas, líquido o sólido) que lo atraviesa a una velocidad determinada. El ritmo al cual las partículas del medio vibran durante tal perturbación, es la frecuencia o nivel del sonido y se mide en Hertz (ciclos/segundo). Conforme esta frecuencia aumenta (el sonido se hace más agudo) y se va acercando a 20 KHz aproximadamente, el sonido deja de ser audible por el oído humano. Es por ello que aquellas perturbaciones u ondas sonoras que presenten una frecuencia superior a 20 KHz son conocidas como *ultrasonido*.

Según la frecuencia, los ultrasonidos pueden clasificarse en ultrasonidos de baja intensidad (intensidad < 1 W cm⁻² y frecuencia 0.1-20 MHz) o de alta intensidad (intensidad 10- 1000 W cm⁻² y frecuencia < 0.1 MHz). Los primeros son excelentes para medir propiedades del medio en el que se propagan ya que no producen ninguna modificación. A diferencia de estos los de alta intensidad pueden provocar cambios físicos y químicos en el material en el que se aplican.

En la industria alimentaria las aplicaciones de ultrasonido de baja y alta intensidad incluyen la limpieza de equipos, homogenización, esterilización, transferencia de calor y masa, emulsificación, dispersión, formación de aerosoles, extracción (por ejemplo, de proteínas), cristalización, desgasificación, filtración, secado, tenderización de la carne, disrupción celular y estimulación de células vivas, entre otras.

Aplicación de ultrasonidos en la industria alimentaria

Son diversas las aplicaciones de los ultrasonidos en procesos de la industria alimentaria. Si bien la mayoría de ellas aún se encuentran en etapa de investigación y desarrollo, muchas otras ya se están aplicando a esca-

la industrial. A continuación se describen diversos procesos y técnicas analíticas que implican el uso de la tecnología de ultrasonidos de diversas características (de alta o baja intensidad) en el campo de la ingeniería de alimentos.

Sellado ultrasónico

Los sistemas de sellado por ultrasonido están siendo incorporados por fabricantes de maquinaria de formado/llenado/sellado, ya que presentan algunas ventajas frente al termosellado convencional. Esta tecnología tiene capacidad de sellado incluso a través de las partículas de determinados alimentos, lo que implica una notable reducción en cantidad de bolsas rechazadas y una disminución de la probabilidad de fugas. Este último es un grave problema en el envasado de aquellos alimentos sensibles al oxígeno, como los vegetales de hoja y los quesos.

Por otro lado, el sellado por ultrasonido permite el ahorro de material de envasado: por ejemplo en una típica bolsa estilo *almohada* hecha con una estructura laminada, los termosellos tradicionales suelen ser de 9,5 mm de ancho, mientras que los sellos de ultrasonido son sólo de 2 mm de ancho. Incluso algunas industrias pueden disminuir el espacio superior en la bolsa terminada ya que tener producto en la zona de sellado no resultaría un inconveniente con este sistema, lo que podría posibilitar ahorros adicionales de película y aumento en el rendimiento de las máquinas.

Otra ventaja del sellado por ultrasonido es la capacidad para detectar empaques mal sellados, ya que el equipo mide el tiempo y la potencia que se requiere para un correcto sellado. Cuando alguno de estos dos parámetros no es el adecuado se indica que el producto ha sido mal sellado y brinda al empacador la posibilidad de que inspeccione y rechace el producto si es necesario. La desventaja que presenta esta tecnología es que no todas las películas pueden ser selladas mediante ultrasonidos y que el costo de estos equipos es superior al del equipamiento para termosellado tradicional.

Detección de fugas en latas y botellas

En el mercado también están disponibles equipos de llenado de bebidas carbonatadas (gaseosas, aguas gaseificadas, cerveza, etc.) que incluyen dispositivos de

ultrasonido para la detección de fugas. En este caso la tecnología se aplica luego del embotellado o llenado de latas, para la prueba en línea de escape del dióxido de carbono (CO₂) disuelto que contienen estas bebidas. El método empleado para ello consiste en aplicar a los envases llenos y sellados ultrasonido de determinada intensidad a través de un sonotrodo que se está integrado al equipo.

