

PASTEURIZACIÓN MEDIANTE MICROONDAS UNA NOVEDOSA ALTERNATIVA A LOS PROCESOS TRADICIONALES

MICROWAVE PASTEURIZATION A NOVEL ALTERNATIVE TO TRADITIONAL PROCESSES

Miladys Torrenegra-Alarcon¹, Clemente Granados-Conde¹, *Glicerio Leon-Mendez², Yurica Arrieta Pineda², Oscar Villalobos-Lagares¹, Ernesto Castellar-Abello¹

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena. Grupo de investigación Ingeniería, Innovación, Calidad Alimentaria y Salud (INCAS). Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia.

² Facultad de Ciencias de la Salud. Corporación Universitaria Rafael Núñez. Programa de Tecnología en Estética y Cosmetología. GITEC, Cartagena, Colombia.

Correo electrónico: *gleonm1@unicartagena.edu.co - yarrietap16@curnvirtual.edu.co

Recibido: Abril 20 de 2019; Aprobado: Junio 29 de 2019

RESUMEN

La tecnología de microondas es una forma de radiación electromagnética, con longitudes de ondas en el rango de los 300 – 300.000 MHz, ésta ejerce su efecto mediante la inducción de fricción en las moléculas polares de los alimentos, generando así cantidades considerables de calor, requiriendo para ello, tiempos de exposición más cortos en comparación con el calentamiento convencional; en el cual la transferencia de calor se produce a través de un gradiente de temperatura. El proceso de pasteurización mediante microondas mejora significativamente la pasteurización

térmica tradicional, ofreciendo a la industria de la alimentación un medio más eficiente de hacer seguros los alimentos conservando el atractivo para el consumidor.

*Autor a quien debe dirigirse la correspondencia **Glicerio Leon-Mendez**²
E-mail: gleonm1@unicartagena.edu.co

Palabras claves: Alimento, Microondas, Pasteurización, Propiedades.

ABSTRACT

Microwave technology is a form of electromagnetic radiation, with wavelengths in the range of 300 – 300,000 MHz, it exerts its effect by inducing friction in the polar molecules of food, thus generating considerable quantities of heat, requiring shorter exposure times compared to conventional heating; In which heat transfer is produced through a temperature gradient. The microwave pasteurization process significantly improves traditional thermal pasteurization, offering the food industry a more efficient means of making food safe while preserving consumer appeal.

Key words: Food, microwave, pasteurization, properties.

INTRODUCCIÓN

El uso de herramientas para la conservación de los alimentos se remonta a épocas primitivas en la evolución del hombre. Con el paso de los años, el desarrollo de procesos tecnológicos ha facilitado este trabajo, mediante la aplicación de distintas técnicas, que permiten extender la vida útil de los alimentos. El auge de la industria de los alimentos inicio en el siglo XIX y logro su

punto cúspide en el siglo XX, con la automatización en los procesos de elaboración de alimentos, entre los que se destacan principalmente, aquellos relacionados con la transformación, conservación de productos agrarios (Ramírez, 2016; Santamaria, 2010).

La creciente tendencia por productos mínimamente procesados, hacen que el desafío del profesional de los alimentos se

vea dirigido a la comprensión y utilización de tecnologías discontinuas derivadas de innovaciones radicales, así como tecnologías más evolucionadas formadas a partir de la convergencia de ramas de investigación antes separadas con el fin de obtener alimentos que conserven en gran medida sus características nutricionales y organolépticas y al mismo tiempo desarrollar técnicas de conservación más eficientes, con el objetivo de alargar la vida útil de los alimentos de consumo diario (Herrero & Romero, 2006; Colette *et al.*, 2015; Garcia *et al.*, 2016; Seijas y Pabón, 2017).

Las técnicas más destacadas dentro de este campo son aquellas que han conseguido reducir la proliferación de microorganismos sin un incremento abrupto de la temperatura en el alimento. De esta manera, estos procesos no térmicos, no afectan las propiedades del alimento o lo hacen mínimamente, manteniendo durante todo el proceso la temperatura por debajo de la que normalmente se utilizaría en el proceso convencional (Garcia, 2007; Barbosa y Bermudez, 2010; Villamizar, R., 2015; Martínez, *et al.*, 2015).

