



Revista Iberoamericana de Tecnología
Postcosecha

ISSN: 1665-0204

rebasa@hmo.megared.net.mx

Asociación Iberoamericana de Tecnología
Postcosecha, S.C.
México

RoblesOzuna, L.E; Ochoa-Martínez, L.A.
ULTRASONIDO Y SUS APLICACIONES EN EL PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS.
Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, vol. 13, núm. 2, 2012, pp. 109-122
Asociación Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, S.C.
Hermosillo, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81325441002>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

ULTRASONIDO Y SUS APLICACIONES EN EL PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS.

Robles-Ozuna L.E.^{1*} y Ochoa-Martínez L.A.²

¹Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Carretera a La Victoria km 0.6 C.P. 83304, Hermosillo, Sonora, México. Teléfono: + 52 (662) 289-24-00- e-mail: lero@ciad.mx

²Instituto Tecnológico de Durango. Felipe Pescador 1830 Oriente Nueva Vizcaya, 34080 Durango Durango, México. Teléfono: +52 (618) 829 0910. E-mail: aralui@itdposgrado-bioquimica.com.mx

*Autor para correspondencia

Palabras clave: Ultrasonido, procesamiento de alimentos, calidad, industria de alimentos

RESUMEN

Actualmente, el empleo de ultrasonido (US) en el procesamiento de alimentos está basado en la ventaja que representa sobre los procesos tradicionales, al reducir tiempos de proceso y mejorar atributos de calidad. Además es considerada una tecnología limpia y de gran potencial de aplicación en procesos como secado, congelado, descongelado, extracción, entre otros. Fundamentalmente está establecido que el efecto de cavitación gaseosa es el que produce el efecto conservador del US, ya que de esta manera se promueve la implosión de microburbujas las cuales generan la liberación de energía. Esto permite aumentos de temperatura que producen los diferentes cambios físicos, químicos y bioquímicos en el micro entorno de las células de los diferentes productos procesados. Los US se aplican en diferentes modalidades de alta y baja intensidad así como alta y baja frecuencia. De esta manera, variando su longitud de onda, frecuencia e intensidad es que se promueven mejores tiempos y formas de mezclado, al igual que transferencia de energía y masa, para reducir tiempos de extracción e incrementar la producción y elaboración de alimentos. En esta revisión se presenta una visión actual del uso de US en diferentes modalidades y en procesos de gran importancia en la industria de alimentos actual, enfatizando las ventajas y los efectos en los diferentes procesos.

ULTRASOUND AND THEIR APPLICATIONS IN FOOD PROCESSING

Key words: Ultrasound, food processing, quality, food industry

ABSTRACT

Currently, the use of ultrasound (US) in food processing is based on the advantage that represents on the traditional processes, reducing processing times and improved quality attributes. It is also considered a clean technology and great potential for application in processes such as drying, freezing, thawing, extraction, among others. Essentially, it is established that the gaseous cavitation caused during application of US provoke the preservation effect on foods, since in this way promotes the implosion of microbubbles which generate energy release. This allows temperature increases to produce different physical, chemical and biochemical changes in the micro environment of cells of different products processed. The US is applied in various forms of high and low intensity and high and low frequency. Thus, varying the wavelength, frequency and intensity leads to better forms and time of mixing, as well as energy and mass transfer, to reduce extraction times and increase production and food processing. This review presents a current view of the use of US in different forms and processes of great importance in the food industry today, emphasizing the advantages and effects on the components of foods in different processes.

INTRODUCCIÓN

El ultrasonido de potencia representa una tecnología novedosa, la cual ha creado bastante interés debido a sus efectos promisorios en las áreas de procesamiento y

conservación de alimentos; sin embargo, y aunque actualmente es considerada una tecnología emergente, el uso de la tecnología de ultrasonido no se ha promovido para su aplicación en productos comerciales. Solo se

ha reconocido como una tecnología que asiste o ayuda en la modificación de procesos o mejora de los existentes (Knorr *et al.*, 2004). Hoover (2000) define ultrasonido como una forma de energía que viaja en ondas de sonido iguales o mayores a 20000 vibraciones por segundo, otra definición la realizó Mason (1990), en la cual lo establece como cualquier sonido con frecuencia mas allá de lo que el oído humano puede percibir (16 KHz). Las aplicaciones de las ondas ultrasónicas se dividen por lo general en dos grupos: baja y elevada intensidad. Las aplicaciones de baja intensidad son aquellas cuyo objetivo es obtener información acerca del medio de propagación sin producir ninguna modificación en su estado. Por el contrario, las aplicaciones de elevada intensidad son aquellas en la que la energía ultrasónica se utiliza para producir cambios permanentes en el medio tratado. Por ello, los ultrasonidos de potencia (USP) se asignan a las aplicaciones de elevada intensidad. El límite entre baja y alta intensidad es difícil de fijar, pero puede establecerse de forma aproximada para aquellos valores de la intensidad para los que, dependiendo del medio, varían entre 0.1 W/cm^2 y 1 W/cm^2 . Sin embargo, Mason (1998) establece que como en el caso de otras áreas de procesamiento tecnológico, el rango de sonido empleado es muy amplio y se puede dividir en los de alta frecuencia baja energía en el rango de MHz, aplicado como ultrasonido de diagnóstico y de baja frecuencia alta energía, USP en el rango de los KHz.

FUNDAMENTO DEL ULTRASONIDO

La generación de ultrasonido (US) se fundamenta en la deformación elástica de materiales ferroeléctricos, dentro de un campo eléctrico de alta frecuencia y es causada por la mutua atracción de moléculas polarizadas en el campo (Raichel, 2000). Para la polarización de las moléculas se debe transmitir una frecuencia alternante mediante dos electrodos hasta el material ferroeléctrico.

Después se obtiene la conversión a oscilación mecánica y el sonido puede ser transmitido a un amplificador para finalmente transmitirse al medio. El ultrasonido es generado por una corriente eléctrica que se transforma mediante transductores, los más empleados son: transductores conducidos por líquidos, de magneto rígido y piezoeléctricos, estos últimos transductores son los mas empleados para la generación de sonido y tienen cerca del 95% de eficiencia y pueden operar en todo el intervalo ultrasónico (Mason, 1998).