Esto produce un aumento significativo de la velocidad de desgasificación, provocando que el CO₂ suba a la superficie en forma de burbujas y ocurra por lo tanto un rápido aumento de la presión dentro de la lata o botella cerrada. Si el contenedor no es a prueba de fugas (el envase tiene alguna falla, rotura etc.) este aumento de presión da lugar a una fuga inmediata de líquido. De esta forma si se cuenta con sistemas de control de presión de los envases o con un controlador del nivel de líquido, se detectan rápidamente los que presentaron fugas y se los retira de la línea. Algunas de las ventajas de esta tecnología son: equipamiento compacto, ahorro de energía, fácil adaptación a los equipos de llenado convencionales y operación continua.

Formulación de sistemas de dispersión

Otra importante aplicación de la tecnología de ultrasonidos es la formulación de sistemas dedispersión como emulsiones, suspensiones, aerosoles y espumas. De acuerdo con una investigación reciente realizada por la Universidad de Avignon (Francia) la aplicación de procesos de ultrasonido durante el mezclado de alimentos espumosos puede mejorar la calidad de los productos finales.

Según los investigadores los ultrasonidos proporcionan energía bien adaptada a la formulación de distintos sistemas de dispersión, lo que abre una buena oportunidad a la formulación de alimentos innovadores. El estudio mencionado consistió en evaluar la actividad de agua, textura, color y otras características sensoriales de tres preparaciones de tipo espuma: chocolate *Genoise*, bizcochuelo esponjoso y mousse de chocolate. Cada una de estas fue preparada de dos maneras diferentes: **A**) mediante técnicas convencionales y, **B**) por aplicación de ultrasonidos (durante el proceso de mezclado).

El resultado fue que los productos obtenidos por ultrasonido mostraron superioridad respecto a los



Equipo UIP 1000 fabricado por Hielscher

Tecnologías para la Industria Alimentaria

elaborados con técnicas tradicionales. Durante la evaluación sensorial la mayor parte de los panelistas afirmó que las muestras realizadas con ultrasonido eran de su preferencia y se registró que eran más ligeras y mejor aireadas. Por esto se concluyó que la incorporación de equipos que apliquen la técnica de ultrasonidos en la industria de alimentos puede ser de gran interés en el desarrollo de nuevos productos, principalmente en aquellos que incluyen fases de tipo dispersas (*mousse*, espumas, emulsiones, etc.), ya que esta tecnología permite obtener alimentos más homogéneos y con características organolépticas mejoradas respecto a las obtenidas por el batido o mezclado convencionales.

Procesamiento de miel

Otro sector de la industria alimentaria que incorporó la tecnología de ultrasonidos es el apícola. Comenzó a utilizarse como alternativa al tratamiento térmico o pasteurización de la miel a fin de reducir el elevado valor de temperatura al que debía ser expuesto el producto y minimizar las consecuencias negativas que esto tenía, por ejemplo el aumento del contenido de hidroximetilfurfural (HMF) en la miel. Para ello se combinaron temperaturas en el rango de los 40 - 50° C con *ultrasonidos*.

Diversos estudios demostraron que la aplicación de estas condiciones en el procesamiento de miel resulta una alternativa o complemento válido al tratamiento térmico. Como ejemplo puede citarse el ensayo realizado por *Dania Kabbania, Francesc Sepulcre, Edurne Gastón y Jan Wedekind*, en el cual una muestra de miel de características definidas fue sometida a un tratamiento con ultrasonidos de 40 KHz de frecuencia y 200 W de intensidad, a temperatura de 50° C, durante un tiempo de 120 minutos. El resultado fue la disminución y el retraso significativo del crecimiento microbiológico. Además al aplicar ultrasonidos se logra obtener en un tiempo de procesamiento menor una miel de viscosidad similar a la obtenida por aplicación de tratamientos térmicos. Asimismo se debe destacar que los niveles de HMF de la miel no se modifican, es decir al finalizar el proceso se mantiene el mismo contenido de HMF que la miel sin tratamiento. Respecto a la recristalización de la miel procesada con ultrasonido se encontró que de igual manera que sucede en la miel tratada térmicamente, se observa al cabo de un tiempo la cristalización del producto.

Diagrama de flujo del procesamiento de miel con ultrasonidos



Fuente / Implementación de mejoras tecnológicas en el procesado de productos de la colmena (miel y polen) PDT-09-B002. Instituto Tecnológico Agroalimentario de Extremadura. Dr. David González Gómez.

Análisis y determinación de propiedades de interés en alimentos

Como se mencionó anteriormente el ultrasonido de baja intensidad implica ondas con baja amplitud de propagación y utiliza niveles de potencia muy bajos ($<1 \text{ W/cm}_2$) que no causan alteraciones químicas en el material sobre el que actúan, por lo que son conocidas como no *destructivas*. La aplicación más común de este tipo de ultrasonido en el sector alimentario es en pruebas analíticas dirigidas a obtener información sobre las propiedades fisicoquímicas y el estado de los alimentos.