Entre los procedimientos que más sobresalen, se encuentran las altas presiones, ultrasonidos, irradiación, pulsos de campos eléctricos, campos magnéticos oscilantes, luz blanca de alta intensidad y

calentamiento por microondas (Barbosa & Bermudez, 2010; Campo y Gelvez, 2013; Romero y Gelvez, 2013). Por lo tanto, este artículo de revisión se enfocó en resaltar pasteurización mediante microondas como una novedosa alternativa a los procesos tradicionales.

Tratamiento térmico convencional (Pasteurización)

La pasteurización ha sido el tratamiento térmico más usado para la conservación de alimentos en el siglo XX (Reyes *et al.*, 2010). Es ampliamente utilizado en productos líquidos, los cuales son un buen sustrato para el desarrollo microbiano, como la leche, llevándose a cabo entre los 60 y 90 °C, siendo el calor el responsable de la inactivación microbiana y la reducción de la actividad enzimática. Sin embargo, puede ocasionar cambios nutricionales, sensoriales y su calidad final, los que dependerán de la temperatura y el tiempo del tratamiento (Lang *et al.*, 2010).

Las primeras investigaciones sobre la pasteurización se realizaron en 1765 por Lazzaro Spallanzani quien utilizó un tratamiento térmico para retrasar el deterioro y conservar el extracto de carne. De 1862 a 1864, Louis Pasteur demostró que el uso de temperaturas entre 50 °C – 60 °C por un corto tiempo, eliminaban los microorganismos causantes de deterioro en

el vino. Así, cuando los productores de leche adoptaron este proceso, fueron capaces de eliminar la mayor parte de las enfermedades transmitidas por los alimentos (Silva y Gibbs, 2013).

Principios físicos del tratamiento térmico convencional (Pasteurización)

Los mecanismos de transferencia de calor están relacionados con el intercambio de calor entre cuerpos calientes y fríos, los cuales son llamados fuente y receptor.

Existen tres diferentes mecanismos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación. Los tratamientos térmicos convencionales generalmente involucran uno o dos de estos mecanismos (Pérez y Sosa, 2013).

Convección: El calor se transfiere al sólido que se está secando mediante una corriente de aire caliente (u otro fluido) que además de transmitir el calor necesario para la evaporación del agua es también el agente transportador del vapor de agua que se elimina del sólido (Fito *et al.*, 2001; Espinoza-Saavedra *et al.*, 2011) (Figura 1a).

Conducción: El calor de evaporación se proporciona a través de superficies calentadas (en reposo o en movimiento) colocadas directamente con el material a secar. El calentamiento de estas superficies se realiza normalmente mediante vapor. El

agua evaporada se elimina mediante una operación de vacío o a través de una corriente de gas cuya función principal es la de eliminar agua (Fito *et al.*, 2001; Espinoza-Saavedra *et al.*, 2011) (Figura 1b).

Radiación: Es la denominación que se da a la transmisión de la energía a través del espacio por medio de ondas electromagnéticas. Se basa en la transferencia de energía radiante para evaporar la humedad del producto. La energía es absorbida selectivamente por las moléculas de agua, por ende, mientras el producto se seca, se requiere menos energía. Incluye varias fuentes de radiación electromagnética con longitudes de onda desde el espectro solar hasta microondas (0,2 m –0,2 mm). Dentro de esta categoría se incluye el infrarrojo (Mujumdar, 2006; Espinoza-Saavedra *et al.*, 2011) (Figura 1c)

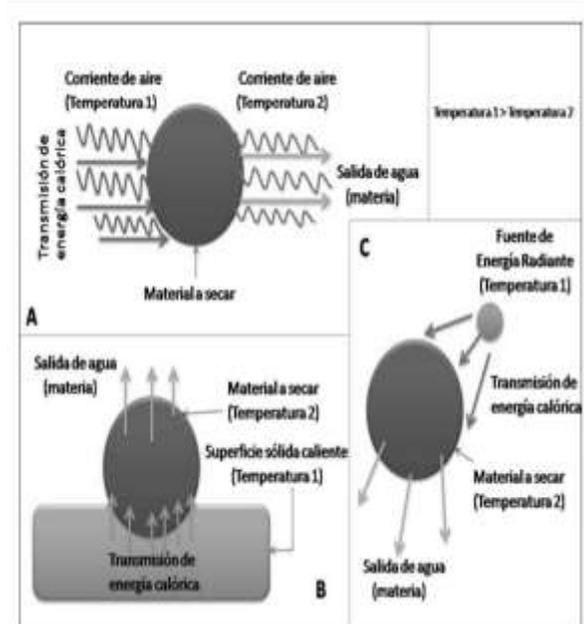


Figura 1. Representación conceptual de los mecanismos de transferencia de calor: A. Convección; B. Conducción; C. Radiación (Espinoza-Saavedra *et al.*, 2011).

