

# Aplicación de tecnologías emergentes al procesamiento de frutas con elevada calidad nutricional. – Una revisión

## Application of emerging technologies to fruits processing with high nutritional quality. – A review

Juliana Gamboa-Santos<sup>1,2\*</sup>, Johanna Rodríguez<sup>1</sup>, Gabriela Carvajal<sup>1</sup> y Araceli Pilamala<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencia e Ingeniería de Alimentos (FCIAL), Universidad Técnica de Ambato (UTA), Ambato, Ecuador.

<sup>2</sup> Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA), CCT La Plata, CONICET, UNLP, La Plata, Argentina. Autora para correspondencia: jou\_joule@hotmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.23850/24220582.361>

Recibido: 16.08.2016 Aceptado: 24.10.2016

### Resumen

El incremento a nivel mundial del procesamiento de frutas, debido a la mejora en las técnicas de preservación, transporte y a los sistemas de comercialización y distribución, permite ofrecer al consumidor un abanico cada vez más amplio de alimentos saludables, en creciente demanda. Sin embargo, la mayoría de los constituyentes de interés de los alimentos son sensibles a la temperatura y vulnerables a cambios químicos, físicos y microbiológicos. Los tratamientos convencionales aplicados en la industria suelen facilitar las pérdidas de compuestos, a la vez que consumen altos niveles de energía, tiempo y agua. Es por ello que en los últimos años un gran número de tecnologías alternativas que permiten el procesamiento a temperaturas bajas o medias surgieron como potenciales tratamientos para inactivar enzimas y microorganismos con mínimos efectos perjudiciales sobre los parámetros de calidad de los alimentos. Los estudios enfocados al procesamiento de frutas permiten obtener una amplia información sobre el comportamiento de dichas materias primas durante diferentes tratamientos, para contribuir a la elaboración de alimentos de calidad, seguros y saludables que conserven, en la medida de lo posible, los atributos nutricionales y sensoriales característicos de los productos frescos.

Palabras clave: Calidad nutricional, frutas, pretratamientos, tecnologías emergentes.

### Abstract

The worldwide development in fruits processing, due to improved preservation techniques, transportation, marketing, and distribution systems, can offer to consumers a wide range of healthy foods increasingly demanded. However, most of the constituents of interest in foodstuffs are temperature sensitive and vulnerable to chemical, physical and microbiological changes. Conventional processes applied in the food industry provide losses of nutritive and bioactive compounds while consuming high levels of energy, time and water. In response to these disadvantages, in recent years a large number of alternative technologies that enable the processing at low or mild temperatures emerged as potential treatments to inactivate enzymes and microorganisms with minimum adverse effects on the food quality parameters. Studies who focus on the fruit processing allow to obtain comprehensive information about the behavior of these materials during different treatments, to contribute to the development of quality food, safe and healthy to maintain, as long as possible, the nutritional and organoleptic characteristic of fresh products.

Key-words: Emerging technologies, nutritional quality, fruits, pretreatments.

## INTRODUCCIÓN

En la dieta, los vegetales y las frutas resultan de interés debido a su elevado contenido de compuestos nutritivos y bioactivos, entre los cuales destacan los compuestos fenólicos, los carotenoides, las vitaminas y la fibra (Sablani *et al.*, 2011; Landete, 2012). Más aún, estudios experimentales y epidemiológicos han demostrado que el consumo de vegetales y frutas resulta beneficioso para la salud humana no sólo por el aporte en constituyentes con elevado valor nutritivo, sino también por su potencialidad para disminuir el riesgo de contraer determinadas enfermedades tales como cáncer, diabetes y patologías cardiovasculares, entre otras, además de retrasar procesos degenerativos como el envejecimiento (Dembitsky *et al.*, 2011). En la actualidad, es preocupante la incidencia de enfermedades relacionadas con una inadecuada alimentación, como la obesidad (WHO, 2010; Mesas *et al.*, 2012). Por tanto, una de las estrategias que plantea la Organización Mundial de la Salud (OMS) es el incremento en el consumo de vegetales y frutas de elevado aporte nutritivo. En este sentido, la estrategia 5 al día, impulsada por diferentes entidades que promueven el consumo de vegetales y frutas, persigue la difusión de los beneficios para la salud de al menos cinco raciones diarias de frutas y hortalizas que contribuirían con una dieta saludable (FSA, 2010). En la industria alimentaria hay un inherente interés por desarrollar nuevos productos que amplíen la oferta para aquellos consumidores preocupados en revertir sus hábitos alimentarios poco saludables (Wootton-Beard & Ryan, 2011). Además, las frutas son una indudable fuente de compuestos con actividad biológica. Esta actividad ha sido vinculada con la reducción de radicales libres y especies reactivas al oxígeno, identificadas como promotoras de procesos que resultan tóxicos a nivel celular: daño oxidativo a proteínas y ADN, oxidación lipídica de las membranas biológicas, inhibición de vías enzimáticas y mutación génica (Eberhardt *et al.*, 2000).

Con respecto al consumo de frutas, está incrementándose a nivel mundial debido a la mejora en las técnicas de preservación, transporte y a los sistemas de comercialización y distribución (Ayala-Zavala *et al.*, 2011). Según FAO (FAOSTAT, 2016), América duplicó la exportación de frutas frescas, frutas tropicales y frutas preparadas entre 2003 y 2013, siendo relevante el incremento de 65% en la exportación de mango y guayaba frescos desde Centroamérica, principalmente México, durante el mismo período. Otro dato interesante fue el incremento significativo (580%) en la exportación de jugo de ananá en el período 2003 y 2013 para la región Centroamericana (FAOSTAT, 2016). En la mayoría de los países tropicales los jugos de frutas representan un

aporte vitamínico diario de considerable importancia en la dieta, por tanto, el consumo de otras frutas exóticas como physalis, pitahaya, baby bananas o maracuyá -en fresco o en jugos- está influenciado, además, por las oleadas migratorias de países centroamericanos que llevan parte de sus costumbres culinarias a los Estados Unidos, Alemania o Reino Unido (Redagráfica, 2016). A nivel industrial, las bebidas han sido utilizadas desde tiempos remotos como fuente de ingredientes funcionales. Esto se debe, en parte, a la facilidad de su desarrollo y a la necesidad innata del ser humano de requerir alimentos líquidos. Los jugos, por tanto, representan un medio apropiado para la disolución de componentes funcionales, pero también un método de consumo conveniente y ampliamente aceptado (Wootton-Beard & Ryan, 2011). En relación con el cambio de paradigma nutricional, que se relaciona con los alimentos funcionales, las bebidas funcionales pueden contribuir con el incremento en el consumo de frutas y vegetales que las autoridades sanitarias recomiendan, aunque la ingesta de jugos de fruta no resulta equivalente al aporte de frutas y vegetales frescos enteros recomendada.

El procesamiento o transformación de las frutas amplía su vida útil y su disponibilidad, y además permite utilizar excedentes de otras líneas de producción, como ocurre en las industrias que elaboran jugos, confituras y productos deshidratados. Las técnicas convencionales de procesamiento de estos productos han sido objeto de numerosos trabajos, en los que se intentaron optimizar las condiciones de tratamiento de modo de reducir el consumo energético de los procesos, las temperaturas y los tiempos de tratamiento (Baratí & Esfahani, 2013; Barba *et al.*, 2015). Sin embargo, muchos ingredientes alimentarios y productos son sensibles a las temperaturas de procesamiento y por ende, vulnerables a cambios químicos, físicos y microbiológicos. Las principales desventajas de los tratamientos convencionales son: la mayor susceptibilidad de producir pérdidas de compuestos, la baja eficiencia en producción, la utilización de procedimientos que consumen altos niveles de energía y tiempo, el abuso de tratamientos con calor prolongados y la utilización de cantidades elevadas de agua (Chemat *et al.*, 2011). Además, los productos químicos utilizados en los procesos de extracción de compuestos son un aspecto de preocupación para las autoridades sanitarias, debido al posible riesgo de contaminación durante la cadena de generación de valor en la industria alimentaria, la degradación de extractos durante la etapa de evaporación y la contaminación ambiental (Galanakis, 2013).

Dentro de los tratamientos frecuentes aplicados por la industria, el escaldado es una etapa importante en el procesamiento de productos vegetales, como los

jugos de frutas, dado que permite preservar el color, e inactivar enzimas y microorganismos responsables del deterioro posterior en los productos (Gamboa-Santos *et al.*, 2012). Las condiciones de temperatura y tiempo de los tratamientos juegan un rol fundamental cuando se pretende preservar el potencial bioactivo de los productos frescos (Oms-Oliu *et al.*, 2012); por tanto las condiciones de escaldado (o de los pretratamientos) deben ser cuidadosamente seleccionadas para no incurrir en pérdidas excesivas. Se ha comprobado que mediante el sometimiento de las frutas a elevadas temperaturas durante tiempos largos de tratamiento se acrecientan las pérdidas de azúcares, vitaminas (entre ellas la vitamina C por su elevada hidrosolubilidad), compuestos antioxidantes (polifenoles,  $\beta$ -caroteno, antocianinas), compuestos volátiles, entre otros, que modifican la calidad global de los alimentos (Soria *et al.*, 2010; Gamboa-Santos *et al.*, 2013a). Además, se producen modificaciones de importancia en la textura, aspecto y palatabilidad que afectan directamente a los caracteres organolépticos de los productos, repercutiendo en la calidad sensorial percibida por los consumidores (Gamboa-Santos *et al.*, 2013b; Agcam *et al.*, 2014). Estos defectos pueden evitarse con el uso de técnicas innovadoras para el procesamiento, pasteurización y extracción que normalmente involucran menores tiempos de tratamiento, reduciendo los niveles de agua y energía (Figura 1). Además, el significativo incremento en la incidencia de brotes a causa de enfermedades transmitidas por alimentos ha despertado el interés en la

utilización de tecnologías alternativas para mejorar las condiciones de procesamiento, preservación y vida útil de alimentos procesados (Ramos *et al.*, 2013). Dentro de estas tecnologías pueden mencionarse: los tratamientos asistidos con ultrasonidos (Fernandes *et al.*, 2008ab; 2011; Tiwari y Mason, 2012; Kek *et al.*, 2013; Jabbar *et al.*, 2014; Abid *et al.*, 2014ab; Minjares-Fuentes *et al.*, 2014; Luque de Castro y Delgado-Povedano, 2014), la utilización de fluidos supercríticos para extracción y procesamiento (De Melo *et al.*, 2014; Sharif *et al.*, 2014), la extracción con agua subcrítica (Veggi *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2014), los tratamientos asistidos con microondas (MW) (Seixas *et al.*, 2014; Cendres *et al.*, 2014), las radiaciones infrarrojas (RIR) (Zhu y Pan., 2009), la aplicación de altas presiones (Maresca *et al.*, 2012; Keenan *et al.*, 2012) y los pulsos eléctricos de alta intensidad (PE) (Vallverdú-Queralt *et al.*, 2013; Leong y Oey, 2014; Agcam *et al.*, 2014; Amami *et al.*, 2014). Algunos de los tratamientos mencionados anteriormente –ultrasonidos de potencia, microondas y pulsos eléctricos de alta intensidad- se encuentran en estudio por su potencial para ser aplicados en diferentes etapas de líneas de producción de mermeladas, jugos de fruta y frutas deshidratadas. La finalidad de estos estudios es obtener productos de alta calidad organoléptica y nutricional, que preserven, en la medida de lo posible, las propiedades funcionales presentes naturalmente en los productos de partida, empleando procesos que resulten energéticamente eficientes y respetuosos con el medio ambiente (Gallego-Juárez, 2010).