Si bien la posibilidad de utilizar ultrasonido de baja intensidad para caracterizar sistemas alimentarios se propuso hace más de 60 años, en las industrias de alimentos su empleo aún no está muy difundido de-

bido principalmente a la escasa existencia de instrumentos comerciales diseñados específicamente para alimentos. Sin embargo, durante los últimos años se ha despertado un enorme interés por esta técnica y finalmente se está evidenciando el enorme potencial que su utilización reviste para la industria.

Las principales razones por las cuales el ultrasonido ha ganado interés como técnica para análisis de alimentos, son las siguientes:

- La creciente complejidad de los ingredientes y productos alimenticios, hace que la industria necesite el desarrollo de técnicas innovadoras para monitorear y controlar las propiedades físicas antes, durante y después del procesamiento de los productos.
- La aplicación de ondas de ultrasonido de baja intensidad es una técnica no destructiva, no invasiva, rápida y precisa. Además, los instrumentos necesarios pueden ser totalmente automatizados.
- Los avances en la microelectrónica han permitido desarrollar instrumentos de ultrasonido a relativamente bajo costo.

El análisis de alimentos por ultrasonido se basa en la relación que existe entre las propiedades fisicoquímicas (composición, estructura y estado físico) y las propiedades ultrasónicas (velocidad, coeficiente de atenuación e impedancia) de los distintos productos sometidos a análisis. En referencia a ello, un estudio realizado por Camarena y colaboradores (2004), demostró que magnitudes ultrasónicas como el coeficiente de absorción y la velocidad de propagación son sensibles a los cambios producidos por la pérdida de turgencia y los niveles de deshidratación en el tejido de la naranja, manifestando de esta manera que es posible sustituir las medidas de deshidratación y de rotura de la glándula del aceite por las de absorción y propagación de ultrasonido. El mismo estudio evidenció que la velocidad de propagación disminuye a medida que la fruta se deshidrata como consecuencia lógica de la pérdida de elasticidad. Por otra parte, la pérdida de homogeneidad de la piel al deshidratarse produce un aumento en el coeficiente de absorción.

Dentro del análisis y control de alimentos mediante técnicas que aplican ultrasonidos de baja intensidad, pueden mencionarse otras que son diferentes de la determinación específica de propiedades fisicoquímicas:

Medida del espesor de materiales

Se basa en la medición del tiempo que demora un pulso de ultrasonido en pasar a través de una muestra y ser reflejado nuevamente en el transductor. Esta técnica es útil para determinar el espesor de materiales que son difíciles de medir por métodos convencionales como por ejemplo el espesor del recubrimiento de chocolates en confitería, capas de grasa en tejidos musculares y cáscaras de huevos, entre otros.

Detección de materia extraña

La presencia de materiales extraños tales como piezas o trozos de metal, vidrio o madera son problemas frecuentes en la industria de alimentos. La impedancia acústica de dichos materiales es mucho más alta que la de la mayoría de los componentes de un material alimenticio y por lo tanto la presencia de ese tipo de materias extrañas podría ser determinada fácilmente mediante mediciones acústicas.

Determinación de la composición de un alimento

La variación de la composición de un alimento genera cambios significativos en sus propiedades ultrasónicas.

Por ejemplo, la velocidad ultrasónica en una solución de azúcar se incrementa aproximadamente 4 m/s por cada 1% de incremento en la concentración. Este método ha sido empleado con éxito para determinar la concentración de azúcar en varios tipos de jugos y bebidas, con la ventaja de que es una técnica rápida y no destructiva.

Determinación de tamaños de partícula

Una onda ultrasónica que incide sobre un sistema disperso como una emulsión, suspensión o espuma, se disipa dependiendo del tamaño y composición de las partículas del sistema. Tanto la velocidad ultrasónica como el coeficiente de atenuación (es una medida de la disminución en la amplitud de una onda ultrasónica que se desplaza a lo largo de un material) dependen del grado de dispersión de la onda y por lo tanto es posible que brinden información sobre el tamaño de las partículas que conforman el sistema. Diferentes estudios han demostrado que realizando mediciones de ultrasonido a diferentes rangos de frecuencia pueden determinarse partículas de hasta 0.02 μm de tamaño.