La transferencia de calor en líquidos usualmente se realiza por medio de la convección natural, la cual consiste en el contacto de un fluido con una superficie que posee una temperatura diferente, así, las cargas energéticas moleculares del fluido van a variar en función de la temperatura y los elementos interactuantes del sistema, donde el que tiene mayor energía o temperatura se la cederá al que tiene menos temperatura, de esta forma las moléculas con menor densidad tenderán a subir y las de mayor densidad bajarán de nivel, hasta que los dos cuerpos lleguen a un equilibrio térmico. No obstante, la transferencia de calor por conducción se produce al mismo tiempo, sin embargo, es intrascendente en comparación con la transferencia de calor por convección, para este proceso (Pérez y Sosa, 2013).

La tasa de transferencia de calor está determinada por la ley de enfriamiento de Newton (Ec. 1), que representa el efecto global de la convección.

$$q = hA(T_p - T_\infty) \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

q es la tasa de transferencia de calor, $(T_p - T_\infty)$ es el gradiente de temperatura, en donde T_p es la temperatura del medio que transfiere calor y T_∞ la temperatura del alimento líquido, A es el área de transferencia de calor y h es el coeficiente de transferencia de calor, el cual depende de las propiedades del fluido (densidad, viscosidad, expansión térmica) y las propiedades del proceso, como presión, velocidad y características del flujo (Pérez y Sosa, 2013).

Tratamiento térmico por microondas

El uso de las microondas para el calentamiento de los alimentos fue desarrollado originalmente por Percy Spencer de la corporación Raytheon, poco después de la II Guerra mundial. El primer horno utilizado para el calentamiento de los alimentos, fue el Radarange™, el cual estuvo disponible en 1947. Tappan, en 1955, introdujo el primer horno para uso doméstico, bajo licencia de Raytheon. No obstante, el calentamiento industrial por microondas tuvo su origen cuando se le otorgó la primera patente para un microondas transportable a Percy Spencer en 1952. Sin embargo, el primer adelanto importante fue el desarrollo de grandes aperturas de cavidad y sistemas de reducción realizado por Cryodry en 1962 (Reyes *et al.*, 2010).

La técnica por microondas, se emplea como un tratamiento térmico diferente al convencional. Las microondas son ondas cortas de alta frecuencia en forma de energía electromagnética situadas en el rango de frecuencias (300 – 300.000 MHz). Esta energía proviene de un magnetrón, que es un tubo electrónico al vacío que produce un campo eléctrico alternante dentro de la cavidad del horno o túnel de microondas. Este campo eléctrico de microondas convierte estas ondas de alta frecuencia en calor, mediante la interacción con partículas cargadas o moléculas polares (Aradilla *et al.*, 2009).

Las ondas de alta frecuencia tienen la capacidad de hacer vibrar las moléculas de los cuerpos por los cuales atraviesa, calentándolos de adentro hacia afuera, produciendo un calentamiento más uniforme a diferencia del calentamiento convencional en el que se aplica calor de afuera hacia adentro, viéndose afectado este incremento por el calor suministrado y por las propiedades físicas y térmicas de la muestra. Un alimento que posea un bajo valor de conductividad térmica puede calentarse rápidamente utilizando microondas, debido a que el calor es producido dentro del alimento por la vibración de las moléculas de agua mediante la absorción de energía. Las moléculas de agua actúan como barras

magnéticas tratando de orientarse o polarizarse ellas mismas bajo la acción del campo electromagnético (Haghi y Amanifard, 2008; Aradilla *et al.*, 2009).

Este movimiento entre las moléculas causa una fricción interna, la que a su vez da lugar a unas condiciones hipertérmicas que afectan a las moléculas ionizables o polares (sales minerales y agua) (Velasquez & Sanchez, 2008).