EFFECTOS DEL ULTRASONIDO

El efecto conservador del ultrasonido está asociado a los fenómenos complejos de cavitación gaseosa, que explican la generación y evolución de microburbujas en un medio líquido. La cavitación se produce en aquellas regiones de un líquido que se encuentran sometidas a presiones de alta amplitud que alternan rápidamente. Durante la mitad negativa del ciclo de presión, el líquido se encuentra sometido a un esfuerzo tensional y durante la mitad positiva del ciclo experimenta una compresión. El resultado es la formación ininterrumpida de microburbujas cuyo tamaño aumenta miles de veces en la alternancia de los ciclos de presión. Las microburbujas que alcanzan un tamaño crítico implosionan o colapsan violentamente para volver al tamaño original. La implosión supone la liberación de toda la energía acumulada, ocasionando incrementos de temperatura instantáneos y focales, que se disipan sin que supongan una elevación sustancial de la temperatura del líquido tratado. Sin embargo, la energía liberada, así como el choque mecánico asociadas al fenómeno de implosión, afectan la estructura de las células situadas en el microentorno. Se considera que dependiendo de la frecuencia empleada y la longitud de las ondas de sonido, se pueden generar diferentes cambios físicos, químicos y bioquímicos que pueden emplearse en un sin número de

aplicaciones en los diferentes campos industriales (Herrero and Romero, 2006).

CAMPOS DE APLICACIÓN DEL ULTRASONIDO

El ultrasonido hace uso de fenómenos físicos y químicos que son fundamentalmente diferentes a los que se aplican convencionalmente en las técnicas de extracción, procesamiento y conservación. Ofrece ventajas en términos de productividad, rendimiento y selectividad, ya que se obtienen mejores tiempos de proceso, mejora la calidad, reduce riesgos químicos y físicos y se considera ambientalmente amigable. Actualmente es considerada una técnica de procesamiento sustentable, debido a que típicamente emplea menos tiempo, agua y energía (Chemat *et al.*, 2011)

El uso de ondas ultrasónicas de elevada intensidad en procesos industriales se basa generalmente en una explotación adecuada de una serie de mecanismos activados por la energía ultrasónica tales como transferencia de calor, agitación, difusión, inestabilidad en las interfases, fricción, rotura mecánica, efectos químicos, etc. Estos mecanismos son empleados para producir o mejorar una amplia gama de procesos tales como soldadura de plásticos y metales, mecanizado, formación de metales, atomización, emulsificación y dispersión, desgasificación, extracción desespumado, aglomeración de partículas, secado y extracción de líquidos en suspensiones, reacciones sonoquímicas, etc. (Joice and Mason, 2008).

Una característica de las ondas ultrasónicas de elevada intensidad es su capacidad para trabajar de manera que actúan en sinergia con otras formas de energía estimulando, acelerando, o mejorando muchos procesos. Esta es la razón por la que varias aplicaciones prácticas de los ultrasonidos no son exclusivamente procesos ultrasónicos sino procesos asistidos ultrasónicamente. Tal situación es particularmente importante en aquellos

procesos relacionados con la industria alimentaria donde la aplicación de las ondas ultrasónicas impone la utilización de una energía limpia, no contaminante (Knorr *et al.*, 2004, Chemat *et al.*, 2011; Mason *et al.*, 1996). Se considera como efectos ventajosos de esta tecnología lo siguiente:

- Efectiva contra células vegetativas, esporas y enzimas
- Reducción de los tiempos y temperaturas de proceso
- Pocos requerimientos de adaptación en plantas ya establecidas
- Incrementos de los fenómenos de transferencia de calor
- Posible modificación de la estructura y textura en alimentos
- Puede emplearse en procesos continuos o intermitentes
- Efecto sobre la actividad enzimática

ULTRASONIDO EN PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS

La tecnología de US ha sido empleada en diferentes investigaciones de la industria de alimentos y existe un gran interés en ello, debido a que se puede aplicar de forma práctica, con equipo seguro y sobre todo puede considerarse ambientalmente sustentable.

La aplicación de US se puede dar de tres maneras (Chemat *et al.*, 2011).

- Aplicación directa al producto
- Acoplada a un dispositivo
- Sumergido en un baño ultrasónico

Para que la tecnología de ultrasonido pueda aplicarse en procesos alimenticios, se considera que el criterio de mayor importancia es la cantidad de energía del campo generador de sonido. Está caracterizado por el poder (W) y la intensidad (W/m^2) del sonido o por la densidad de energía del sonido (Ws/m^3). Generalmente el US se usa y denomina como aplicaciones de alta y baja energía (alta y baja potencia) o sus sinónimos de baja frecuencia y baja amplitud, alta frecuencia y baja amplitud

o baja frecuencia y alta amplitud. Específicamente las bajas energías de ultrasonido aplicadas se encuentran en el rango de intensidades menores a 1 W/cm^2 y frecuencias mayores a los 100 KHz. En el caso de las altas energías empleadas estas se consideran usualmente mayores de 1 W/cm^2 y frecuencias entre 18 y 100 KHz. (Villamiel and de Jong, 2000).

El efecto del ultrasonido sobre los agentes alterantes de los alimentos es limitado y dependiente de múltiples factores, por ello, su aplicación se ha encaminado hacia la combinación simultánea o técnicas de conservación. La aplicación de ultrasonido y tratamiento térmico suave ($<100^\circ\text{C}$, habitualmente entre $50\text{-}60^\circ\text{C}$) ha dado lugar al procedimiento denominado termoultrasonificación. La combinación con incrementos de presión ($<600 \text{ MPa}$) se denomina manosonicación, mientras que las tres estrategias de forma conjunta se conocen como manotermosonicación (Knorr *et al.*, 2004; Llull *et al.*, 2002). En lo referente a esta última técnica, López and Burgos (1995), reportaron efectos de este proceso en la inactivación de peroxidasa empleando frecuencia de 20KHz con presión de 3 y 3.5 Kg/cm^2 con temperatura de 126°C . Observando mayor eficacia en la inactivación de peroxidasa, cuando se emplea la manotermosonicación que al emplear solo calor. En este caso refieren esta eficacia a la desnaturalización proteica promovida por la sonicación

La desactivación de pectin-metilesterasa y poligalacturonasa en jugo de tomate, fue evaluada por Wu *et al.*, (2008), quienes aplicaron frecuencias de 24 KHz con amplitudes de 25, 50 y $75 \mu\text{m}$ a 60, 65 y 70°C . Ellos encontraron mayor efecto reductor a las temperaturas de 60 y 65°C , haciendo factible el empleo de termosonicación como tecnología conservación para este producto.