Cambios de fase

La velocidad a la que se propaga el ultrasonido en los materiales sólidos es significativamente más alta que la de los líquidos. Por lo tanto una muestra pre-

Tecnologías para la Industria Alimentaria

sentará cambios en la velocidad ultrasónica en la medida que sus componentes se fundan o por el contrario se cristalicen. Es por ello que la medida de la velocidad ultrasónica ha sido utilizada para monitorear el comportamiento de la cristalización y el fundido de emulsiones y alimentos grasos (margarinas, mantequillas).

cavitación. Sin embargo, algunos estudios han demostrado efectos contrarios después de tratamientos cortos de ultrasonido, quizás como consecuencia del rompimiento de agregados celulares o moleculares que hacen que la enzima esté más dispuesta para la reacción.

Igualmente, el ultrasonido ha sido utilizado para reducir la carga microbiana en varios alimentos. La cavitación generada por el ultrasonido altera la membrana celular de los microorganismos afectando los mecanismos usados por la célula para mantener el equilibrio en su metabolismo y por lo tanto su integridad. Las microburbujas formadas como resultado de la cavitación producen choques micro-mecánicos como consecuencia de su continua formación y ruptura, que destruyen componentes estructurales y funciones celulares hasta el punto de lisis o muerte celular.

Aunque el efecto del fenómeno de cavitación descrito se conoce desde hace tiempo, su utilidad es muy limitada por la insuficiente eficacia del proceso en las condiciones habituales de tratamiento (presión y temperatura ambiente). A fin de resolver este inconveniente un grupo de investigación dependiente del Departamento de Ciencia, Tecnología y Universidad de Gobierno de Aragón (España) estudió la posibilidad de incrementar la intensidad de la cavitación mediante la aplicación de manosonicación (ultrasonidos bajo presión), y potenciar asimismo la eficacia letal del proceso por la manotermosonicación (ultrasonidos bajo presión y aplicación simultánea de calor).

Para ello se diseñó una instalación especial a fin de poder aplicar ultrasonidos y calor en condiciones perfectamente controladas de temperatura, presión y amplitud de las ondas ultrasónicas. Esta instalación permitió demostrar que la inactivación o muerte de microorganismos por ultrasonidos aumenta con la presión del sistema, de forma que es posible plantear tratamientos de manosonicación que aumenten significativamente los efectos antimicrobianos alcanzados por un tratamiento de ultrasonidos a condiciones de presión y temperatura ambiente. Por otra parte, es posible diseñar procesos de manotermosonicación a temperaturas moderadas que actúen sinérgicamente aumentando la seguridad sanitaria que conferiría un tratamiento térmico a la misma temperatura.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA APLICACIÓN DE ULTRASONIDOS

VENTAJAS

- Es una técnica rápida respecto a otras técnicas analíticas aplicadas en la industria de alimentos.
- El uso de ondas de ultrasonido de alta frecuencia y baja intensidad en contacto con alimentos en diversas aplicaciones constituye una técnica no destructiva y no invasiva.
- A diferencia de otros métodos físicos (por ejemplo la luz UV-C) los ultrasonidos pueden aplicarse con éxito en sistemas concentrados y opacos.
- Es útil para la inhibición y disminución de microorganismos termorresistentes y en aquellos alimentos cuya composición aumenta la resistencia de los microorganismos a los procesos de pasteurización.

DESVENTAJAS

- A nivel comercial actualmente es difícil hallar equipos de ultrasonido diseñados para su utilización en industrias alimenticias.
- En ocasiones la falta de una oferta elevada de equipamiento hace que la aplicación de ultrasonidos en alimentos resulte más costosa que otras técnicas convencionales.
- La presencia de pequeñas burbujas de gas en un alimento líquido puede atenuar la onda de ultrasonido hasta el punto de que no exista propagación de la misma a través del producto, sin que resulte posible por lo tanto aplicar esta técnica.

Inhibición de enzimas y microorganismos

Prolongadas exposiciones a ultrasonido de alta intensidad han demostrado inhibir la acción de algunas enzimas como la peroxidasa y la pepsina, debido probablemente a la desnaturalización de las proteínas por efecto de la

Por lo dicho es posible afirmar que la manosonicación y/o la manotermosonicación podrían resultar especialmente útiles como alternativa a la pasteurización y esterilización de alimentos líquidos contaminados con microorganismos muy resistentes al calor, así como de aquellos cuya composición aumenta la termorresistencia de los microorganismos (mermeladas, salmueras, etc.) o dificulta la transmisión del calor, como es el caso del huevo líquido. Estos métodos también pueden resultar útiles para descontaminar vegetales crudos y equipos y utensilios de uso cotidiano en la industria agroalimentaria.