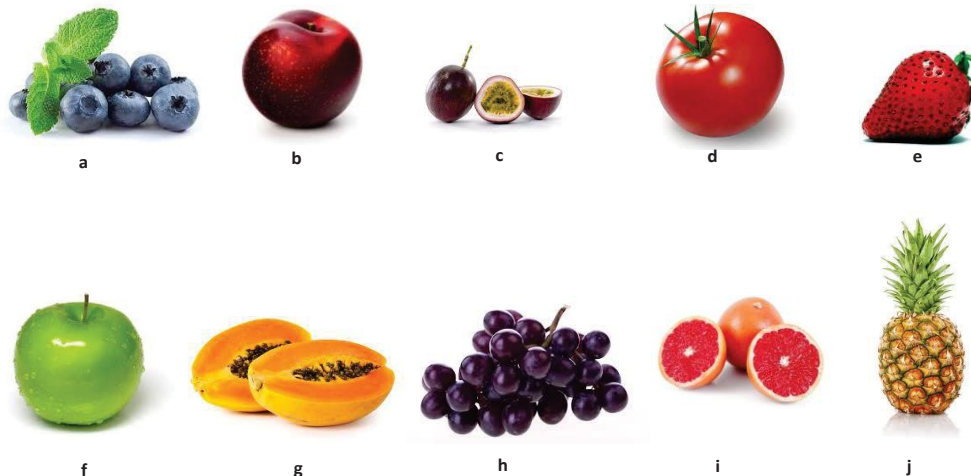


Figura 1. Frutas típicas utilizadas para evaluar el impacto de las tecnologías emergentes. a) arándanos (Barba *et al.*, 2012); b) ciruela (Cendres *et al.*, 2011; 2014); c) fruta de la pasión (Seixas *et al.*, 2014); d) tomate (Terefe *et al.*, 2009; Giner-Seguí *et al.*, 2009; Vallverdú-Queralt *et al.*, 2013; Cendres *et al.*, 2014); e) frutilla (Odrizola-Serrano *et al.*, 2007; García-Noguera *et al.*, 2010; Aday *et al.*, 2013); f) manzana Granny Smith (Turk *et al.*, 2012); g) papaya (Fernandes *et al.*, 2008b); h) uva (Ghafoor *et al.*, 2009; Morelli y Prado, 2012; González-Centeno *et al.*, 2014); i) pomelo (Iguar *et al.*, 2010; 2013; Bagherian *et al.*, 2011); j) piña (Fernandes *et al.*, 2009).

En los apartados siguientes y en la Tabla 1, se detallan algunas de las investigaciones que involucran la utilización de tecnologías emergentes para el tratamiento de frutas, haciendo hincapié en la aplicación de ultrasonidos (US), microondas (MW) y pulsos eléctricos (PE) en la elaboración de productos deshidratados, jugos y confituras, industrias especialmente relevantes

para la economía de muchos países latinoamericanos. Los estudios enfocados al procesamiento de frutas autóctonas latinoamericanas permiten obtener una amplia información de interés sobre el comportamiento de dichas frutas durante diferentes tratamientos, para contribuir a la elaboración de alimentos de calidad, seguros y saludables.

Tabla 1. Condiciones de procesamiento e indicadores evaluados durante la aplicación de tecnologías emergentes al procesamiento de vegetales y frutas.

Tecnología	Condiciones	Producto	Indicadores evaluados	Autores
Ultrasonidos de potencia (US)	20 kHz; 65 um; 60-75 C	Jugo de tomate	Inactivación de poligalacturonasa y pectinmetilesterasa	Terefe <i>et al.</i> (2009)
	20 kHz; 30, 60, 90 W/L (10,6; 21,2 y 31,8 W/cm <sup>2</sup> ), 5 y 10 min Almacenamiento (4 °C, 4 semanas)	Frutillas	Vida útil, humedad, contenido de azúcares, crecimiento de hongos, textura	Aday <i>et al.</i> (2013)
	US como pretratamiento a secado convectivo, deshidratación osmótica (DO)	Plátano	Pérdida de azúcares por lixiviado, difusividad efectiva de materia ( $D_{eff}$ ) durante el secado convectivo	Fernandes y Rodrigues (2007)
	US como pretratamiento a secado convectivo, DO	Melon	Pérdida de azúcares por lixiviado, $D_{eff}$ durante el secado convectivo	Fernandes <i>et al.</i> (2008a)
	US como pretratamiento a secado convectivo	Papaya	Pérdida de azúcares por lixiviado, $D_{eff}$ durante el secado convectivo	Fernandes <i>et al.</i> (2008b)
	US como pretratamiento a secado convectivo (60°C, HRair 18%), DO (35 y 70 °Brix); 10, 20 y 30 min; 30°C. Baño de US: 25 kHz, 4870 W/m <sup>2</sup> .	Piña	Pérdida de sólidos por lixiviado, $D_{eff}$ durante el secado convectivo, cambios en la estructura tisular (microscopía)	Fernandes <i>et al.</i> (2009)
	US como pretratamiento a secado convectivo (60°C, 0,5 m/s, HRair 16%), DO (25°Brix); 10, 20 y 30 min. Baño de US: 25 kHz, 4870 W/m <sup>2</sup> .	Papaya	Pérdida de sólidos por lixiviado, $D_{eff}$ durante el secado convectivo, cambios en la estructura tisular (microscopía)	Rodrigues <i>et al.</i> (2009)
	US como pretratamiento combinado con DO (sacarosa 25 y 50% p/p); 10, 20, 30, 45 min; 0, 25, 40 KHz. Secado convectivo: 60°C, 0,5 m/s, 16% (HR).	Frutilla	Pérdida de peso, ganancia de sólidos durante DO, $D_{eff}$ durante el secado convectivo, cambios en la estructura tisular (microscopía)	García-Noguera <i>et al.</i> (2010)
	US como pretratamiento al secado convectivo, DO (sacarosa 25, 50°Brix); 10, 20, 30, 45 y 60 min; 25 °C, 25 kHz; 60 W (1,785 W/m <sup>2</sup> )	Manzana malaya	Pérdida de peso, ganancia de sólidos durante DO, $D_{eff}$ durante el secado convectivo	Oliveira <i>et al.</i> (2011)
	US como pretratamiento al secado convectivo, DO. DO: 0, 35, 70 Brix; 0-2.5 kW; 20-60 min	Manzana	$D_{eff}$ durante DO	Cárcel <i>et al.</i> (2007)
DO: 60°Brix (1:4); 25 kHz, baño 700 W, 30 min	Guayaba	$D_{eff}$ durante el secado convectivo	Kek <i>et al.</i> (2013)	
DO: 61,5°Brix; 35 kHz; 10-120 min	Cereza	Cambio de color, actividad de agua (aw)	Kowalski y Szadzinska (2014)	
	Kiwi	Microestructura, textura, distribución del agua	Nowacka <i>et al.</i> (2014)	

Tabla 1. Continuación

Tecnología	Condiciones	Producto	Indicadores evaluados	Autores
Ultrasonidos de potencia (US)	Secado convectivo asistido con US (21,8 kHz; 75W; 40-50°C)	Cáscara de limón y durazno	Deff	García-Pérez <i>et al.</i> (2007)
	Secado convectivo asistido con US (21,7 kHz; 90W; 40°C, 1 m/s)	Cáscara de naranja	Deff, coeficiente convectivo de transferencia (k), microestructura	Ortuño <i>et al.</i> (2010)
	Secado convectivo asistido con US (21,7 kHz; 45W; 40, 50, 60 y 70°C)	Cáscara de uva	Deff, polifenoles totales e individuales y capacidad antioxidante	Cruz <i>et al.</i> (2013)
	Secado convectivo asistido con US (21,8 kHz; 30 y 60W; 40, 50, 60 y 70°C, 2 m/s)	Frutilla	Deff, k	Gamboa-Santos <i>et al.</i> (2014a)
	Secado convectivo asistido con US (21,8 kHz; 30 y 60W; 40, 50, 60 y 70°C, 2 m/s)	Frutilla	Vitamina C, indicadores de etapas iniciales de la Reacción de Maillard, propiedades de rehidratación, calidad microbiológica (almacenamiento 6 meses)	Gamboa-Santos <i>et al.</i> (2014b)
	Secado convectivo asistido con US (21,8 kHz; 0, 6, 12, 19, 25 y 31 kW/m <sup>3</sup> ; 40°C, 1 m/s)	Manzana	Deff, textura, estructura	Ozuna <i>et al.</i> (2014)
	Secado convectivo asistido con US (18,5 y 30,8 kW/m <sup>3</sup> ; 30, 50 y 70 °C)	Manzana	Deff, polifenoles totales, flavonoides, capacidad antioxidante, microestructura	Rodríguez <i>et al.</i> (2014)
	Secado convectivo asistido con US (100 W; 45°C; 0,7 m/s)	Manzana	Velocidad de secado, consumo de energía	Kowalski y Pawlowski (2015)
	Secado convectivo asistido con US (21,7 kHz; 30,8 kW/m <sup>3</sup> ; 40, 50, 60 y 70°C, 1 m/s)	Cáscara de fruta de la pasión	D <sub>eff</sub> polifenoles totales, capacidad antioxidante	Nascimento <i>et al.</i> (2016)
	Secado asistido con US a bajas temperaturas (-10°C; 20,5 kW/m <sup>3</sup> ; 2 m/s; HR<10%)	Manzana	D <sub>eff</sub> polifenoles totales, flavonoides, antioxidantes	Santacatalina <i>et al.</i> (2014)
	Secado asistido con US a bajas temperaturas (-5,-10,-15°C; 20, 50, 75 W; 1, 2, 4, 6 m/s)	Manzana	D <sub>eff</sub>	Santacatalina <i>et al.</i> (2015)
	Secado asistido con US a bajas temperaturas (-10°C; 10,3-30,8 kW/m <sup>3</sup> ; 2 m/s; HR: 15%)	Manzana	D <sub>eff</sub>	Brines <i>et al.</i> (2015)
	Secado asistido con US a bajas temperaturas (-10 y 10°C; 20, 50, 75 W; 2 m/s)	Manzana	Textura, microestructura, polifenoles totales, capacidad antioxidante, flavonoides	Santacatalina <i>et al.</i> (2016)
	Extracción con US (UAE: 40 kHz, 250 W); [Etanol]: 33, 40, 50, 60, 67%; 33, 40, 50, 60, 67°C; 16, 20, 25, 30, 34 min	Semillas de uva	Contenido de compuestos fenólicos, antocianinas y actividad antioxidante	Ghafoor <i>et al.</i> (2009)
	UAE (25°C, 20 kHz) en modo continuo y con pulsos; 2,4-59,2 W/cm <sup>2</sup> ; 2-90 min	Cáscara de granada	Contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante	Pan <i>et al.</i> (2012)
	US: 40, 80, 120 kHz; 50, 100 y 150 W/L 5, 15, 25 min	Orujo de uva	Contenido de polifenoles y flavonoles totales, actividad antioxidante	González-Centeno <i>et al.</i> (2014)
US: [Etanol]: 60%, agua 20-50 C 30 min	Mermelada de uva roja	Contenido de compuestos fenólicos y antioxidantes	Morelli y Prado (2012)	