En cuanto a investigaciones realizadas se ha publicado el uso de ultrasonido de baja

energía en el control de procesos mediante detección no invasiva y la caracterización de propiedades fisico-químicas de materiales alimenticios (Whithers 1996). También se ha investigado sobre la estimulación de actividad celular, limpieza de superficies de alimentos y efecto sobre las enzimas. En procesos como extracción, cristalización, emulsificación, filtración, secado y congelado se ha reportado el uso de ultrasonido como tecnología asistente (Behrend and Schubert 2001). En el caso de ultrasonido de alta energía se ha aplicado en degasificación de líquidos, en inducción de reacciones de oxidación-reducción, en la extracción de enzimas y proteínas, así como para inactivación enzimática y para inducir la nucleación en el congelado (Villamiel and de Jong, 2000). Wambura *et al.*, (2010) encontraron que la combinación de ultrasonido con antioxidantes y recubrimientos de carboximetilcelulosa, se puede inhibir la oxidación lipídica y aumentar la vida de anaquel de cacahuates.

La manera de aplicación de los tratamientos de US, dependen directamente de la finalidad de usar esta tecnología como sería: Aplicación en forma directa al alimento donde el fin de esta aplicación es la inactivación de microorganismos, se han empleado los mismos microorganismo modelos que en otros métodos de conservación, como son *Saccharomyces cerevisiae* y *Escherichia coli*. Presentando el primero de estos, mayor resistencia al US, debido al tamaño del microorganismo (López Malo *et al.*, 1999; Petin *et al.*, 1999). El US combinado con calor se ha aplicado en la inactivación de *Listeria innocua* y en bacterias mesófilas contenidas en leche, observándose un efecto sinergista, ya que cuando se aplicó US se presentaron velocidades mayores de muerte térmica, descartando esto cuando se aplicó solo calor (Earnshaw *et al.*, 1995). En el caso de inactivación enzimática se ha reportado el US en frecuencias arriba de 20 KHz. Su efecto se basa en el rompimiento de las subunidades

debido a las ondas sónicas y a la presencia de oxígeno, de esta forma se rompe la estructura cuaternaria la cual no se vuelve a recuperar, esto se ha reportado en proteínas globulares (McClements, 1995). Generalmente la sonicación combinada con presión y temperatura se considera de mayor efecto sobre la inactivación enzimática (Earnshaw *et al.*, 1995).

En lo concerniente a la aplicación de US en forma indirecta y relacionado con el procesamiento de alimentos está referido a su aplicación en la limpieza de superficies. Su ventaja se debe a que US puede llegar a grietas que normalmente no se pueden limpiar por los métodos convencionales de limpieza. Se ha reportado que el efecto de US acompañado del uso de hidróxido de potasio como detergente y temperaturas entre 45 y 50°C por 30 s fue exitoso para la desinfección de bandas transportadoras (Tolvanen *et al.*, 2009).

Procesamiento mínimo

El US puede ser muy útil para un procesamiento mínimo, debido a que la transferencia de energía acústica al producto alimenticio es instantánea y en todo el volumen del producto. Esto significa una reducción del tiempo total de procesamiento, mayor rendimiento y menor consumo de energía. En muchos casos, las combinaciones de las técnicas convencionales con ultrasonido da los mejores resultados (Chemat *et al.*, 2004). Es indudable que en la última década las investigaciones con ultrasonido en sus diferentes modalidades (alta y baja energía) han ido en aumento, lo mismo que su empleo como una tecnología de asistencia.

En el caso de alimentos mínimamente procesados se ha estudiado el efecto de USP combinado con agentes desinfectantes, en la descontaminación microbiana de frutas y hortalizas. Se observó un efecto de limpieza, promovido por la cavitación que parece eliminar las células adheridas a la superficie de

los productos frescos, haciendo que los patógenos como *Salmonella typhimurium*, fueran más susceptibles a la desinfección con agua clorada y lográndose reducciones de hasta 2.7 logs al emplear 10 min de tiempo y USP en un rango de 32-40 KHz (Seymour *et al.*, 2002). Se ha investigado el efecto combinado de productos químicos desinfectantes con calor y USP para eliminar *Salmonella* y *E. Coli* 0157:H7 en semillas de alfalfa observándose que el USP de 38.5 a 40.5 KHz mejora la eficiencia del producto químico, además el empleo de calor (agua caliente a 55.8°C) y USP contribuye también al aumento de la letalidad (Scouten and Beuchat, 2002)

Filtración asistida por sonicación

Generalmente la separación de un líquido de un sólido es un procedimiento importante para obtener un sólido libre de líquido o un sólido aislado. Sin embargo, la deposición de los sólidos sobre la superficie de la membrana de filtración es un problema muy complejo. Cuando se aplica energía sónica es factible incrementar los flujos y de esta manera se rompe la alta concentración de partículas polarizadas en la superficie de la membrana, de esta forma no se afecta la permeabilidad de la membrana, ya que el líquido a alta presión limpia la membrana. Se ha observado que debido al mecanismo de cavitación se liberan las partículas cuando las membranas se han tapado (Killönen *et al.*, 2005).

En el caso de la tecnología de alimentos, el US se ha aplicado en la producción de extractos de frutas y bebidas. Específicamente en la extracción de jugos de manzana, se ha documentado, que la reducción del contenido de humedad, es cercana al 38%, cuando se emplea US, lo que implica mayor eficiencia, comparado con la reducción del 50% al emplear filtros de vacío convencionales (Mason *et al.*, 1996). De la misma manera la combinación de US con membranas de filtración se ha reportado con un efecto positivo en esta operación, mejorando las

velocidades de flujo, previniendo el tapado o bloqueo de las membranas e incluso aumentando la vida útil de los filtros (Grossner *et al.*, 2005).