Generalidades del calentamiento dieléctrico

Los alimentos que poseen un bajo valor de conductividad térmica pueden calentarse rápidamente utilizando un microondas, debido a que el calor es producido dentro de ellos por la vibración de sus moléculas polares, mediante la absorción de energía (Haghi & Amanifard, 2008; Aradilla *et al.*, 2009).

El agua, grasas y otras sustancias presentes en los alimentos absorben la energía de las microondas en un proceso llamado calentamiento dieléctrico. Muchas moléculas (como las de agua) son dipolos eléctricos, lo que significa que tienen una carga positiva parcial en un extremo y una carga negativa parcial en el otro (Soto *et al.*, 2012).

Estas moléculas responden a las microondas, mediante la polarización de la

rotación dipolo, en la que la carga positiva de la molécula se mueve hacia la región negativa del campo magnético y viceversa. Actuando como barras magnéticas tratando de orientarse o polarizarse ellas mismas bajo la acción del campo electromagnético. El cambio continuo de polaridad en el campo eléctrico conduce a la oscilación de los dipolos de la molécula hacia adelante y hacia atrás, dentro del alimento, lo que produce fricción entre las moléculas vecinas y por consiguiente genera calor dentro del producto (Soto *et al.*, 2012).

Antecedentes científicos

Reyes *et al.*, (2010), investigaron los principios de los tratamientos térmicos y de microondas, el estado actual del uso de la tecnología de microondas en los alimentos fluidos y los efectos que esta manera de calentamiento puede tener sobre microorganismos o enzimas de interés, como también en algunos constituyentes importantes de los alimentos. Encontrando que el uso de microondas es una tecnología con alto potencial para ser aplicada a nivel industrial, algunos ejemplos de su aplicación para la pasteurización de alimentos incluyen leche, jugos, agua de coco y purés, sin efectos negativos en la calidad de los alimentos pasteurizados. Además, que el uso de microondas se ha desarrollado a escala piloto y a nivel comercial, sin embargo, hay q considerar la

composición de los materiales para el correcto diseño o selección del tipo de equipo.

Velasquez y Sanchez (2008), determinaron la eficiencia del sistema del procesamiento por microondas para inactivar la carga microbiana presente en el jugo de mango preparado a partir de fruta fresca, verificando el efecto sobre el pH y los °Brix fijados desde el comienzo. Todo esto con miras a generar información basada en esta realidad para el diseño de procesos, en los que se utilice las microondas para la conservación de jugos de mango. Concluyendo, que la energía electromagnética funciona favorablemente en el proceso de destrucción del hongo *Aspergillus sp.* La temperatura que se alcanzó con el proceso fue de 52 °C, lo cual fue significativamente menor a la temperatura del tratamiento convencional lo que se ve reflejado en un menor detrimento de las propiedades como pH y °Brix.

Perez y Sosa (2013), explicaron el mecanismo de acción y el principio tecnológico que emplea el tratamiento por microondas. En el cual la temperatura final que se alcanza en el alimento se debe a la absorción de energía electromagnética desde el campo de microondas y a la transferencia de calor por conducción y convección. Siendo el grado de efectividad de este, dependiente de las condiciones de

proceso y del alimento. Concluyendo que las nuevas tecnologías buscan lograr una mayor eficiencia y rapidez en la transferencia de calor en los alimentos y de este modo conservar en mayor grado sus propiedades.

Cano, (2008), mostró el estado actual del uso de la tecnología de microondas en alimentos, los principios fisicoquímicos del proceso, las principales aplicaciones y sus ventajas respecto al calentamiento convencional. Encontrando que la tecnología de microondas está siendo ampliamente utilizada en una gran variedad de operaciones a nivel doméstico e industrial. Algunos ejemplos de su aplicación son el secado, pasteurización, esterilización, freído, entre otras; habiendo ventajas y desventajas en cada tipo de proceso. Pero, sin embargo, en operaciones industriales que implican solo un aumento de temperatura y remoción de humedad, la tecnología de microondas ha encontrado importantes aplicaciones y se prevé que seguirá mejorando a fin de lograr un valor agregado en los procesos. Percibiendo que, dadas las necesidades de fuentes de energía alternas, y siempre y cuando se logren minimizar las deficiencias actuales, la tecnología de microondas puede tener grandes aportes al desarrollo económico y brindar ventajas gracias a su carácter amigable con el medio ambiente.