Tabla 1. Continuación

Tecnología	Condiciones	Producto	Indicadores evaluados	Autores
Ultrasonidos de potencia (US)	US: 20 KHz, amplitud 70%, 15°C, 2 min	Jugos de zanahoria	Contenido de pigmentos de color, azúcares, ácido clorogénico, minerales, inactivación microbiana	Jabbar <i>et al.</i> (2014)
	US en baño (25 kHz, amplitud 70%, 2W/cm <sup>2</sup> ); 20°C; 0, 30 y 60 min	Jugo de Manzana	Polifenoles (ácido clorogénico, ácido cafeico, catequina, epicatequina); azúcares (fructosa, glucosa y sacarosa), elementos minerales (Na, K, Ca, P, Mg, Cu, Zn); carotenoides totales, antocianinas, viscosidad, conductividad eléctrica	Abid <i>et al.</i> (2014a)
	US en baño (25 kHz, 30 min; 0,06 W/cm <sup>3</sup> ; 20, 40 y 60°C); US con sonda (20 kHz, 5 y 10 min, 0,30 W/cm <sup>3</sup> ; 20, 40 y 60°C)	Jugo de Manzana	Inactivación enzimática (polifenolasa, POD, PME) y microbiana (total, hongos y levaduras); ácido ascórbico polifenoles totales, flavonoides, flavonoles, pH, acidez titulable, °Brix y color.	Abid <i>et al.</i> (2014a)
Microondas (MW)	Secado asistido con MW: MW (0,97 W/g); MW-SC (0,97 - 2,04 W/g; 50, 55, 60°C).	Limón	Cinética de secado, color, capacidad de rehidratación	Kesbi <i>et al.</i> (2015)
	Secado con MW (2450 MHz; 200, 400 y 600 W)	Manzana	D <sub>eff</sub> , Eficiencia energética	Zarein <i>et al.</i> (2015)
	Secado con MW a vacío (400, 700 y 1000 W; 4 kPa) y en etapas (60°C, 8 kPa).	Banana	Porosidad, aw, microestructura, textura	Monteiro <i>et al.</i> (2016)
	Secado asistido con MW (100 W) y US (200 W) (52°C, 2 m/s)	Frutilla	Color, aw, consumo energético, cinética de secado	Szadzinska <i>et al.</i> (2016)
	Secado con MW a vacío (1,3 W/g; 4-6 kPa; 6 rpm)	Arándano	Color, polifenoles totales, antocianinas, capacidad antioxidante, textura, cinética de secado	Zielinska y Michalaska (2016)
	Secado por etapas asistido con MW (secado convectivo 80°C)	Arándano	Propiedades de rehidratación, cinética de rehidratación	Zielinska y Markowski (2016)
	MW: 90-105 °C, 15 min, 900-1000 W; Convencionales: 85-100 °C, 30 min; DO: 65 °Brix; fruta:azúcar 67:33	Mermeladas de pomelo	Contenido de sólidos solubles, humedad, actividad de agua, pH, consistencia, fluidez, color	Igual <i>et al.</i> (2010)
	Extracción con MW (MAE), 100°C; 0,5-1,5 W/g; 11-58 min	Jugos de ciruela, damasco y uva	Rendimiento de extracción	Cendres <i>et al.</i> (2011)
	MAE, 100°C; 0,5-1,5 W/g; 11-58 min	Jugos de ciruela, damasco, uva, tomate cherry y cereza	Contenido de azúcares, polifenoles, antocianinas, carotenoides y volátiles	Cendres <i>et al.</i> (2014)
	MAE: 3, 6 y 9 min; 356, 450 y 628 W; tipo de ácido: nítrico, tartárico y acético	Fruta de la pasión	Rendimiento de extracción de pectinas, grado de esterificación, contenido de monosacáridos, morfología	Seixas <i>et al.</i> (2014)
MAE: 2-14 min; 0,45, 0,63 y 0,9 kW Convencional: 90°C, 90 min UAE: Sonda; 4-30 min; 50, 60 y 70°C	Pomelo	Rendimiento de extracción de pectinas, grado de esterificación, contenido de ácido galactónico, viscosidad	Bagherian <i>et al.</i> (2011)	

Tabla 1. Continuación

Tecnología	Condiciones	Producto	Indicadores evaluados	Autores
Pulsos eléctricos (PE)	PE (5-10 kV/cm, 10-50 pulsos) como pretratamiento a secado convectivo (70°C, 2 m/s)	Manzana	Deff	Wiktor <i>et al.</i> (2013)
	PE (5 kV/cm, pulsos 20 us, 120 s) como pretratamiento a secado en lecho fluidificado (50°C, 50 m <sup>3</sup> /h)	Actinidia	Color, ácido ascórbico	Lamanauskas <i>et al.</i> (2015)
	DO asistida con PE (0,7-1,8 kV/cm; 25-45°C; 1:5)	Kiwi	a <sub>w</sub> , color, textura, vitamina C, D <sub>eff</sub>	Desmesonlougou <i>et al.</i> (2016)
	PE (100, 200 y 400 V/cm) como pretratamiento a DO (61,5°Brix, 120 min)	Kiwi	Cinética de secado, contenido de azúcar	Traffano-Schiffo <i>et al.</i> (2016)
	PE: 35 kV/cm; 1000 us: pulsos de 4 us, tratamiento convencional: 90°C, 10-30 s, almacenamiento (180 d, 4°C)	Jugo de naranja	Evaluación sensorial, contenido de compuestos fenólicos y flavonoides	Agcam <i>et al.</i> (2014)
	PE: 100 us, 36 kV/cm; altas presiones (HP): 600 MPa, 5 min, 42 C	Jugo de arándanos	Estabilidad de parámetros físico-químicos, actividad antioxidante	Barba <i>et al.</i> (2012)
	Pulsos eléctricos de alta intensidad (HIPEF): 35 kV/cm; 50-250 Hz; 1000 us: pulsos de 1-7 us, 250 Hz y 100 us	Jugo de frutilla	Contenido de vitamina C, antocianinas y capacidad antioxidante	Odriozola-Serrano <i>et al.</i> (2009)
	PE: 4 us, 200 Hz, 5-35 kV/cm, 1500 us, T < 40 C	Gazpacho	Inactivación enzimática	Giner-Seguí <i>et al.</i> (2009)
	PE: 200 Hz; 23,2 ms: pulsos de 100 us. Volumen de procesamiento: 4400 kg/h (escala industrial)	Manzana Granny Smith	Contenido de polifenoles, glucosa, fructosa, ácido málico; color; Evaluación sensorial	Turk <i>et al.</i> (2012)
Pulsos eléctricos de intensidad moderada (MIPEF): 1 kV/cm; 0,1 Hz; 16 pulsos de 4 us HIPEF: 35 kV/cm; 100 Hz; 1500 us: pulsos de 4 us Convencional: 90°C, 60 s Almacenamiento: 56 días, 4°C	Tomates crudos y jugo de tomate	Contenido de carotenoides, licopeno, capacidad antioxidante	Vallverdú-Queralt <i>et al.</i> (2013)	

## ULTRASONIDOS DE POTENCIA

En medio líquido (Figura 2), los efectos mecánicos y químicos de la cavitación parecen ser los responsables de la inactivación enzimática mediante US (Tiwari & Mason, 2012). Las ondas acústicas viajan a través del medio líquido induciendo ondas de compresión-descompresión en las moléculas. A partir de un determinado nivel de potencia, la descompresión da lugar a la formación de burbujas de aire de gran tamaño que finalmente colapsan e implosionan, liberando la energía acumulada en forma de ondas. Además se desencadenan microcorrientes de gran intensidad que pueden alterar las características del medio. Estos cambios de presión y turbulencia, sumados al aumento de la temperatura en el sistema debido a la conversión parcial de la energía acústica en calor, promueven la formación de radicales

libres mediante la descomposición electroquímica de las moléculas de agua. Este conjunto de efectos, sobre la matriz sonicada, favorece la inactivación enzimática (Soria & Villamiel, 2010; Fernandes *et al.*, 2011). Los efectos letales sobre los microorganismos también parecen estar vinculados con el fenómeno de cavitación y de formación de radicales libres altamente reactivos a nivel microscópico (Oms-Oliu *et al.*, 2012). El aumento de la temperatura y la presión que se produce al colapsar las burbujas de cavitación en el medio líquido puede ocasionar la ruptura de puentes de hidrógeno e interacciones de Van der Waals en las cadenas peptídicas de las proteínas de las matrices alimentarias sometidas a tratamiento, con la consiguiente modificación de la estructura secundaria y terciaria (Zhong *et al.*, 2004). Asimismo, la elevada presión y temperatura que se alcanzan favorecen la formación de radicales hidroxilos,

que pueden reaccionar con residuos aminoacídicos provocando cambios en la actividad biológica de las enzimas (Barteri *et al.*, 2004). A pesar de estos estudios, aún no se conoce con exactitud el alcance de los distintos mecanismos implicados en la inactivación y, en ocasiones, puede originarse el fenómeno opuesto de reactivación enzimática (O'Donnell *et al.*, 2010). Terefe *et al.* (2009), encontraron un efecto sinérgico entre la temperatura y los US en sus estudios sobre la cinética de inactivación de poligalacturonasa y

pectinmetilesterasa (PME) en zumo de tomate. Aday *et al.* (2013), han empleado los US (30, 60, 90 W) como método para alargar la vida útil de frutillas frescas. Dichos autores indicaron que, de acuerdo con los parámetros estudiados (composición de gas en el envase y pH), los US, a potencias de 30 y 60 W, prolongaban hasta cuatro semanas la vida útil de la frutilla sin detrimento de su calidad, en comparación con muestras tratadas con agua destilada pero sin US, que se deterioraban en la primera semana.

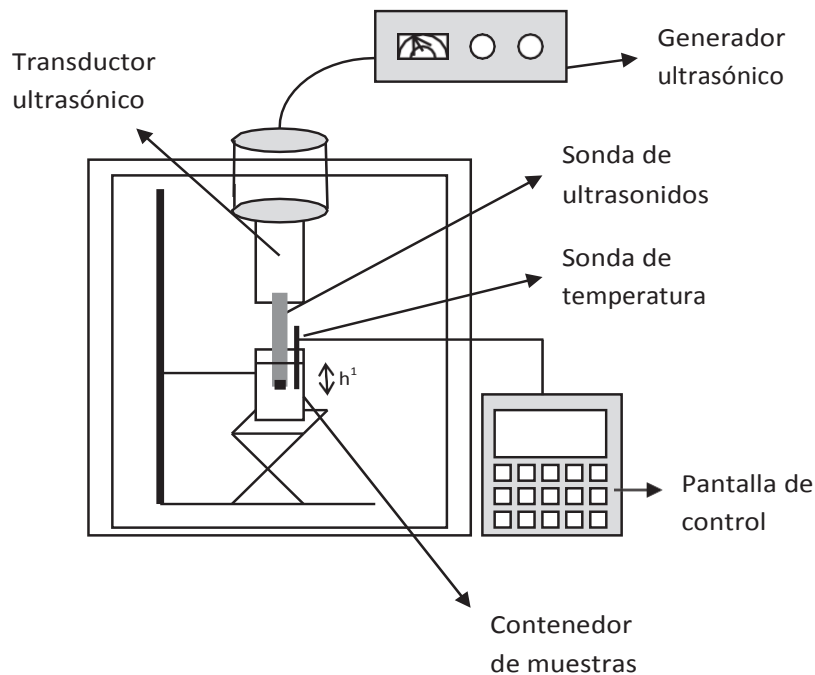


Figura 2. Representación esquemática de una sonda de ultrasonidos (modificado de Gamboa-Santos *et al.*, 2012).