Cocimiento

En la actualidad los efectos debido al mal cocimiento en muchos alimentos son generados por un sobrecocimiento en la parte expuesta a las altas temperaturas mientras que en el interior no existe tal o es insuficiente, lo que genera baja calidad en el producto. El empleo de US en cocimiento, específicamente en carne, mejora las características de transferencia de calor, lo cual es clave para evitar este problema. De esta manera se aumenta la velocidad de cocción y retención de humedad, generando mayor eficiencia energética. Adicionalmente los músculos presentan hasta 5 veces menos pérdidas por cocimiento con US que al emplear ebullición o secado convectivo (Pohlman *et al.*, 1997). Por otro lado, Cui *et al.*, (2010) reportan que el uso de ultrasonido reduce el tiempo de cocimiento de arroz integral, logrando con esto mantener su calidad.

Cortado

Se considera el US como una forma de mejorar el procesamiento de alimentos y en el caso del cortado esta tecnología emplea equipos que provee una nueva forma de cortado en una gran variedad de alimentos y mejora o simplifica las líneas de producción, disminuye los desechos y baja los costos de mantenimiento. Estos equipos emplean un dispositivo tipo cuchilla que se une a través de un eje a una fuente de US. Cada una de estas cuchillas depende del alimento a cortar y pueden ser de muchas formas y se consideran parte del instrumento de sonicado. (Rawson, 1998).

Se considera como una alternativa a equipos como los cortadores de alta velocidad de agua y a las técnicas convencionales de

cortado (Schneider *et al.*, 2009). Además se considera una forma muy limpia e higiénica de cortado ya que previene la adherencia a las cuchillas debido a la vibración y en consecuencia reduce el desarrollo de microorganismos. Por otro lado la repetitividad y la exactitud de los cortes permiten mejor estandarización del peso y dimensión de las porciones.

El cortado con US depende del tipo de alimento y de las condiciones de operación en que este se realice, generalmente se usa en productos alimentos blandos o frágiles y heterogéneos como pasteles y productos de panadería, así como alimentos grasos o viscosos

Congelado y cristalización

Un factor muy importante en el congelado de alimentos es la formación de cristales de hielo a partir del agua presente en el material. Los problemas asociados al congelado convencional se basan en la formación de cristales no uniformes, destrucción de la estructura del alimento y su baja calidad sensorial (Lakshmisha *et al.*, 2008).

El congelado inicia con la respectiva nucleación y posterior cristalización, en este caso el uso de US mejora la velocidad de nucleación y velocidad de crecimiento de cristales en un medio saturado o sobrenfriado de tal manera que se forma una gran cantidad de sitios de nucleación en el medio cuando se expone a US. Esto probablemente se deba a la cavitación de las burbujas que actúan como un núcleo para los cristales y su crecimiento o en su momento para destruir los centros o cristales presentes en el interior del medio.

Sun and Li (2003) reportan que bajo la influencia del US, el congelado convencional es mucho más rápido, debido al gran número de núcleos y es posible un descongelado más corto y el daño al producto es menor. En el caso de los cereales se ha reportado su uso como tecnología asistida en el congelado de

gluten, en el cual se ha mejorado la calidad de este producto (Song *et al.*, 2009). Diferentes autores (Zheng and Sun, 2006; Delgado *et al.*, 2008; Song *et al.*, 2009) han considerado que el potencial de la aplicación de los US en el futuro de los alimentos congelados es bastante promisorio.

Descongelado

La mayoría de los productos alimenticios que se descongelan lo hacen a una velocidad lenta y esto puede generar consecuencias económicas altas por lo cual es un inconveniente tanto a pequeña como a mediana escala. En el caso del uso de US para esta operación se ha estudiado desde hace 50 años, pero aspectos como la pobre penetración, el calentamiento localizado y la alta potencia requerida, disminuyeron el desarrollo de este método.

Actualmente se han desarrollado trabajos basados en el mecanismo de relajación, que han mostrado que mayor cantidad de energía acústica puede ser absorbida por alimentos congelados cuando se aplica la frecuencia precisa de relajación sobre los cristales de hielo en el alimento. Al respecto se ha observado que este tipo de descongelado toma menor tiempo que al emplearse el descongelado tradicional conductivo. Este principio se ha empleado en el descongelado de bacalao, en bloques de 91 mm de espesor y 12.7 kg, descongelados a 18°C en agua corriente y empleando un transductor cerámico cercano a la superficie del bloque. Se emplearon ondas a una frecuencia de 1500 Hz a 60 W/cm² logrando reducir el tiempo de descongelado en 71% en comparación con el uso agua tradicional. Además, la calidad de la carne no se afectó por el empleo de US (Kissam *et al.*, 1982). En el caso del descongelado de carne y pescado, se probaron frecuencias desde 0.22 a 3.3 MHz con intensidades de hasta 3 W/cm². El uso de alta intensidades mostró un sobrecalentamiento del músculo, por lo que se prefirió emplear

una de 500 KHz y 0.5 W/cm², de esta manera se redujo el calentamiento superficial y se logró descongelar hasta una capa de 7.6 cm de profundidad en la carne en un tiempo de 2.5 h. De esta manera se pudieron lograr resultados comparables en atenuación e impedancias acústicas (Miles *et al.*, 1999.)

Secado

El secado actual y tradicional se realiza mediante aire caliente forzado, lo cual es razonablemente económico; sin embargo, la eliminación de la humedad interior toma un tiempo relativamente largo, además las altas temperaturas pueden dañar atributos como color, sabor y valor nutricional del alimento. La aplicación de ondas acústicas o energía vibracional puede estimular la deshidratación y de esta manera disminuir el daño provocado por altas temperaturas del proceso convencional. Esencialmente se considera que la difusividad entre los sólidos suspendidos y el líquido es acelerada por efecto del campo ultrasónico de manera que la transferencia de calor puede incrementarse desde 30 a 60%, dependiendo de la intensidad del US (Gallego-Juárez, 1998)

Mason (1998), ha reportado que entre las nuevas tecnologías emergentes la deshidratación ultrasónica es bastante promisorio debido a que los efectos que produce se obtienen a temperaturas mas bajas que las tradicionales, logrando menor degradación del alimento. El uso de la tecnología de US como pretratamiento para el secado con aire caliente ha sido un tópico interesante, tanto para el secado de lecho fluidizado como para el deshidratado osmótico (García-Perez *et al.*, 2009; Simal *et al.*, 1997). En ambos procesos los tiempos y temperaturas son cortos y bajas respectivamente, provocando que los atributos de calidad como el sabor, valor nutritivo y color permanezcan sin alterarse.