Stratakos *et al.*, (2015), validaron y compararon el uso de un sistema continuo de calentamiento volumétrico por microondas en un jugo de tomate con el tratamiento térmico convencional, evaluando características operacionales, fisicoquímicas, microbiológicas, nutritivas y organolépticas tanto in situ como durante el almacenamiento. Encontrando que el jugo de tomate pasteurizado por microondas tenía propiedades fisicoquímicas y microbiológicas muy similares a las del jugo pasteurizado por el método convencional. La capacidad antioxidante del jugo inmediatamente después del tratamiento fue mayor para el jugo pasteurizado por microondas en comparación con el convencional. Sin embargo, durante el almacenamiento era muy similar. Concluyendo que el procesamiento por microondas parece ser una alternativa viable para la pasteurización de zumo de tomate ya que se pueden obtener mejores propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y una mayor capacidad antioxidante, en un tiempo de procesamiento más corto.

Thostenson y Chou (1999), Chandrasekaran *et al.*, (2013) y Reyes *et al.*, (2010), explican, que la ventaja del tratamiento por microondas radica en el principio térmico de este. En el procesamiento térmico convencional, la energía se transfiere al material a través de

la convección, conducción y radiación del calor desde las superficies del material a través de un gradiente térmico. Por el contrario, la energía de microondas se entrega directamente a los materiales a través de la interacción molecular con el campo electromagnético mediante la conversión de energía electromagnética en energía térmica. Logrando tiempos de calentamiento más cortos y uniformes, gracias a que la difusión de energía no se realiza a través de superficies. Además, en el calentamiento volumétrico, la transferencia de energía a un nivel molecular puede tener algunas ventajas adicionales, como lo es el calentamiento selectivo de materiales, gracias a que la

transferencia de energía por microondas se ve afectada por la estructura molecular de los materiales y sus propiedades dieléctricas.

Zhang y Zhang (2014), ha demostrado que las microondas tienen un efecto mínimo en el detrimento de la capacidad antioxidante de un jugo de manzana. Encontrando que las muestras tratadas por microondas a una potencia de 900W y entre 72 y 100 segundos, tuvieron un aumento de la capacidad antioxidante, en comparación con las muestras control. No obstante, el resultado no fue el mismo para tiempos mayores a 125 segundos, así como también para potencias de 270W y 420W u inferiores.

CONCLUSIÓN

La pasteurización mediante microondas se ha transformado en un tratamiento térmico intenso y corto, que mejora la calidad de los alimentos. Los resultados han demostrado que este tratamiento térmico, más rápido que el utilizado hasta ahora por la

agroindustria pasteurización convencional, mejora la calidad del producto ya que mantiene en mayor medida sus propiedades nutricionales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las Corporación Universitaria Rafael Núñez, Universidad de

Cartagena por facilitar espacio, recursos y tiempo de los investigadores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aradilla-Zapata D., Oliver-Pujol R., & Estrany-Coda F. (2009). La química de la radiación por microondas. *Técnica Industrial*, 1-7.
- Barbosa-Canovas G., & Bermudez-Aguirre D. (2010). Procesamiento no térmico de alimentos. *Scientia Agropecuaria*, 81 - 93. Recuperado de <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/3365/gvbc.pdf;jsessionid=A661946874B7CE4799F3CCF14E9CD418?sequence=1>.
- Campo V. Yesenia y Gélvez O. Víctor M. (2013). Efecto de la termosonicación sobre las propiedades fisicoquímicas del hongo comestible (*Pleurotus ostreatus*) fresco empacado al vacío. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*. ISSN 0120-4211. Volumen 9 N° 2. Pp: 55 – 63.
- Cano M. A. (2008). Uso de microondas para el calentamiento de alimentos. *Temas selectos de ingeniería de alimentos*, 4(2): 58-65.
- Chandrasekaran S., Ramanathan S., & Basak T. (2013). Microwave Food Processing - A review. *Food Research International*, 52 (1): 243- 261.
- Colette J., Koutchma T., Margas E., Leadley C., & Ros V. (2015). Mapping trends in novel and emerging food processing technologies around the world. *Innovate Food Science & Emerging Technologies*. 31: 14-27
- Espinoza-Saavedra JL, Puente-Díaz L, Castro-Montero E. (2011). Aplicación de un proceso de secado asistido infrarrojo para la deshidratación del fruto de murtila (*Ugni molinae Turcz.*). Universidad de Chile. Santiago, Chile. Recuperado de http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2011/qf-espinoza_jl/pdfAmont/qf-espinoza_jl.pdf
- Fito P., Andrés A., Barat J., Albors A. (2001). Introducción al secado de alimentos por aire caliente. Valencia, editorial U.P.V. 210 p.
- García B., Yulieth P., Caballero P. Luz A. y Maldonado O. Yohanna. (2016). Evaluación del color en el tostado de Haba (*Vicia faba*). *Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*. ISSN 1692-7125. Volumen 14, N° 2, p. 53 -66.
- García-Casal M. (2007). La alimentación del futuro: Nuevas tecnologías y su importancia en la nutrición de la población. *Anales Venezolanos de Nutrición*, 20 (2): 108-114.