La deshidratación osmótica (DO) es otro claro ejemplo de la aplicación de US en medios líquidos como pretratamiento al secado convectivo de frutas, utilizando diferentes soluciones hipertónicas de sustancias, en general, azúcares y sales, a concentraciones, temperaturas y tiempos variables. Los efectos mecánicos de los US, que conllevan la formación de microcanales en la estructura del producto, junto con la presión osmótica, son los responsables de acelerar la pérdida de agua y la ganancia de sólidos y de reducir el tiempo de secado posterior. Esta tecnología se ha utilizado con éxito en diversos productos, tales como plátano (Fernandes & Rodrigues, 2007), manzana (Cárcel *et al.*, 2007), melón (Fernandes *et al.*, 2008a), papaya (Fernandes *et al.*, 2008b; Rodríguez *et al.*, 2009), piña (Fernandes *et al.*, 2009), frutilla (García-Noguera *et al.*, 2010), manzana malaya (Oliveira *et al.*, 2011), guayaba (Kek *et al.*, 2013), kiwi (Nowacka *et al.*,

2014) y cereza (Kowalski *et al.*, 2014). En relación con la pérdida de sólidos, se ha observado que depende del porcentaje de humedad inicial y del efecto que pueden provocar los US en la estructura del tejido de la fruta, siendo el melón, la papaya y la piña especialmente sensibles a la formación de canales microscópicos en su estructura (Fernandes *et al.*, 2008ab; 2009; Rodrigues *et al.*, 2009). La aplicación de ultrasonidos (mediante sonda) a la deshidratación osmótica de guayaba redujo el tiempo de secado posterior en un equipo de secado por aire caliente en 33%, incrementando la difusividad efectiva de materia en 35% (Kek *et al.*, 2013).

Otra línea de investigación de interés es la extracción asistida con US de compuestos bioactivos de matrices vegetales en medio líquido (Cares *et al.*, 2010; Picó, 2013). Esta tecnología permitiría incrementar la calidad



de jugos de frutas durante el proceso de extracción de jugos. Mothibe *et al.* (2011), observaron que el transporte de solutos o líquidos durante tratamientos asistidos por ultrasonidos promovería la pérdida de nutrientes en un medio líquido. En jugos de zanahoria, sometidos a tratamientos combinados de escaldado y sonicación, se obtuvieron incrementos significativos en pigmentos de color, contenido de azúcares, de ácido clorogénico y de elementos minerales, así como una significativa reducción en la población microbiana, comparado con tratamientos convencionales en agua a 100 °C (con y sin agregado de ácido cítrico). Los autores sugirieron que el tratamiento combinado de escaldado y sonicación podría ser utilizado con éxito en la elaboración de jugo de zanahoria a escala industrial con calidad mejorada (Jabbar *et al.*, 2014). Abid *et al.* (2014a) concluyeron que la sonicación podía ser aplicada para incrementar el contenido de micronutrientes presentes naturalmente en jugo de manzana. Los mismos autores habían reportado la eficacia de tratamientos de termosonicación (a 60 °C) para inactivar enzimas y la microflora naturalmente presente en los mismos jugos, reduciendo las pérdidas de ácido ascórbico, polifenoles totales, flavonoles y flavonoides (Abid *et al.*, 2014b). La extracción con US se ha utilizado, además, para incrementar los rendimientos de extracción de antocianinas y  $\beta$ -caroteno de semillas de uva y cáscaras de cítricos y granadas (Ghafoor *et al.*, 2009; Pan *et al.*, 2012). La extracción asistida con US en modo continuo de cáscaras de granada incrementó el rendimiento de extracción de antioxidantes (polifenoles) en 24% y redujo el tiempo de proceso en 90%, comparada con la extracción sólido-líquido control. En el mismo estudio, la aplicación de pulsos de US dio lugar a similares rendimientos de extracción de polifenoles, con la ventaja de reducir el consumo energético en 50% comparado con la extracción asistida con US en modalidad continua (Pan *et al.*, 2012). González-Centeno *et al.* (2014), investigaron la extracción acuosa de polifenoles, flavonoles totales y actividad antioxidante en orujo de uva, evaluando el efecto de la frecuencia acústica (40, 80, 120 kHz), la densidad de potencia US y los tiempos de extracción (5, 15, 25 min) mediante la metodología de superficie de respuesta múltiple (RSM). Las condiciones óptimas que maximizaron la extracción de los compuestos bioactivos estudiados fueron: 40 kHz, 150 W/L y 25 min de tiempo de extracción. Un estudio similar, en mermelada de uva roja, fue reportado previamente por Morelli & Prado (2012). En este trabajo se optimizó la extracción de compuestos fenólicos antioxidantes mediante un sistema asistido por US. Los parámetros que consideraron para la optimización mediante RSM fueron: concentración de solvente, tiempo y temperatura de extracción, para lo cual obtuvieron las siguientes

condiciones óptimas de tratamiento: 60% etanol y agua, 20 min y 50°C. Al comparar los resultados con una metodología estándar de determinación química de polifenoles en vegetales, obtuvieron que el tratamiento con US daba lugar a un incremento significativo en el potencial antioxidante (de hasta 70%). Asimismo, al contrario de lo que se espera para este tipo de confituras, la formulación de mermelada de uva roja utilizada contenía una fuente considerable de compuestos polifenólicos antioxidantes.

En medio sólido, el efecto de los US se explicaría por la serie de expansiones y compresiones promovidas en la matriz sólida por las ondas ultrasónicas y el aire circundante. Este fenómeno, conocido como “efecto esponja”, ocasionaría un incremento en la difusión interna del agua por efecto mecánico, a través de canales microscópicos producidos por las ondas. Además, a consecuencia de la aplicación de US, se generarían microcorrientes de gran intensidad y la turbulencia en las interfaces se incrementaría (Gamboa-Santos *et al.*, 2014a). Recientemente, se ha reportado una variedad de estudios de secado convectivo asistido con US de diversas frutas: manzana (Ozuna *et al.*, 2010; Kowalski & Pawlowski, 2015), frutilla (Gamboa-Santos *et al.*, 2014a; 2014b) y cáscara de limón, naranja y uva (García-Pérez *et al.*, 2007; Ortuño *et al.*, 2010; Cruz *et al.*, 2016). En general se han obtenido reducciones en los tiempos de proceso del orden de (25-60%) comparado con el tratamiento control (sin US) a temperaturas de operación intermedias (40-70°C), lo cual repercute en una mejora de la calidad final de los productos deshidratados debido a la preservación de los compuestos nutritivos y bioactivos de la frutas frescas (Gamboa-Santos *et al.*, 2014b). Asimismo, dado que la deshidratación de las muestras es una etapa común en los protocolos de determinación de compuestos antioxidantes en matrices vegetales, recientemente se ha estudiado la aplicación de US de potencia durante la deshidratación de cáscaras de fruta de la pasión (Nascimento *et al.*, 2016). Los US permitieron operar bajo condiciones de secado más suaves (menores temperaturas y tiempos de proceso), lo cual dio lugar a mínimas reducciones en el contenido de polifenoles totales y a actividad antioxidante comparado con el producto fresco.

Además de la aplicación de US a tratamientos de DO y a procesos de secado con aire caliente, recientemente se ha incursionado en la aplicación de US a procesos de liofilización o secado a bajas temperaturas (Santacatalina *et al.*, 2014, 2015, 2016; Brines *et al.*, 2015). En manzanas se han obtenido reducciones en los tiempos de proceso del 80%, aplicando potencias de operación de hasta 75 W a frecuencias de 21,9 kHz (Santacatalina *et al.*, 2016).

## MICROONDAS

Desde hace más de 30 años la energía con microondas (MW) se viene aplicando a nivel industrial en múltiples tratamientos de la industria alimentaria, como deshidratación, liofilización y descongelación. Las microondas son un tipo de energía electromagnética oscilante, con frecuencias en el rango de 300 MHz a 300 GHz, siendo el rango 0,92-2,45 GHz el más efectivo para el calentamiento dieléctrico (Leonelli & Mason, 2010). El fundamento de esta tecnología se relaciona con el impacto directo de las MW sobre la materia polar. La energía electromagnética es convertida en calor mediante los mecanismos de conducción iónica y rotación de dipolos (Jain, 2009). Durante la conducción iónica, el calor se generaría debido a la resistencia al flujo iónico en el medio. Además, los iones se moverían en dirección a señales del campo magnético que cambiarían con frecuencia. Esta turbulencia ocasionaría colisiones entre las moléculas, con la consecuente generación de calor (Azmir *et al.*, 2013). La utilización de energía con microondas ha sido propuesta como alternativa al tratamiento de pasteurización convencional debido a su capacidad para preservar los nutrientes termolábiles y las características organolépticas de frutas procesadas (Maloney & Harrison, 2016). Las microondas penetran en el tejido vegetal produciendo el incremento de la temperatura de las moléculas de agua, afectando a la presión interna del sistema y al gradiente de concentraciones de sustancias, que facilitan los mecanismos de difusión de agua y sólidos solubles. Como consecuencia de este proceso, los tiempos de tratamiento se acortan y la calidad final del producto se incrementa. La utilización de MW en combinación con aire caliente ha dado lugar a una reducción de horas a minutos en tratamientos aplicados sobre diversas matrices alimentarias como: hortalizas, fideos de cocción rápida, algas marinas y productos de aperitivo (Leonelli & Mason, 2010; Kesbi *et al.*, 2015; Zarein *et al.*, 2015; Monteiro *et al.*, 2016; Szadzinska *et al.*, 2016). En dichos estudios se han puesto de manifiesto las ventajas de la aplicación de MW sobre los tratamientos convencionales: la rápida transferencia de energía, el calentamiento selectivo, volumétrico y uniforme, la rápida conexión, desconexión y fácil manipulación de los equipos y la alta densidad de potencia aplicable sobre la zona de procesamiento (Leonelli & Mason, 2010). Recientemente, Zielinska & Michalska (2016), evaluaron el efecto del secado convectivo con aire caliente, el secado con MW y vacío y su combinación en la cinética de secado, color, polifenoles totales, antocianinas, capacidad antioxidante y textura de arándanos congelados. Las muestras que se deshidrataron combinando el secado convectivo (90°C) con MW y vacío dieron lugar a las concentraciones más altas de