En el caso de hortalizas se ha usado el US como pretratamiento antes del secado. En

términos generales se produce una reducción en las siguientes etapas de secado convencional o liofilizado y también en los procesos de rehidratación (Jambrak *et al.*, 2007). Específicamente en el secado de zanahorias, De la Fuente-Blanco *et al.*, (2006), probaron un nuevo prototipo multimuestras que emplea frecuencias de 20 KHz y potencia de 100W, para estudiar los efectos mecánicos y térmicos durante el secado en muestras de zanahoria. Se observaron fuertes efectos por US en comparación con las muestras sin empleo de US, logrando reducción de tiempo para llegar a contenidos de humedad bajos.

Elaboración de conservas y marinado

El procesamiento de este tipo de productos, en algunas ocasiones involucra el empleo de etapas posteriores al proceso principal, como en el caso de elaboración de conservas en salmuera, en donde es preciso desalar el producto para disminuir la cantidad de cloruro de sodio en el producto. Además en procesos de fermentación se presentan efectos adversos al proceso, debido a la fermentación de levaduras ajenas a las empleadas, adicionalmente las etapas de remojo provocan ablandamiento enzimático y daños estructurales e hinchazón. Estos efectos adversos se han visto parcialmente resueltos por el uso de US como lo reporta Kingsley and Farkas (1990) en su patente realizada para mejorar el proceso de encurtido. En el caso de conservas de carnes de puerco y en base a los procesos de transferencia de masa, se observó una mayor cantidad de sal en menor tiempo cuando se aplicó US a diferentes intensidades (Carcel *et al.*, 2007). En quesos se ha aplicado US y se ha observado un producto mas uniforme en la cantidad de sal aplicada, debido a los procesos de transferencia de masa dentro y fuera del producto (Hatloe, 1995).

Procesos de esterilización y pasteurización

El procesamiento actual de esterilización y pasteurización involucra calentamiento que generalmente va acompañado de bajas en el contenido nutricional, sabores indeseables y deterioro de las propiedades funcionales del alimento. Se ha reportado que el uso de US mejora este tipo de procesos en función del efecto de cavitación. Específicamente ha sido de gran interés la aplicación de US durante la pasteurización de productos lácteos, ya se ha probado su eficacia al inactivar *E. coli*, *Pseudomonas fluorescens* and *Listeria monocytogenes* sin presentar efectos adversos en el contenido de proteína total o en la caseína de leche pasteurizada (Cameron *et al.*, 2009). Generalmente las ventajas del uso de US sobre la pasteurización tradicional es debido a que existe una mínima baja de sabores, mayor homogeneidad del tratamiento y un significativo ahorro de energía (Vercet *et al.*, 2001). En otro estudio se realizaron aplicaciones de US a 20 KHz y 600 W en combinación con diferentes temperaturas 20, 40 y 60°C por tiempos de 6, 9 y 12 min, comparándola con leche cruda y pasteurizada. En los tratamientos con US también se empleó amplitud de onda de 60, 90 y 120 μm . El ultrasonido de alta intensidad mostró efecto sobre la inactivación de *Enterobacteriae*. Se observaron efectos de inactivación debido a factores como la amplitud de onda y el tiempo de sonicación, realizando sinergia con la elevación de temperatura, al reducir los valores de reducción decimal para este microorganismo (Juraga *et al.*, 2011).

Emulsificación

La aplicación de US para lograr que un compuesto, con una función determinada, sea liberado dentro del alimento, ha probado ser un éxito en relación con las formas convencionales de emulsificación (Chendke and Fogler, 1975). Actualmente se considera bastante atractivo el empleo de US en la

producción de jugos de frutas, mayonesa y salsa catsup de tomate, en la homogenización de leche (Wu *et al.*, 2000) y en la encapsulación de aromas de queso (Mongenot *et al.*, 2000).

Chendke and Fogler (1975) han atribuido al US ventajas como: el tamaño de partícula presenta un rango sub micrómetro, las emulsiones son más estables, no es necesario la adición de surfactante y la energía necesaria en el proceso es menor que la empleada en los métodos convencionales de emulsificación.

Conservación de alimentos por US

Los tratamientos tradicionales para la conservación de alimentos, requieren de altas temperaturas y tiempos dependientes de la termoresistencia de las bacterias e incluso las enzimas a inactivar. Esto provoca una baja de nutrientes y daño en el alimento, que se considera, proporcional a la temperatura y el tiempo de proceso empleado. Chemat *et al.*, (2011), han reportado que el empleo de US presenta ventajas sobre la esterilización con calor que incluye la reducción en la baja de sabores, mayor homogeneidad y ahorro de energía.

Los variables críticas que se consideran para la aplicación de esta tecnología son la naturaleza de la onda sónica, el tiempo de exposición, el tipo de microorganismo, el volumen de alimento a procesar.

Se considera que una cantidad suficientemente alta de potencia acústica puede causar ruptura celular, y que es factible desactivar su función, a menor intensidad para evitar la ruptura (Dakubu, 1976). El efecto principal que provoca la inactivación y ruptura celular es atribuido a la cavitación acústica que puede ser de dos tipos: transiente y estable (Mason *et al.*, 2003). En la primera de ellas cuando las burbujas generadas por la cavitación se llenan con gas o vapor y debido a las oscilaciones irregulares las burbujas implosionan, provocando elevaciones de presión y temperatura y en consecuencia la

desintegración de células y desnaturalización de enzimas. La cavitación estable esta referida a la oscilación de las burbujas en un comportamiento regular durante los ciclos acústicos; su efecto es debido a la microcorriente que induce en el líquido circundante lo que pueden estresar las especies biológicas. Se considera que las esporas son mas resistentes que las células vegetativas y en el caso de las enzimas su desnaturalización por US se debe al efecto de depolimerización.