- Haghi A., & Amanifard N. (2008). Analysis of heat mass transfer during microwave dryng of food products. *Journal of Chemical Engineering*, 25(3): 491- 501.
- Herrero A., & Romero-de Ávila M. (2006). Innovaciones en el proceso de alimentos: Tecnologías no térmicas. *Revista de medicina*, 50(4): 71-74
- Lang X., Wang J., Bu D., Shen J., Zheng N., & Sun P. (2010). Effects of heating temperatures and addition of reconstituted milk on the heat indicators in milk. *Journal of Food Scence*, 75(8):653-658.
- Martínez P., Cesar, Verhelst S., Adriana L. (2015). Calidad microbiológica de carne bovina en plantas de beneficio. *Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*. ISSN 1692-7125. Volumen 13 N° 1. Pp: 72 – 80.
- Pérez RM., & Sosa MM. (2013). Mecanismos de transferencia de calor que ocurren en tratamientos de alimentos. *Temas selectos de ingeniería de alimentos*, 7(1): 37-47.
- Reyes GV., López MA., & Sosa ME. (2010). Efectos del calentamiento con microondas en alimentos fluidos. *Temas selectos de ingenieria de alimentos*, 4(2): 38-47.
- Romero B., Pedro E, Gélvez Ordóñez Víctor M. (2013). *Efecto de los campos magnéticos y el ultrasonido sobre la calidad microbiológica y las propiedades funcionales en una emulsión de carne de bufalo (bubalus bubalis)*. BISTUA: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas. ISSN 0120-4211. Volumen 11 N° 1. Pp: 67 – 76.
- Santamaría M. (2010). *Industria alimentaria. Tecnologías emergentes*, 1^{era} Ed. Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Seijas Ch., Héctor y Pabón M., Carolina. (2017). Coeficiente de difusión y pérdida de humedad durante el proceso de pre-fritura de la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*). *Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*. ISSN:1692-7125. Volumen 15 N°1. Pp. 17 – 27.
- Silva F., & Gibbs P. (2013). *Engineering Aspects of Thermal Food Processing*, Edition: Contemporary Food Engineering Series. CRC Press, Taylor and Francis Group, EE.UU.
- Soto-Reyes N., Rojas-Laguna R., & Sosa-Morales M. (2012). Modelación del calentamiento dieléctrico (microondas y radiofrecuencia) en sistemas alimenticios modelo. *Temas selectos de ingeniería alimentos*, 6(2): 19 - 31.
- Stratakos A., Delgado G., Linton M., Patterson M., & Koidis A. (2015). *Industrial*

scale microwave processing of tomato juice using a novel continuous microwave system. *Food Chemistry*, 1;190: 622-628.

Thostenson E., & Chou T. (1999). Microwave processing: Fundamentals and applications. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 30 (9): 1055 - 1071.

Velásquez-Valderrama A., y Sánchez-Arenas, R. (2008). Utilización de microondas en el tratamiento de jugo de mango. *Lasallista de Investigación*, 5(2): 13-19

Villamizar, R., Parra, M. L. M. (2015). Uso de Nanopartículas de plata en el control de microorganismos patógenos presentes en alimentos. *Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*. ISSN 1692-7125. Volumen 13 N° 1. Pp: 54 – 59.

Zhang S., & Zhang R. (2014). Effects of microwave pretreatment of apple raw material on the nutrients and antioxidant activities of apple juice. *Journal of food processing*. 1:9.