antocianinas y capacidades antioxidantes satisfaciendo los requerimientos de aumento de calidad del producto y reducción de tiempos de proceso. En mermeladas de pomelo se obtuvieron mejoras en la consistencia tras tratamientos con microondas (a temperaturas de 90-105 °C, durante 15 min de tratamiento y potencias de 900-1000W) comparados con tratamientos convencionales con calor (85-100 °C, 30 min) y deshidratación osmótica (Iguar *et al.*, 2010). Al analizar las pérdidas de  $\beta$ -caroteno y flavonoides para las mismas muestras sometidas a procesamiento y almacenamiento, los autores encontraron que la aplicación de microondas daba lugar a mermeladas más estables, comparadas con las obtenidas por deshidratación osmótica y con el tratamiento convencional con calor. Sin embargo, los autores recomendaron la deshidratación osmótica para elaborar mermelada lista para el consumo (que no fuera sometida a un almacenamiento prolongado) (Iguar *et al.*, 2013). Además de los tratamientos antes mencionados, se han utilizado microondas para extraer compuestos de interés, debido a su eficacia para acelerar la difusión de tales compuestos al agua de extracción (Cendres *et al.*, 2011, 2014; Orio *et al.*, 2012, Alupului, 2012). Cendres *et al.* (2011) aplicaron tratamientos de hidro-difusión asistidos por MW en la producción de jugos de fruta, observando modificaciones en la viscosidad y el color del producto final. Además, partiendo de frutas congeladas obtuvieron incrementos en los rendimientos de extracción de jugos del orden del 30%, en comparación con la utilización de frutas frescas como materia prima. Los autores explicaron este comportamiento por la desestructuración dual provocada por la congelación-descongelación de la fruta y la aplicación de MW. Recientemente (2014), los mismos autores investigaron las variaciones en la composición de jugos de ciruela, damasco y uva, mediante el análisis de la concentración de azúcares, polifenoles totales, carotenoides y compuestos volátiles, obteniendo que la difusión de nutrientes era dependiente de la desestructuración de la fruta, de la solubilidad de la molécula y de la localización de los compuestos (epidermis o parénquima). En fruta de la pasión Seixas *et al.* (2014) obtuvieron incrementos en la extracción de pectina tras aplicar tratamientos combinados de microondas con ácido tartárico. En pomelo, Bagherian *et al.* (2011) investigaron la extracción de pectinas utilizando microondas, ultrasonidos en baño y un tratamiento convencional en agua caliente. Tras dos min de tratamiento con microondas se obtuvieron rendimientos de extracción de pectinas similares a los obtenidos tras 90 min de tratamiento convencional con calor (en agua a 90°C). Además, para el mismo trabajo, se obtuvieron excelentes resultados tras la aplicación de tratamientos combinados de ultrasonidos (como pretratamiento) y microondas.

## PULSOS ELÉCTRICOS

Los pulsos eléctricos (PE) son una tecnología de procesamiento no térmica basada en la aplicación de pulsos cortos de alto voltaje mediante electrodos (20-80 kV/cm, Figura 3). Los PE han sido utilizados con éxito en la extracción de compuestos de interés de matrices vegetales, con reducidos niveles de consumo energético (Huang *et al.*, 2012). El efecto de los PE se atribuye a su capacidad de inducir la formación de poros dentro de la estructura celular. Cuando se supera una intensidad eléctrica crítica puede producirse el colapso irreversible de la membrana celular (electropermeabilización), fenómeno que facilita la extracción de compuestos de interés en matrices vegetales (Azmir *et al.*, 2013). El efecto se produce debido al potencial eléctrico que atraviesa las membranas celulares durante la aplicación de PE. Dada la naturaleza bipolar de las moléculas que componen las membranas, el potencial eléctrico divide a las moléculas en función de su carga eléctrica. Cuando se excede un potencial de aproximadamente 1 V, se produce un fenómeno de repulsión de cargas que promueve la formación de poros en áreas débiles de la pared causando un incremento drástico de la permeabilidad celular (Bryant & Wolfe, 1987). Por debajo del nivel crítico, el efecto es reversible y por tanto los poros formados en la pared celular pueden volver a cerrarse cuando cesa el tratamiento (Leong & Oey, 2014). La eficacia de los tratamientos con PE depende estrictamente de los parámetros del proceso, como la intensidad del campo, la energía aplicada, la frecuencia, el tipo y número de pulsos, la temperatura, el tiempo y las propiedades de los materiales sometidos

a tratamiento (Heinz *et al.*, 2003). En medios líquidos, la aplicación de PE en modo continuo es apropiada para productos con baja conductividad y que no presenten burbujas de aire (Oms-Oliu *et al.*, 2012). En jugo de naranja tratado con PE se obtuvo una mejor aceptación sensorial para los atributos turbidez, aroma, color y aceptación general comparada con los jugos pasteurizados de modo tradicional. Además, tras un almacenamiento de 180 días a 4°C, las muestras tratadas con PE presentaron compuestos fenólicos y flavonoides más estables que sus pares pasteurizadas (Avcam *et al.*, 2014). Barba *et al.* (2012) estudiaron la estabilidad de parámetros físico-químicos, compuestos antioxidantes (ácido ascórbico, polifenoles y antocianinas totales) y actividad antioxidante tras la aplicación de PE (tratamiento continuo, 100  $\mu$ s, 36 kV/cm) y altas presiones (600 MPa, 5 min, 4°C) en jugo de arándanos. Las muestras pre-tratadas con tecnologías emergentes mostraron una disminución inferior a 5% en el contenido de ácido ascórbico, comparado con las muestras no tratadas. Pese a los buenos resultados obtenidos inmediatamente después al tratamiento, tras el almacenamiento refrigerado (56 días, 4°C), las muestras pre-tratadas con altas presiones preservaron mejor el contenido de ácido ascórbico (69%) y la actividad antioxidante (79%) que las muestras sin procesar (50, 70% respectivamente) y que aquellas tratadas con PE (50, 52%). Odriozola-Serrano *et al.* (2007) investigaron el efecto de la frecuencia, la amplitud de pulsos y la polaridad sobre el contenido de licopeno, vitamina C y capacidad antioxidante de jugo de tomate. Las condiciones de tratamiento que maximizaron los contenidos relativos de licopeno,

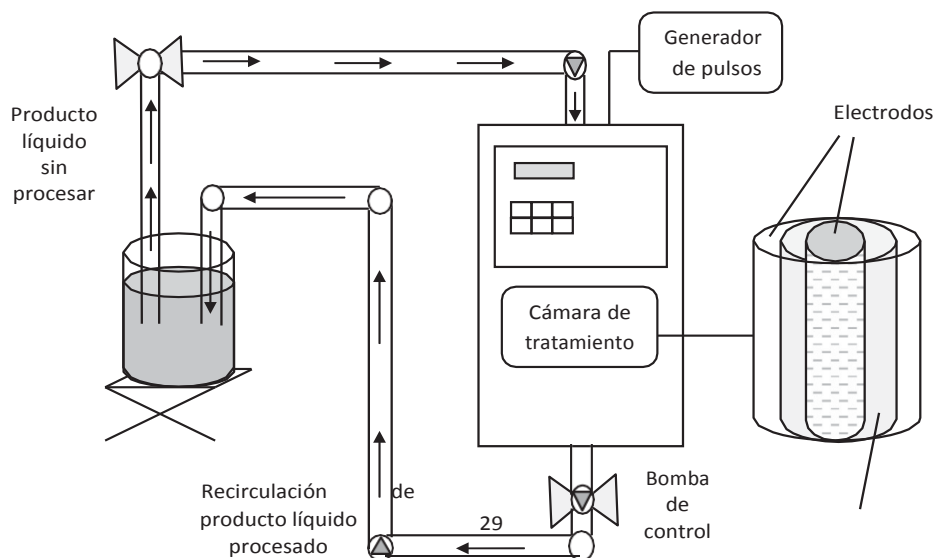


Figura 3. Representación esquemática de un equipo de pulsos eléctricos (PE) de alta intensidad. Fuente: Autor.

vitamina C y actividad antioxidante fueron: aplicación de pulsos de 1  $\mu$ s, frecuencias de 250 Hz y 100  $\mu$ s de tratamiento en modo bipolar. Con la finalidad de inactivar la enzima pectinesterasa (PE), Giner-Seguí *et al.* (2009) aplicaron tratamientos de pulsos eléctricos (4  $\mu$ s, 200 Hz) en modo mono y bipolar en un rango de intensidades de campo de 5-35 kV/cm durante tiempos de tratamiento de hasta 1500  $\mu$ s ( $T < 400^\circ\text{C}$ ) en gazpacho. Los resultados mostraron un incremento de la inactivación enzimática al aumentar el tiempo de tratamiento y la intensidad de campo eléctrico, siendo más eficiente frente a la inactivación enzimática la aplicación de pulsos en modo bipolar respecto de la aplicación en modo monopolar. Los PE también han sido utilizados para extraer compuestos bioactivos de frutas. Turk *et al.* (2012), investigaron el efecto de PE a escala industrial (4400 kg/h) en puré de manzana, obteniendo un aumento significativo en el contenido de polifenoles y en el rendimiento de extracción (76,3% *versus* 71,1%) comparado con muestras sin tratamiento emergente. Además, obtuvieron un incremento en la intensidad del aroma a manzana y una reducción en la turbidez del puré, tras el tratamiento con PE, lo cual se percibe como una mejora en las características organolépticas del producto. Vallverdú-Queralt *et al.* (2013) investigaron la aplicación de PE en tomates crudos y en jugo de tomate encontrando un incremento significativo en el contenido de carotenoides (63-65% para el *cis*-licopeno) comparado con tratamientos convencionales con calor. Además, tras un almacenamiento en refrigeración durante 56 días, los jugos tratados con PE presentaron mayores contenidos de carotenoides (10 -20%) que los jugos tratados térmicamente o no tratados.

Al igual que los US y las MW, los PE han sido estudiados durante el proceso de deshidratación de frutas (Barba *et al.*, 2015). Wiktor *et al.* (2013) aplicaron PE (5-10 kV/cm, 10-50 pulsos) previo al secado convectivo (70  $^\circ\text{C}$ , 2 m/s) de manzanas, obteniendo reducciones en el tiempo total del proceso de hasta 12% (10 kV/cm, 50 pulsos). Lamanuskas *et al.* (2015) secaron frutos de *Actinidia Kolomikta* en un lecho fluidificado con aire caliente (50  $^\circ\text{C}$ , 50 m<sup>3</sup>/h, 3 h) que habían sido pretratados con PE (5 kV/m, pulsos: 20  $\mu$ s, 20 Hz). La aplicación de PE redujo al menos en dos veces el tiempo de secado de las frutas a las condiciones óptimas del proceso (5 kV/cm, 20  $\mu$ s, 20 Hz, 150 s) sin modificar el color o contenido de ácido ascórbico de las muestras frescas. En kiwi, Desmesonlouoglou *et al.* (2016) obtuvieron incrementos de hasta 200% en los valores de difusividad efectiva de agua cuando aplicaron PE (1,8 kV/cm) a tratamientos de DO (25, 35, 45  $^\circ\text{C}$ ) con diferentes sustancias osmóticas (glicerol, trehalosa, maltodextrina, ácido

ascórbico, cloruro de sodio y de calcio y ácido cítrico). Los cambios producidos por los PE sobre la calidad de kiwi deshidratado osmóticamente fueron aceptables (se mantuvo la textura, el color y el contenido de vitamina C). Traffano-Schiffo *et al.* (2016) reportaron resultados similares respecto de la cinética de secado en kiwis deshidratados osmóticamente (61,5  $^\circ\text{Brix}$ , hasta 120 min) y pretratados con PE (100, 250 y 400 V/cm). Además, la aplicación de PE se relacionó con una reducción en el contenido de azúcar del producto final comparado con el tratamiento DO control, lo cual representa una oportunidad para el desarrollo de frutas deshidratadas osmóticamente con un menor contenido calórico.

### ANÁLISIS COMPARADO DE TECNOLOGÍAS EMERGENTES

En los apartados precedentes se han descrito tres de las tecnologías emergentes (US, MW y PE) en estudio para el procesamiento de frutas, principalmente enfocadas a la obtención de productos deshidratados, jugos de frutas y mermeladas de elevada calidad nutricional.