El efecto del ultrasonido a 30 KHz de frecuencia durante 5 y 10 min, se emplearon para investigar las propiedades reológicas, funcionales y termofísicas de proteínas de trigo adicionadas con sacarosa y leche en polvo. Los tratamientos con USP marcaron diferencias significativas con las muestras no tratadas, causadas por la desnaturalización proteica debido a la cavitación. Esto provocó que la solubilidad de la proteína se redujera por estos efectos (RežekJambrak *et al.*, 2011).

Aun cuando los efectos del US en el campo de la conservación de alimentos son bastante promisorios, se considera que deben ir aplicados con elevación de temperatura, presión o de ambas, para lograr mas eficiencia en el proceso. La combinación de calor con US es mucho mas eficiente, en relación al consumo de energía que se gasta al emplear US o calor de manera individual.

Extracción con US

Actualmente en la búsqueda de tecnologías no contaminantes y consideradas "verdes", se ha encontrado que la extracción asistida con US llena estos requisitos ya que emplea menos solventes y energía. Esta metodología es considerada actualmente emergente (Chemat *et al.*, 2011; Joyce and Mason 2008) y se fundamenta en la aceleración de la transferencia de masa y calor, de manera que interaccionan con el material alterando sus propiedades físicas y químicas y el efecto de cavitación favorece la

liberación de los compuestos a extraer y mejora el transporte de masa debido al rompimiento de la pared celular. Sin embargo, el uso de US como tecnología asistente se ha reportado como más ventajosa que el emplear procesos como extracción con fluidos supercríticos, microondas y extracción acelerada con solventes. Las aplicaciones incluyen extracciones en hierbas, aceites, proteínas y componentes bioactivos de plantas.

Investigaciones de Riera *et al.*, (2004) empleando US a 20 KHz y 50W como asistente en la extracción supercrítica con CO₂ de aceite de almendra, obtuvieron un rendimiento mayor al 20% al emplear US, en comparación con la extracción supercrítica sola, este mismo comportamiento se observó en extracciones de aceite a partir de semillas de té (Rajaei *et al.*, 2005). Anteriormente Moulton y Wang (1982), realizaron la extracción de proteínas a partir de soya, empleando un sonicador planta piloto con el cual obtuvieron rendimientos mayores al 54 y 23 % para extracciones acuosas y con álcali respectivamente. En este mismo proceso se obtuvo 70% menos gasto energético.

Los componentes bioactivos se consideran de interés particular en muchos campos de investigación actuales, la extracción de compuestos fenólicos a partir de desechos de uva se ha considerado como prioritario en áreas como la nutrición y farmacéutica. La extracción de fenoles empleando extracción con fluidos supercríticos y asistida por US es considerada como el mejor método según Palma and Taylor (1999). En el caso de compuestos aromáticos en vinos, Vila *et al.*, (1999) reportaron incremento del 16 a 23% comparado con la extracción convencional. En el caso de extracción de isoflavonoides a partir de soya Rostagno *et al.*, (2003), reportaron mejoras de extracción arriba del 15% y con cierta dependencia del solvente orgánico empleado

El mejoramiento en la extracción de compuestos debido al uso de US se atribuye a la presión de las ondas propagadas que resultan en el fenómeno de cavitación. La elevada fuerza de cizalla incrementa la transferencia de masa de los extractantes debido a la implosión de las burbujas generadas que provocan macro turbulencia y la colisión de interpartículas a alta velocidad y a la perturbación en los micro poros de las partículas de la biomasa que aceleradifusión por remolino y la interna (Jian-Bing *et al.*, 2006)

Actualmente se considera que la extracción con US a nivel laboratorio tiene grandes beneficios; sin embargo, el escalamiento a nivel industrial es el mayor reto (Vilkhu *et al.*, 2008).

Otras aplicaciones de US

El aumento en el mercado global de alimentos ha promovido incrementos en productividad que debe de ir acompañado de calidad en los diferentes productos, los cuales demandan menores tiempos de procesado. Esto a dado las bases para que surjan innovaciones en los procesos actuales en las técnicas de procesamiento, de empaque así como incrementar la calidad en componentes nutritivos, sabor y normas de seguridad. En estos rubros es donde la técnica de US ha generado importancia por su versatilidad de uso (Pingret *et al.*, 2011)

Entre estas aplicaciones se ha evaluado el uso de US, a 25KHz y 150 W de potencia, en la preparación de diferentes productos de panadería y al compararlo con los métodos tradicionales se observó mejor calificación sensorial y análisis fisicoquímicos, que los productos preparados por tecnologías tradicionales; mejorando principalmente textura, actividad de agua, viscosidad, compuestos volátiles y color (C*) (Pingret *et al.*, 2011).

Otro campo en el que se ha aplicado el US es la caracterización fisicoquímica. Esta se ha

basado en que la composición, estructura y estado físico de muchos alimentos se puede determinar en base a la velocidad y coeficiente de atenuación de las ondas ultrasónicas de baja intensidad propagadas a través del alimento (Povey and McClements, 1988). Sigfusson *et al.*, (2001), encontraron que mediante el análisis de la temperatura y la velocidad ultrasónica en el tejido, se puede tener aceptable aproximación en el contenido de grasa, agua y sólidos no grasos, con el análisis proximal. Esto, mediante el ajuste de una ecuación semi empírica que correlacione los diferentes componentes y las variables.

CONCLUSIONES

Las aplicaciones actuales de US dentro del campo de la tecnología de alimentos, ha generado alternativas ventajosas en los procesos actuales ya establecidos, y de la misma manera, han propiciado nuevos procesos que permiten mantener o mejorar los atributos de calidad que no se alcanzan con la tecnología tradicional actual. Sin embargo, actualmente existen aún áreas con mayor o menor aplicación de US, debido a la inherencia de las condiciones y variables que se involucran. Además existe un rezago en la implementación de los equipos necesarios para aplicar esta tecnología, de grandes bondades y con un gran potencial de aplicación.