Cabe destacar que la susceptibilidad al ultrasonido puede variar entre diferentes microorganismos. Por lo general las bacterias de mayor tamaño (principalmente del tipo bacilos) son más sensibles posiblemente debido a que poseen mayor superficie de contacto. También se ha observado que las células gram positivas son menos susceptibles que las gram negativas como consecuencia de la diferencia en la estructura de la pared celular. El daño microbiológico al aplicar diferentes amplitudes de onda va a depender de factores críticos como el tiempo de contacto con el microorganismo, el tipo de microorganismo, la cantidad y composición de alimentos y la temperatura durante el tratamiento.

Glosario

Coefficiente de absorción. Es una propiedad que indica la cantidad de sonido absorbido por un material o tejido, a una frecuencia determinada.

Impedancia acústica. Es la resistencia que opone un medio a las ondas ultrasónicas que se propagan sobre él.

Fuentes consultadas

- Camarena, F., Martínez, J. A., Molins, V., Ibiza, S., y Pico, R. (2004). *Caracterización mediante ultrasonidos de la evolución temporal de las propiedades físicas de la piel de naranja*. Revista de Acústica. 35: 7-12.
- De la Fuente Blanco, S., Riera-Franco de Sarabia, E., y Gallego Juárez, J. A. (2004). *Estudio de los parámetros involucrados en el proceso de deshidratación ultrasónica de vegetales*. Revista de Acústica. 35: 25-30.
- Javanaud., C. (1998). *Ultrasonics*. 26, 117-123.
- Kuldiloke, J. (2002). *Effect of Ultrasound, Temperature and Pressure Treatments on Enzyme Activity and Quality Indicators of Fruit and Vegetable Juices*. Tesis Doctoral, Universidad Técnica de Berlín. 118 Páginas.
- Lee, D. U., Heinz, V., & Knorr, D. (2003). *Effects of combination treatments of nisin and high-intensity ultrasound with pressure on the microbial inactivation in liquid whole egg*. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 4, 387-393.
- López, P., Sala, F. J., Fuente, J. L., Condón, S., Raso, J., & Burgos, J. (1994). *Inactivation of peroxidase, lipoxygenase, and polyphenol oxidase by manothermosonication*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42, 252-256.
- Mason, T. J. (1998). *Power ultrasound in food processing-the way forward*. In: *Ultrasonics in Food Processing*. Ed. Povey, M. J. W., y Mason, T. M. Blackie Academic and Professional, London.
- Povey, M. J. W., and McClements., D. J. (1998). *Journal of Food Engineering*. 8., 217-245.

La cavitación

El efecto físico más destacado que ocasionan los ultrasonidos y que es el fundamento de muchas de las aplicaciones industriales, es el denominado *fenómeno de cavitación*. Este se produce en los líquidos y su causa no es exclusivamente la propagación de ultrasonidos, sino que puede ser originado por otro tipo de condiciones.

Si las ondas ultrasónicas tienen amplitudes grandes, provocan elevadas variaciones de presión. Como todo líquido presenta una presión de vapor característica para una temperatura determinada, cuando se lleva al fluido a condiciones de presión por debajo de dicho valor, el líquido pasa a estado gaseoso y se generan por lo tanto burbujas de vapor (cavidades). Las microburbujas así creadas, acumulan energía hasta implosionar y colapsarse. Al ocurrir esto último la presión aumenta significativamente alcanzando incluso los 800 MPa y a su vez se incrementa la temperatura pudiendo llegar a los 500K. Este fenómeno es excesivamente peligroso ya que puede destruir superficies de contención cuando se origina en equipo tales como cañerías, aletas de barcos o submarinos, etc.

La cavitación por ultrasonidos presenta varios aspectos:

- **Frecuencia.** A mayores frecuencias, el tiempo dado a la burbuja para que crezca y afecte al sistema es pequeño, por lo que el efecto de la cavitación es menor.
- **Viscosidad.** Cuanto más viscoso es un líquido (mayor resistencia a fluir), menor es el efecto de la cavitación.
- **Temperatura.** Cuanto mayor es la temperatura, la cavitación tiene lugar para intensidades acústicas menores.
- **Intensidad.** En general, a mayor intensidad ultrasónica, mayor es el efecto de este fenómeno.