Como se ha visto, la literatura muestra una variedad de investigaciones donde se comparan dichas tecnologías con los tratamientos convencionales de escaldado, secado con aire caliente, extracción de jugos y de compuestos de interés. Sin embargo, pocos estudios han comparado o combinado estas tecnologías entre sí con el fin de seleccionar la tecnología emergente más apropiada o un híbrido que optimice tanto el proceso como la calidad del producto final. Según Jermann *et al.* (2015), en Norteamérica las tecnologías de MW y PE para el procesamiento de alimentos están entre las cuatro más estudiadas de los últimos diez años, junto con las altas presiones y las radiaciones ultravioleta, cuya principal aplicación consistiría en inactivar bacterias vegetativas, hongos y levaduras y esporas al combinarse con temperaturas altas. Para el caso de la deshidratación de frutas con constituyentes termosensibles, Szadzinska *et al.* (2016) estudiaron el efecto de la aplicación de MW y US en el secado convectivo (SC) de frutillas, utilizando un prototipo capaz de combinar estas tres tecnologías en el mismo tratamiento. De los resultados obtuvieron una reducción de 94% en el tiempo de proceso para el tratamiento combinado SC-MW-US (80 min) comparado con el SC control (1258 min) y una mejora en la calidad del producto final para los indicadores seleccionados (color y actividad de agua). Con respecto a las combinaciones de SC con MW y SC con US, los mismos autores obtuvieron reducciones en los tiempos de proceso

de 93 y 52%, respectivamente. Las diferencias encontradas se atribuyen a las diferentes fuentes de energía de las MW y los US. Las MW generarían calor en el volumen entero del producto (“efecto de calentamiento”) mientras que los US producirían una serie de efectos mecánicos en el producto deshidratado (“efecto vibrante” y “efecto esponja”) y, si bien los US producen un incremento de temperatura en el sistema, este sería superficial (Szadzinska *et al.*, 2016). El incremento no significativo de temperatura en el producto cuando se utilizan US posiciona a esta tecnología en ventaja respecto de los MW para el secado de productos agrícolas termosensibles. El modo intermitente o a potencias variables permitiría mantener la calidad de los productos deshidratados con asistencia de MW; no obstante, el costo inicial del secado con MW es elevado comparado con el de los US o secado convectivo (Vadivambal & Jayas, 2009). Con respecto a la aplicación de PE, la mayoría de los estudios existentes se enfocan en la aplicación de estas tecnologías en medios o matrices líquidas como jugos de frutas, dado que se trata de una tecnología útil para productos líquidos, semi-líquidos o viscosos (Moussa-Ayoub *et al.*, 2016). A diferencia de las MW y los US, no se han encontrado estudios que referencien la aplicación de PE directamente sobre un medio sólido. Para el caso de la deshidratación de frutas, principales aplicaciones en medio sólido de MW y US, se han obtenido reducciones de tiempo de proceso cuando se aplicaba PE al pretratamiento de frutas únicamente en medio líquido y previo a un secado convectivo (Wiktor *et al.*, 2013; Lananauskas *et al.*, 2015).

Aunque existen muchas investigaciones orientadas a la aplicación de tecnologías emergentes al procesamiento de vegetales y frutas (Maloney & Harrison, 2016; Ojha *et al.* 2016), quedan muchos esfuerzos por hacer para que dichas tecnologías puedan extenderse a nivel industrial. Para lograr este objetivo, deberán profundizarse las investigaciones orientadas a las evaluaciones de seguridad, las vías de aplicación, el impacto en la calidad sensorial y la aceptación de los consumidores. La continuación de los estudios en esta área permitirá, con toda seguridad, descubrir un mayor número de ventajas y aplicaciones que mejorarán la calidad de los productos disponibles en el mercado, así como harán más eficientes los procesos convencionales actualmente utilizados por la industria. Las tecnologías convencionales no sólo producirían modificaciones negativas en los productos alimentarios cuando las condiciones de los procesos involucran elevadas temperaturas y tiempos de proceso; además, se está evaluando el impacto que tales tecnologías producen en el medio ambiente.

En los últimos años, se ha observado un “cambio de paradigma” con respecto a la utilización de tecnologías tradicionales invasivas a favor de tecnologías emergentes medioambientalmente limpias. En este contexto, las tecnologías emergentes, aplicadas a tratamientos de preservación (DO, secado convectivo y a bajas temperaturas asistidos con tecnologías emergentes) y de extracción (elaboración de jugos de elevada calidad nutritiva y organoléptica y extracción de compuestos bioactivos de interés), han mostrado incrementar la eficiencia de los procesos y contribuir al cuidado del medioambiente mediante la reducción del consumo de agua y de solventes, la eliminación de desperdicios y de energía fósil y la disminución en la generación de sustancias peligrosas (Chemat *et al.*, 2011). Las tecnologías emergentes, entre las que se encuentran los ultrasonidos de potencia, las microondas y los pulsos eléctricos de alta intensidad, ofrecen además una red de ventajas en términos de productividad, rendimiento y selectividad ya que disminuyen los tiempos de tratamiento, mejoran la calidad de los productos y minimizan los riesgos químicos y físicos de las tecnologías convencionales (Soria & Villamiel, 2010).

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por la Dirección de Investigación y Desarrollo (DIDE) de la Universidad Técnica de Ambato (UTA). J.G.S. agradece además al gobierno ecuatoriano y a la UTA el disfrute de un contrato de Docente Investigador grado PhD en la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos (FCIAL-UTA).

## REFERENCIAS

- Abid, M., Jabbar, S., Wu, T., Hashim, M.M., Hu, B., Lei, S., & Zeng, X. (2014a.) Sonication enhances polyphenolic compounds, sugars, carotenoids and mineral elements of apple juice. *Ultrason Sonoch*, 21(1), 93–97. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.06.002>
- Abid, M., Jabbar, S., Hu, B., Hashim, M.M., Wu, T., Lei, S., Khan, M.A., & Zeng, X. (2014b). Thermosonication as a potential quality enhancement technique of apple juice. *Ultrason Sonoch*. 21(3), 984–990. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.12.003>
- Aday, M.S., Temizkan, R., Büyükcın, M.B., & Caner, C. (2013). An innovative technique for extending shelf life of strawberry. *LWT-Food Sci Technol*, 52(2), 93-101. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2012.09.013>

- Agcam, E., Akyıldız, A., & Akdemir E. G. (2014). Comparison of phenolic compounds of orange juice processed by pulsed electric fields PEF and conventional thermal pasteurization. *Food Chem*, 143, 354–361. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.115>
- Alupului, A. (2012). Microwave extraction of active principles from medicinal plants. U.P.B. *Science Bulletin*, Series B, 74 (2). 129-142. [http://scientificbulletin.upb.ro/rev\\_docs\\_arhiva/fullf4b\\_141413.pdf](http://scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/fullf4b_141413.pdf)
- Amami, E., Khezami, L., Jemai, A.B., & Vorobiev, E. (2014). Osmotic dehydration of some agro-food tissue pre-treated by pulsed electric field: Impact of impeller's Reynolds number on mass transfer and color. *J King Saud Univ – Engineer Sci*, 26(1), 93–102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jksues.2012.10.002>
- Ayala-Zavala, J.F., Vega-Vega, V., Rosas-Domínguez, C., Palafox-Carlos, H., Villa-Rodríguez, ... (2011). Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. *Food Research Int*, 44(7), 1866–1874. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.021>
- Azmir, J., Zaidul, I.S.M., Rahman, M.M., Sharif, K.M., Mohamed, A., Sahena, F., Juhurul, M.H.A., Ghafoor, K., Norulaini, N.A.N., & Omar, A.K.M. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: a Review. *J Food Eng*, 117(4), 426-436. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014>
- Bagherian, H., Ashtiani, F.Z., Fouladitajar, F., & Mohtashamy, M. (2011). Comparisons between conventional, microwave- and ultrasound-assisted methods for extraction of pectin from grapefruit. *Chem Eng Proc*, 50(11-12), 1237– 1243. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cep.2011.08.002>
- Barati, E., & Esfahani, J.A. (2013). A novel approach to evaluate the temperature during drying of food products with negligible external resistance to mass transfer. *J Food Eng*, 114(1), 39-46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.07.028>
- Barba, F.J., Jäger, H., Meneses, N., Esteve, M.J., Frígola, A., & Knorr, D. (2012). Evaluation of quality changes of blueberry juice during refrigerated storage after high-pressure and pulsed electric fields processing. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 14, 18-24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2011.12.004>
- Barba, F.J., Parniakov, O., Pereira, S.A., Wiktor, V., Grimi, N., Boussetta, N., Saraiva, J.A., Roso, J., Martín-Belloso, O., Witrowa-Rajchert, D., Lebovka, N., & Vorobiev, E. (2015). Current applications and new opportunities for the use of pulsed electric fields in food science and industry. *Food Res Int*, 77(4), 773-798. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2015.09.015>
- Barteri, M., Diociaiuti, M., Pala, A., & Rotella, S. (2004). Low frequency ultrasound induces aggregation of porcine furanase by free radicals production. *Biophy Chem*, 111(1), 35–42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bpc.2004.04.002>
- Brines, C., Mulet, A., García-Pérez, J.V., Riera, E., & Cárcel, J.A. (2015). Influence of the ultrasonic power applied on freeze drying kinetics. *Phys Procedia*, 70, 850-853. <http://dx.doi.org/10.1016/j.phpro.2015.08.174>
- Bryant, G., & Wolfe, J. (1987). Electromechanical stress produced in the plasma membranes of suspended cells by applied electrical fields. *J Membr Biol*, 96 (2), 129-139.
- Cárcel J.A., Benedito, J., Roselló, C., & Mulet, A. (2007). Influence of ultrasound intensity on mass transfer in apple immersed in a sucrose solution. *J Food Eng*, 78(2), 472-479. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.10.018>
- Cares, M.G., Vargas, Y., Gaete, L., Sainz, J., & Alarcón, J. (2010). Ultrasonically assisted Extraction of bioactive principles from Quillaja Saponaria Molina. *Phys Proc*, 3(1), 169–178. <http://dx.doi.org/10.1016/j.phpro.2010.01.024>
- Cendres, A., Chemat, F., Maingonnat, J.F., & Renard, C.M.G.C. (2011). An innovative process for extraction of fruit juices using microwave heating. *LWF-Food Sci Technol*, 44(4), 1035-1041. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2010.11.028>
- Cendres, A., Hoerlé, M., Chemat, F., & Renard, C.M.G.C. (2014). Different compounds are extracted with different time courses from fruits during microwave hydrodiffusion: Examples and possible causes. *Food Chem*, 154, 179–186. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.004>
- Chemat, F., Zill-e-Huma, & Khan, M.K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrason Sonoch*. 18(4), 813-835. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.11.023>
- Cruz, L.; Clemente, G.; Mulet, A.; Ahmad-Qasem, M.H.; Borrajón-Catalán, E., & García-Pérez, J.V. (2016). Air-born ultrasonic application in the drying of grape skin: kinetic and quality considerations. *J Food Eng*, 168, 251-258. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.08.001>
- De Melo, M.M.R., Barbosa, H.M.A., Passos, C.P., & Silva, C.M. (2014). Supercritical fluid extraction of