BIBLIOGRAFIA

- Behrend O. and H. Schubert. 2001. Influence of hydrostatic pressure and gas content on continuous ultrasound emulsification. *Ultrason. Sonochem.* 8:271-276.
- Cameron M., L. D. Mc Master and T.J. Britz. 2009. Impact of ultrasound on dairy spoilage microbes and milk components. *Dairy Sci. Technol.* 89:83-98.
- Carcel J.A., J. Benedito, J. Bon and A. Mulet. 2007. High intensity ultrasound effects on meat brining. *Meat Sci.* 76:611-619.
- Chemat, F., I. Grondin, P. Costes, L. Moutoussamy, A.S.C. Sing and J. Smadja. 2004. High power ultrasound effects on lipid oxidation of refined sunflower oil. *Ultrason. Sonochem.* 11, 281-285.
- Chemat F., Zill-e-Huma, Muhammed Kamran Khan. 2011. Applications of ultrasound in food technology. Processing, preservation and extraction. *Ultrasonic Sonochemistry* 18:813-835.
- Chendke P.K. and H.S. Fogler. 1975. Macrosonics in industry: 4. Chemical processing. *Ultrasonics.* 13:31-37.
- Cui L., Z. Pan, T. Yue, G.A. Atungulu and J. Berrios. 2010. Effecto of ultrasonic treatment of brown rice at different temperatures on cooking properties and quality. *Cereal Chem.* 87(5):403-408.
- Dakubu S. 1976. Cell inactivation by ultrasound. *Biotechnol. Bioeng.* 18:465-471.
- De la Fuente-Blanco S., E. Riera-Franco de Sarabia, V.M. Acosta-Aparicio, A. Blanco-Blanco and J.A. Gallego-Juárez. 2006. Food drying process by power ultrasound. *Ultrasonics* 44:e523-e527.
- Delgado A.E., L. Zheng and D.W. Sun. 2008. Influence of ultrasound on freezing rate of immersion-frozen apples. *Food Bioproc. Technol.* 2:263-270.
- Earnshaw R.G., J. Appleyard and R.M. Hurst. 1995. Understanding physical inactivation processes: combined preservation opportunities using heat, ultrasound and pressure. *Int. J. Food Microbiol.* 28:197-209.
- Gallego-Juárez J.A. 1998. Some applications of air-borne power ultrasound to food processing. Pp. 127-143. In M.J.W. Povey, T.J. Mason (Eds). *Ultrasound in Food Processing*. Blackie, Glassgow
- García-Pérez J.V, J.A. Cárcel, E. Riera and A. Mulet. 2009. Influence of the applied acoustic energy on the drying of carrots and lemon peel. *Drying Technology.* 27:281-287.

- Grossner M.T., J.M. Belovich and D.L. Feke. 2005. Transport analysis and model for the performance an ultrasonically enhanced filtration process. Chem. Eng. Sci. 60:3233- 3238.
- Hatloe J. 1995. Methods for pickling and/or marinating non-vegetables food stuff raw material. Int. Pat. WO9518537.
- Herrero A.M. y Romero de Ávila M.D. 2006. Innovaciones en el procesado de Alimentos: Tecnologías no térmicas Rev. Med. Univ. Navarra 50(4): 71-74
- Hoover D.G. 2000. Ultrasound. J. Food Sci. Supplemet Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies. 65.s8:93-95
- Jambrak A.R., T.J. Mason. L. Paniwnyk. And V. Lelas. 2007. Accelerated drying of button mushrooms, brussels sprouts, and cauliflower by applying power ultrasound and its rehydration properties. J. Food Eng. 81:88-97.
- Jiang-Bing J., L. Xiang-hong, C. Mein-qiang and X. Zhi-chao. 2006. Improvement of leaching process of Geniposide with ultrasound. Ultrasonics Sonochemistry. 13:455-462.
- Joyce A.M. and T.J. Mason. 2008. Sonication used as a biocide. A review: Ultrasound alternative to chemical biocides?. Chemistry Today. 26(6):22-26
- Juraga E., B.S. Salamon, Z. Herceg and A. RežekJambrak . 2011 Application of high intensity ultrasound treatment on *Enterobacteriae* count in milk. Mljekarstvo. 61 (2), 125-134.
- Kingsley I.S. and P. Farkas. 1990. Pickling process and product. Int. Pat. WO 1990/005458.
- Kyllönen H.M., P. Pirkonen and M. Nyström. 2005. Membrane filtration enhanced by ultasound: a review. Desalination 181:319-335.
- Kissam, A. D., R.W., Nelson, J. Ngao and P. Hunter. 1982. Water-thawing of fish using low frequency acoustics. Journal of Food Science, 47: 71–75.
- Knorr D., M. Zenker, V. Heinz and D.U Lee. 2004. Applications and potential of ultrasonic in food processing. T. Food Science & Technol. 15:261-266.
- Lakshmisha I.P., C.N. Ravishankar, G. Ninan, C.O. Mohan and T.K.S. Gopal 2008. Effect of freezing time on the quality of Indian mackerel (*Rastrelligerkanagurta*) during frozen storage. J. Food Sci. 73 : S345-S353.
- Llull P, S. Simal, J. Benedito, C. Rosello. 2002. Evaluation of textural properties of a meat-based product (sobrassada) using ultrasonic techniques. J. Food Eng. 2002; 53: 279-285.
- López-Malo, A., S. Guerrero and S.M. Alzamora. 1999. *Saccharomyces cereviseae* thermal inactivation combined with ultrasound. J. Food Protect. 62:1215-1217.
- López P. and J. Burgos. 1995. Peroxidase stability and reactivation after heat treatment and manothermosonication. J. Food Sci. 60:451-455-
- Mason, T. J. 1990. *Chemistry with ultrasound*. London ; New York : New York, NY, USA : Published for the Society of Chemical Industry by Elsevier Applied Science pp.123-132
- Mason T.J., L. Paniwnyk and J.P. Lourimer. 1996. The uses of ultrasound in food technology. Ultrasonics Sonochem. Proc. Symp. Chem. Eff. Ultrasound 1995 Int. Chem. Congr. Pac. Basin Soc.3:S253-S60
- Mason T.J. 1998. Power ultrasound in food processing. The way forward. Pp.17-29 In: Ultrasound in Food Processing. Povey J.J.W. and Mason T. Eds. Blakie Academic and Proffesional London.
- Mason T.J. Paniwnyk L and Chemat F. 2003. Ultrasound as a preservation technology. Pp.303-337 Food Preservation Techniques. Wood head Publishing Limited and CRC Press.