- spent coffee grounds: Measurement of extraction curves, characterization and economic analysis. *J Supercritical Fluids*, 86, 150-159. <http://dx.doi.org/10.1016/j.supflu.2013.12.016>
- Dembitsky, V.M., Poovarodom, S., Leontowicz, H., Leontowicz, M., Vearasilp, S., Trakhtenberg, S., & Gorinstein, S. (2011). The multiple nutrition properties of some exotic fruits: Biological activity and active metabolites. *Food Res Int*, 44(7), 1671–1701. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.003>
- Desmesonlouoglou, E., Zachariou, I., Andreou, V., & Taoukis, P.S. (2016). Effect of pulsed electric fields on mass transfer and quality of osmotically dehydrated kiwifruit. *Food Bioprod Process*, 100(Part B), 535-544. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2016.08.009>
- Eberhardt, M.V., Lee, C.Y., & Liu, R.H. (2000). Antioxidant activity of fresh apples. *Nature*, 405, 903-904. <http://dx.doi.org/10.1038/35016151>
- FAOSTAT, (2016). Crops and livestock products. <http://faostat3.fao.org/browse/T/TP/E>
- Fernandes, F.A.N., Gallão, M.I., & Rodrigues, S. (2008a). Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: melon dehydration. *LWT-Food Sci Technol*, 41(4), 604–610. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2007.05.007>
- Fernandes, F.A.N., Oliveira, F.I.P., & Rodrigues, S. (2008b). Use of ultrasound for dehydration of papayas. *Food Biopr Technol*, 1(4), 339-345. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-007-0019-9>
- Fernandes, F.A.N.; Gallão, M.I.; & Rodrigues, S. (2009). Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. *J Food Eng*, 90(2), 186-190. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.021>
- Fernandes, F.A.N., Rodrigues, S., Law, C.L., & Mujumdar, A.S. (2011). Drying of exotic tropical fruits: a comprehensive review. *Food Biopr Technol*, 4(2), 163-185. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-010-0323-7>
- Fernandes, F.A.N., & Rodrigues, S. (2007). Ultrasound as pre-treatment for drying of fruits: Dehydration of banana. *J Food Eng*, 82(2), 261-267. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.02.032>
- FSA. (2010). Eat well: 8 tips for making healthier choices. <http://www.food.gov.uk/multimedia/pdfs/publication/eatwell0708.pdf>
- Galanakis, C.M. (2013). Emerging technologies for the production of nutraceuticals from agricultural by-products: A viewpoint of opportunities and challenges. *Food Bioprod Proc*, 91(4), 575–579. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2013.01.004>
- Gallego-Juárez, J.A. (2010). High-power ultrasonic processing: recent developments and prospective advances. *Phy Proc*, 3(1), 35-47. <http://dx.doi.org/10.1016/j.phpro.2010.01.006>
- Gamboa-Santos, J., Montilla, A., Cárcel, J.A., Villamiel, M., & García-Pérez, J.V. (2014a). Air-borne ultrasound application in the convective drying of strawberry. *J Food Eng*, 128, 132-139. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.12.021>
- Gamboa-Santos, J., Montilla, A., Soria, A.C., Cárcel, J.A., García-Pérez, J.V., Villamiel, M. (2014b). Impact of power ultrasound on chemical and physicochemical quality indicators of strawberries dried by convection. *Food Chem*, 161, 40–46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.106>
- Gamboa-Santos, J., Montilla, A., Soria, A.C., & Villamiel, M. (2012). Effects of conventional and ultrasound blanching on enzyme inactivation and carbohydrate content of carrots. *Eur Food Res Technol*, 234(6), 1071–1079. <http://dx.doi.org/10.1007/s00217-012-1726-7>
- Gamboa-Santos, J., Soria, A.C., Villamiel, M., & Montilla, A. (2013a). Quality parameters in convective dehydrated carrots blanched by ultrasound and conventional treatment. *Food Chem*, 141(1), 616-624. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.03.028>
- Gamboa-Santos, J.; Soria, A.C.; Pérez-Mateos, M.; Carrasco, J.A.; Montilla, A.; & Villamiel, M. (2013b). Vitamin C and sensorial properties of dehydrated carrots blanched conventionally or by ultrasound. *Food Chem*, 136(2), 782-788. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.07.122>
- García-Noguera, J.; Oliveira, F.I.P.; Gallao, M.I.; Weller, C.L.; Rodrigues, S.,... (2010). Ultrasound-assisted osmotic dehydration of strawberries: effect of pretreatment time and ultrasonic frequency. *Dry Technol*, 28 (2), 294-303. <http://dx.doi.org/10.1080/07373930903530402>
- García-Pérez, J.V.; Cárcel, J.A.; Benedito, J., & Mulet, A. (2007). Power ultrasound mass transfer enhancement in food drying. *Food Bioprod Process*, 85(3), 247-254. <http://dx.doi.org/10.1205/fbp07010>
- Ghafoor, K., Choi, Y.H., Jeon, J.Y., & Jo, I.H. (2009). Optimization of ultrasound-assisted extraction of phenolics compounds, antioxidants and anthocyanins

from grape *Vitis Vinifera* seeds. *J Agric Food Chem*, 57(11), 4988-4994. <http://dx.doi.org/10.1021/jf9001439>

Giner-Segui, J., Elez-Martinez, P., & Martin-Belloso, O. (2009). Modeling within the bayesian framework, the inactivation of pectinesterase in gazpacho by pulsed electric fields. *J Food Eng*, 95 (3), 445-452. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.06.006>

González-Centeno, M.R.; Knoerzer, K.; Sabarez, H.; Simal, S.; Roselló, C., & Femenia, A. (2014). Effect of acoustic frequency and power density on the aqueous ultrasonic-assisted extraction of grape pomace *Vitis Vinifera* L.- A response surface approach. *Ultrasonch*, 21(6), 2176-2184. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.01.021>

Heinz, V., Toepfl, S., & Knorr, D. (2003). Impact of temperature on lethality and energy efficiency of Apple juice pasteurization by pulsed electric fields treatment. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 4 (2), 167-175. [http://dx.doi.org/10.1016/S1466-8564\(03\)00017-1](http://dx.doi.org/10.1016/S1466-8564(03)00017-1)

Huang, K., Tian, H., Gai, L., & Wang, J. (2012). A review of kinetic models for inactivating microorganisms and enzymes by pulsed electric field processing. *J Food Eng*, 111(2), 191-207. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.02.007>

Igual, M., Contreras, C., & Martínez-Navarrete, N. (2010). Non-conventional technologies to obtain grapefruit jam. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 11(2), 335-341. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2010.01.009>

Igual, M.; García-Martínez, E.; Camacho, M.M., & Martínez-Navarrete, N. (2013). Jam processing and storage effects on  $\beta$ -carotene and flavonoids content in grapefruit. *J Functional Foods*, 5(2), 736-744. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2013.01.019>

Jabbar, S.; Abid, M.; Hu, B.; Wu, T.; Hashim, M.M.; Lei, S.; Zhu, X., & Zeng, X. (2014). Quality of carrot juice as influenced by blanching and sonication treatments. *LWT - Food Sci Technol*, 55(1), 16-21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2013.09.007>

Jain, T. (2009). Microwave assisted extraction for phytoconstituents-an overview. *Asian J Res Chem*, 2 (1), 19-25.

Jermann, C.; Koutchma, T.; Margas, E.; Leadley, C., & Ros-Polski, V. (2015). Mapping trends in novel and emerging food processing technologies around the world. *Innov Food Sci Emerg Tech* 31, 14-27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2015.06.007>

Keenan, D.F.; Röble, C.; Gormley, R.; Butler, F., & Brunton, N.P. (2012). Effect of high hydrostatic pressure and thermal processing on the nutritional quality and enzyme activity of fruit smoothies. *LWT - Food Sci Technol*, 45(1), 50-57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2011.07.006>

Kek, P.; Chin, N.L., & Yusof, Y.A. (2013). Direct and indirect power ultrasound assisted pre-osmotic treatments in convective drying of guava slices. *Food Biopr Proc*, 91(4), 495-506. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2013.05.003>

Kesbi, O.M.; Sadeghi, M., & Mireei, S.A. (2015). Quality assessment and modeling of microwave-convective drying of lemon slices. *Eng Agric Environm Food*, 9(3), 216-223. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eaef.2015.12.003>

Kowalski, S.J., & Szadzinska, J. (2014). Convective-intermittent drying of cherries preceded by ultrasonic assisted osmotic dehydration. *Chem Eng Process: Process Intensification*, 82, 65-70. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cep.2014.05.006>

Kowalski, S.J.; & Pawlowski, A. (2015). Intensification of apple drying due to ultrasound enhancement. *J Food Eng*, 156, 1-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.01.023>

Lamanauskas, N.; satkauskas, S.; Bobinaitė, R., & Viskelis, P. (2014). Pulsed Electric Field (PEF) impact on *Actinidia Kolomikta* drying efficiency. *J Food Process Eng*, 38(3), 243-249. <http://dx.doi.org/10.1111/jffe.12161>

Landete, J.M. (2012). Updated knowledge about polyphenols: functions, bioavailability, metabolism, and health. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 52(10), 936-948. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2010.513779>

Leonelli, C.; & Mason, T.J. (2010). Microwave and ultrasonic processing: Now a realistic option for industry. *Chem Eng Process: Proc Intensif*, 49 (9), 885-900. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cep.2010.05.006>

Leong, S.Y., & Oey, I. (2014). Effect of pulsed electric field treatment on enzyme kinetics and thermostability of endogenous ascorbic acid oxidase in carrots (*Daucus carota* cv. Nantes). *Food Chem*, 146, 538-547. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.096>

Luque de Castro, M.D., & Delgado-Povedano, M.M. (2014). Ultrasound: a subexploited tool for sample preparation in metabolomics. *Analytica Chimica Acta*, 806, 74-84.



- Maloney, N.; & Harrison, M. (2016). Advanced heating technologies for food processing. In: Leadley, C. (Eds.). *Innovation and future trends in food manufacturing and supply chain technologies*. Woodhead Publishing, England.
- Maresca, P.; Donsi, F., & Ferrari, G. (2011). Application of a multi-pass high-pressure homogenization treatment for the pasteurization of fruit juices. *J Food Eng*, 104, 364-372. <http://dx.doi.org/10.3389/jfmicb.2016.01132>
- Mesas, A.E.; Muñoz-Pareja, M.; López-García, E.; & Rodríguez-Artalejo, F. (2012). Selected eating behaviors and excess body weight, a systematic review. *Obesity Rev*. 13 (2), 106-135. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-789X.2011.00936.x>
- Mínjares-Fuentes, R.; Femenia, A.; Garau, M.C.; Meza-Velázquez, J.A.; Simal, S., & Roselló, C. (2014). Ultrasound-assisted extraction of pectins from grape pomace using citric acid: a response surface methodology approach. *Carbohydrate Polymers*, 106, 179-189. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.02.013>
- Monteiro, R.L., Carciofi, B.A.M., & Laurindo, J.B. (2016). A microwave multi-flash drying process for producing crispy bananas. *J Food Eng*, 178, 1-11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.12.024>
- Morelli, L., & Prado, M.A. (2012). Extraction optimization for antioxidant phenolic compounds in red grape jam using ultrasound with a response surface methodology. *Ultrason Sonoch*, 19(6), 1144-1149. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ulsonch.2012.03.009>
- Mothibe, K.J.; Zhang, M.; Nsor-atindana, J., & Wang, Y.C. (2011). Use of ultrasound pretreatment in drying of fruits: drying rates, quality attributes, and shelf life extension. *Dry Technol*, 29(14), 1611-1621. <http://dx.doi.org/10.1080/07373937.2011.602576>
- Moussa-Ayoub, T.E.; Jaeger, H.; Youssef, K.; Knorr, D.; El-Samahy, S.; Kroh, L.W., & Rohn, S. (2016). Technological characteristics and selected bioactive compounds of *Opuntia dillenii* cactus fruit juice following the impact of pulsed electric field pretreatment. *Food Chem*, 210, 249-261. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.115>
- Nascimento, E.; Mulet, A.; Ramírez-Ascheri, J.L.; Wanderlei Piler de Carvalho, C., & Cárcel, J. (2016). Effect of high-intensity ultrasound on drying kinetics and antioxidant properties of passion fruit peel. *J Food Eng* 170, 108-118. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.09.015>
- Nowacka, M.; Tylewicz, U.; Laghi, L.; Dalla Rosa, M., & Witrowa-Rajchert, D. (2014). Effect of ultrasound treatment on the water state in kiwifruit during osmotic dehydration. *Food Chem*, 144, 18-25. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.129>
- O'Donnell, C.P.; Tiwari, B.K.; Bourke, P.; & Cullen, P.J. (2010). Effect of ultrasonic processing on food enzymes of industrial importance. *Trends Food Sci Technol*, 21(7), 358-367. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2010.04.007>
- Odriozola-Serrano, I.; Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2007). Lycopene, vitamin C, and antioxidant capacity of tomato juice as affected by high-Intensity pulsed electric fields critical parameters. *J Agric Food Chem*, 55 (22), 9036-9042. <http://dx.doi.org/10.1021/jf0709101>
- Odriozola-Serrano, I.; Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2009). Impact of high intensity pulsed electric fields variables on vitamin C, anthocyanins and antioxidant capacity of strawberry juice. *LWT - Food Sci Technol*, 42(1), 93-100. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2008.05.008>
- Ojha, K.S.; Tiwari, B.K., & O'Donnell, C. (2016). Emerging nonthermal food preservation technologies. In: Leadley, C. (Eds.). *Innovation and Future Trends in Food Manufacturing and Supply Chain Technologies*. Woodhead Publishing, England.
- Oliveira, F. I. P.; Gallão, M. I.; Rodrigues, S.; & Fernandes, F.A.N. (2011). Dehydration of Malay apple *Syzygium malaccense* L. using ultrasound as pretreatment. *Food Biopr Technol*, 44(4), 610-615. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-010-0351-3>
- Oms-Oliu, G.; Odriozola-Serrano, I.; Soliva-Fortuny, R.; Elez-Martínez, P.; & Martín-Belloso, O. (2012). Stability of health-related compounds in plant foods through the application of non thermal processes. *Trends Food Sci Technol*, 23(2), 111-123. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2011.10.004>
- Orio, L.; Cravotto, G.; Binello, A.; Pignata, G.; Nicola, S.; & Chemat, F. (2012). Hydrodistillation and in situ microwave-generated hydrodistillation of fresh and dried mint leaves: A comparison study. *J Sci Food Agric*, 92 (15), 3085-3090. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.5730>
- Ortuño, C.; Pérez-Munuera, I., Puig, A.; Riera, E., & García-Pérez, J.V. (2010). Influence of power ultrasound application on mass transport and microstructure of orange peel during hot air drying. *Phys Procedia*, 3(1), 153-159. <http://dx.doi.org/10.1016/j.phpro.2010.01.022>
- Ozuna, C.; Gómez Álvarez-Arenas, T.; Riera, E.; Cárcel, J.A., & García-Pérez, J.V. (2014). Influence of material

- structure on air-borne ultrasonic application in drying. *Ultra Sonochem*, 21(3), 1235-1243. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.12.015>
- Pan, Z.; Qu, W.; Ma, H.; Atungulu, G.G., & McHugh, T.H. (2011). Continuous and pulsed ultrasound-assisted extractions of antioxidants from pomegranate peel. *Ultrason Sonochem*, 18(5), 1249-1257. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2011.01.005>
- Picó. (2013). Ultrasound-assisted extraction for food and environmental samples. *Trends Analyt Chem*, 43, 84-99. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trac.2012.12.005>
- Ramos, B.; Miller, F.A.; Brandao, T.R.S.; Teixeira, P.; & Silva, C.L.M. (2013). Fresh fruits and vegetables- An overview on applied methodologies to improve its quality and safety. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 20, 1-15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2013.07.002>
- REDAGRÍCOLA. (2016). Las frutas exóticas ganan terreno en el mundo. <http://www.redagricola.com/noticias/las-frutas-exoticas-ganan-terreno-en-el-mundo>
- Rodrigues, S.; Oliveira, F.I.P.; Gallão, M.I.; & Fernandes, F.A.N. (2009). Effect of immersion time in osmosis and ultrasound on papaya cell structure during dehydration. *Dry Technol*, 27(2), 220-225. <http://dx.doi.org/10.1080/07373930802605883>
- Rodriguez, O.; Santacatalina, J.V.; Simal, S.; García-Pérez, J.V.; Femenia, A., & Roselló, C. (2014). Influence of power ultrasound application on drying kinetics of apple and its antioxidant and microstructural properties. *J Food Eng*, 129, 21-29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.01.001>
- Sablani, S.S.; Andrews, P.K.; Davies, N.M.; Walters, T.; Saez, H.; & Bastarrachea, L. (2011). Effects of air and freeze drying on phytochemical content of conventional and organic berries. *Dry Technol*, 29(2), 205-216. <http://dx.doi.org/10.1080/07373937.2010.483047>
- Santacatalina, J.V.; Contreras, M.; Simal, S.; Cárcel, J.A., & García-Pérez, J.V. (2016). Impact of applied ultrasonic power on the low temperature drying of apple. *Ultra Sonochem*, 28, 100-108. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.06.027>
- Santacatalina, J.V.; Fissore, D.; Cárcel, J.A.; Mulet, A., & García-Pérez, J.V. (2015). Model-based investigation into atmospheric freeze drying assisted by power ultrasound. *J Food Eng*, 151, 7-15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.11.013>
- Santacatalina, J.V.; Rodríguez, O.; Simal, S.; Cárcel, J.A.; Mulet, A., & García-Pérez, J.V. (2014). Ultrasonically enhanced low-temperature drying of apple: influence on drying kinetics and antioxidant potential. *J Food Eng*, 138, 35-44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.04.003>
- Seixas, F.L.; Fukuda, D.L.; Turbiani, F.R.B.; Garcia, P.S.; de O. Petkowicz, C.L.; Jagadevan, S., & Gimenes, M.L. (2014). Extraction of pectin from passion fruit peel *Passiflora edulis f. flavicarpa* by microwave-induced heating. *Food Hydroc*, 38, 186-192. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.12.001>
- Sharif, K.M., Rahmana, M.M. J., Azmira, A., Mohamed, M.H.A., Sahena, J.F., & Zaidula, I.S.M. (2014). Experimental design of supercritical fluid extraction- A review. *J food Eng*, 124, 105-116. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.10.003>
- Soria, A.C.; Corzo-Martinez, M.; Montilla, A.; Riera, E.; Gamboa-Santos, J., & Villamiel, M. (2010). Chemical and physicochemical quality parameters in carrots dehydrated by power ultrasound. *J Agric Food Chem*, 58(13), 7715-7722. <http://dx.doi.org/10.1021/jf100762e>
- Soria, A.C.; & Villamiel, M. (2010). Effect of ultrasound on the Technological properties and bioactivity in foods: A review. *Trends Food Sci Technol*, 21(7), 323-331. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2010.04.003>
- Szadzinska, J.; Kowalski, S.J., & Stasiak, M. (2016). Microwave and ultrasound enhancement of convective drying of strawberries: Experimental and modeling efficiency. *Int J Heat Mass Transfer*, 103, 1065-1074. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.08.001>
- Terefe, N.S.; Gamage, M.; Vilku, K.; & Simons, L. (2009). The kinetics of inactivation of pectin methylesterase and polygalacturonase in tomato juice by thermosonication. *Food Chem*, 117(1), 20-27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.03.067>
- Tiwari, B.K.; & Mason, T.J. (2012). Ultrasound processing of fluid foods. In: Novel thermal and non-thermal technologies for fluid foods. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-381470-8.00006-2>
- Traffano-Schiffo, M.V.; Tylewica, U.; Castro-Giraldez, M.; Fito, P.J.; Ragni, L., & Dalla Rosa, M. (2016). Effect of pulsed electric fields pre-treatment on mass transport during the osmotic dehydration of organic kiwi fruit. *Innov Food Sci Emerg Tech*, 38(Part A), 243-251. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2016.10.011>
- Turk, M.; Vorobiev, E.; & Baron, A. (2012). Improving apple juice expression by pulsed electric field on an

- industrial scale. *LWT – Food Sci Technol*, 49(2), 245–250. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2012.07.024>
- Vadivambal, R., & Jayas, D.S. (2009). Comparison of ultrasound and microwave-assisted drying of agricultural product – a review. *Stew Postharvest Rev*, 5(5), 1-6. <http://dx.doi.org/10.2212/spr.2009.5.2>
- Vallverdú-Queralt, A.; Odriozola-Serrano, I.; Oms-Oliu, G.; Lamuela-Raventós, R.M.; Elez-Martínez, P., & Martín-Belloso, O. (2013). Impact of high-intensity pulsed electric fields on carotenoids profile of tomato juice made of moderate-intensity pulsed electric field-treated tomatoes. *Food Chem*, 141(3), 3131–3138. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.150>
- Veggi, P.C.; Calvacanti, R.N.; Angela, N., & Meireles, A. (2014). Production of phenolic-rich extracts from Brazilian plants using supercritical and subcritical fluid extraction: Experimental data and economic evaluation. *J Food Eng*, 131, 96-109. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.01.027>
- Wang, X., Chen, Q., & Lü, X. (2014). Pectin extracted from apple pomace and citrus peel by subcritical water. *Food Hydrocol*, 38, 129-137. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.12.003>
- Wiktor, A.; Iwaniuk, M.; Sledz, M.; Nowacka, M.; Chudoba, T., & Witrowa-Rajchert, D. (2013). Drying kinetics of apple tissue treated by pulsed electric field. *Dry Tech*, 31 (1), 112-119. <http://dx.doi.org/10.1080/07373937.2012.724128>
- Wootton-Beard, P.C.; & Ryan, L. (2011). Improving public health?: The role of antioxidant-rich fruit and vegetable beverages. *Food Res Int*, 44(10), 3135-3148. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2011.09.015>
- Zarein, M.; Samadi, S.H., & Ghobadian, B. (2015). Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices. *J Saudi Society Agric Sci*, 14(1), 41-47. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2013.06.002>
- Zhong, Q.; Sandeep, K.P.; & Swartzel, K.R. (2004). Continuous flow radio frequency heating of particulate foods. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 5 (4), 475–483. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2004.07.004>
- Zhu, Y.; & Pan, Z. (2009). Processing and quality characteristics of apple slices under simultaneous infrared dry-blanching and dehydration with continuous heating. *J Food Eng*, 90(4), 441-452. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.07.015>
- Zielinska, M., & Markowski, M. (2016). The influence of microwave-assisted drying techniques on the rehydration behaviour of blueberries (*Vaccinium Corymbosum* L.). *Food Chem*, 196, 1188-1196. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.054>
- Zielinska, M., & Michalska, A. (2016). Microwave-assisted drying of blueberry (*Vaccinium Corymbosum* L.) fruits: drying kinetics, polyphenols, anthocyanins, antioxidant-capacity, color and texture. *Food Chem*, 212, 671-680. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.003>