- McClements, D.J. 1995. Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. *Trends Food Sci. Technol.* 6, 293–299.
- Miles C.A., M.J. Morley and M. Rendell. 1999. High power ultrasonic thawing of frozen foods. *J. Food Eng.* 39:151-159.
- Mongenot N., S. Charrier and P. Chalier P. 2000. Effect of ultrasound emulsification on cheese aroma encapsulation by carbohydrates. *J. Agric. Food Chem.* 48:861-867.
- Moulton J. and C. Wang. 1982. A pilot plant study of continuous ultrasonic extraction of soybean protein. *J. Food Sci.* 47:1127-29.
- Palma M. and T. Taylor. 1999. Extraction of polyphenolic compounds from grape seeds with near critical carbon dioxide. *J. of Chromatography.* 849: 117-124.
- Petin V.G., G.P. Zhurakovskaya and L.N. Komarova. 1999. Mathematical description of combined action of ultrasound and hyperthermia on yeast. *Ultrasonics* 37:79-83.
- Pingret D., A.S. Fabiano, E. Petitcolas, J.P. Canselier and F. Chemat. 2011. First investigation on ultrasound- assisted preparation of food products. Sensory and physicochemical characteristics. *J. Food Sci.* 76:C287-C292.
- Pohlman F.W., M.E. Dikeman, J.F. Zayas and J.A. Unruh. 1997. Effects of ultrasound and convection cooking to different end point temperature on cooking characteristics, shear force and sensory properties composition and microscopic morphology of beef longissimus and pectoralis muscles. *J. Anim. Sci.* 75:386-401.
- Povey M.J. and McClements. 1988. Ultrasonics in food engineering. Part I. Introduction and experimental method. *J. Food Eng.* 8:217-245.
- Raichel.D.R. 2000. The science and applications of acoustics. Edit series. Robert T.Beyer. Springer-Verlag. New York Inc. pp. 418.
- Rajaei A., M. Barzegar and Y. Yamini. 2005. Supercritical fluid extraction of tea seed oil and its comparison with solvent extraction. *European Food Research and Technology.* 220: 401-405.
- Rawson, FF. 1998. An introduction to ultrasonic food cutting. pp.253. In: M.J.W. Povey, T.J. Mason (Eds.) *Ultrasound in food processing*, Blakie Glasgow, 1988.
- RežekJambrak A., V. Lelas, G. Krešić, M. Bajanjak, S. RimacBrnčić, Z. Herceg, V. Batur and C. Grčić. 2011. Rheological, functional and thermo-physical properties of ultrasound treated whey proteins with addition of sucrose or milk powder. *Mljekarstvo.* 61 (1), 79-91.
- Riera E., Y. Golás, A. Blanco, J.A. Gallego, M. Blasco and A. Mulet. 2004. Mass transfer enhancement in supercritical fluids extraction by means of power ultrasound. *Ultrason.Sonochem.* 11:241-244.
- Rostagno D., M. Palma and C. Barroso. 2003. Ultrasound –assisted extraction of soy isoflavones. *Journal of Chromatography A.* 1012:119-128.
- Schneider Y., S. Zahn, C. Schinder and H. Rohm H. 2009. Ultrasonic excitation affects friction interaction between food materials and cutting tools. *Ultrasonic* 49: 588-593.
- Scouten, A. J. and L.R. Beuchat. (2002). Combined effects of chemical, heat and ultrasound treatments to kill *Salmonella* and *Escherichia coli* O157:H7 on alfalfa seeds. *Journal of Applied Microbiology,* 92, 668–674.
- Seymour, I.J., D. Burfoot, R.L. Smith, L.A. Cox and A. Lockwood. 2002. Ultrasound decontamination of minimally processed fruits and vegetables. *Int. J. Food sci. Technol.* 37, 547–557.
- Sigfusson H., E.A. Decker and D.J. McClements. 2001. Ultrasonic characterization of atlantic mackerel (*Scomber scombrus*). *Food Research International.* 34:15-23.

- Simal S., F.B., De mirabo, E. Deya and C. Rosello. 1997. A simple model to predict the mass transfers in osmotic dehydration. *Lebensm. Untersuch. Forsch.* 204:210-214.
- Song G.S., S.Q. Hu, L. Li, P. Chen and X. Shen. 2009. Structural and physical changes in ultrasound assisted frozen wet gluten. *Cereal Chem.* 86:333-338.
- Sun D.W and B. Li. 2003. Microstructural change of potato tissue frozen by ultrasound – assisted immersion freezing. *J Food Eng.* 57:337-345.
- Tolvanen R., J. Lundén, A. Hörman and H. Korkeala. 2009. Pilot-scale continuous ultrasonic cleaning equipment reduce. *Listeria monocytogenes* levels on conveyor belts. *J. Food Protect.* 72:408-411.
- Vercet A., J. Burgos. and P López- Buesa. 2001. Manothermosonication of foods and food-resembling systems: effect on nutrient content and nonenzymatic browning. *J. Agr. Food Chem.* 49:483-489.
- Vila D., H. Mira, R. Lucena and R. Fernández. 1999. Optimization of an extraction method of aroma compounds in White wine using ultrasound. *Talantra.* 50:413-421.
- Vilkhu K., R. Mawson, L. Simmons and D. Bates. 2008. Applications and opportunities for ultrasound assisted extraction in the food industry — A review . *Innovative Food Science & Emerging Technologies.* 9(2):161-169
- Villamiel M. and de Jong P. 2000. Inactivation of *Pseudomonas fluorescens* and *Streptococcus thermophilus* in trypticase soy broth and total bacteria in milk by continuous flow ultrasonic treatment and conventional heating. *Food Eng.* 45:171-175.
- Wanbura P., W. Yang and N Mwakatage. 2010. Reduction of roasted peanut lipid oxidative rancidity by power ultrasound and edible coatings containing natural extracts. *Journal of Food Process Engineering* 33 :883–898
- Whithers P.M. 1996. Ultrasonic, acoustics and optical techniques for the non-invasive detection of fouling in food processing equipment. *T. Food Sci. & Technol.* 7:293-298.
- Wu H., G.J. Hulbert and J.R. Mount. 2000. Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 1:211-218.
- Zheng L and D.W. Sun. 2006. Innovatives applications of power ultrasound during food freezing process- a review. *Trends Food Sci. Technol.* 17:16-23