



Mecanismos de transferencia de calor que ocurren en tratamientos térmicos de alimentos

M.E. Pérez - Reyes* y M. E. Sosa - Morales

*Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla.
Ex hacienda Sta. Catarina Mártir S/N, San Andrés Cholula, Puebla. C.P.72810, México.*

Resumen

Con frecuencia, durante el procesamiento, los alimentos se someten a diferentes tratamientos térmicos, con la finalidad de extender su vida de anaquel. En esta revisión se presentan los principales mecanismos de transferencia de calor involucrados en los diferentes tratamientos térmicos en alimentos, aplicados tradicionalmente en la industria, así como en las nuevas tecnologías que se están investigando. El objetivo de la revisión es dar a conocer los mecanismos de transferencia de calor que ocurren en cada uno de estos tratamientos, los principios que los rigen y algunas limitaciones.

Palabras claves: tratamiento térmico, mecanismos de transferencia de calor, microondas, radiofrecuencia, esterilización, cocción, freído, horneado.

Abstract

Often during processing foods are subjected to different heat treatments in order to extend their shelf life. In this review we present the main heat transfer mechanisms involved in the different heat treatments in food, traditionally applied in the industry, as well as new technologies that are being investigated. The aim of the review is to present the heat transfer mechanisms occurring in each of these treatments, the principles that govern and some limitations.

Keywords: thermal treatment, heat transfer mechanisms, microwave, radiofrequency, sterilization, cooking, frying, baking.

Introducción

El proceso mediante el cual se transmite energía de un medio o material a otro de menor temperatura se conoce con el nombre de transferencia de calor. La transferencia de calor ocurre en los tratamientos térmicos a los que se someten los alimentos, con los objetivos de aumentar su estabilidad,

cocinarlos o calentarlos para su consumo.

Existen tres diferentes mecanismos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación. Estos mecanismos de transferencia se pueden observar en los tratamientos térmicos de alimentos. Los tratamientos térmicos tradicionales generalmente involucran mecanismos de conducción y convección, mientras que han surgido nuevas tecnologías que utilizan la

*Programa de Maestría en Ciencia de Alimentos
Tel.: +52 222 229 2126, fax: +52 222 229 2727
Dirección electrónica: marco.perezrs@udlap.mx

radiación principalmente como mecanismo de transferencia de calor.

La conducción ocurre cuando existe un gradiente de temperatura en un cuerpo, ya que se presenta una transferencia de energía de la región de alta temperatura a la de baja temperatura, por ejemplo cuando se coloca una pieza de carne sobre una plancha caliente para cocinar. La convección es la transferencia de calor entre partes relativamente frías y calientes de un fluido por mezclado, por ejemplo, cuando se hierve agua. Por otro lado, la radiación es el mecanismo que implica la transferencia de energía radiante de una fuente a un receptor. Cuando esto sucede parte de la energía es absorbida por el receptor, lo que genera un aumento de temperatura en el mismo, como cuando se expone un material al sol o cuando un alimento se calienta en horno de microondas.

El objetivo de esta revisión es analizar los mecanismos involucrados en la transferencia de calor durante algunos tratamientos térmicos tradicionales y aquéllos que ocurren cuando se

usan nuevas tecnologías. Los tratamientos discutidos son los que se aplican a alimentos que deben calentarse, la parte de ingeniería del frío no será abordada en este trabajo.

Revisión bibliográfica

1. Mecanismos de transferencia de calor involucrados en tratamientos térmicos tradicionales

La transferencia de calor está relacionada con el intercambio de calor entre cuerpos calientes y fríos los cuales son llamados fuente y receptor. Existen tres maneras diferentes en que el calor pasa de la fuente al receptor. Muchas de las aplicaciones en los tratamientos térmicos convencionales son combinaciones de ellas, conducción, convección y radiación (Kern, 1999). En la Fig. 1 se muestran los esquemas que ejemplifican la transferencia de calor bajo los diferentes mecanismos.

A continuación se presentan algunos tratamientos térmicos tradicionales que involucran estos mecanismos.

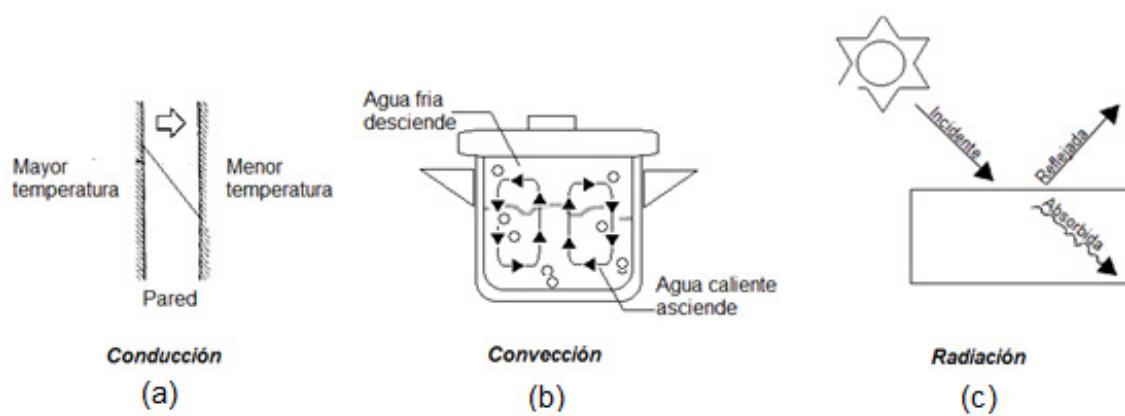


Fig. 1. Esquemas de transferencia de calor: a) conducción, b) convección y c) radiación. (Adaptada de Kern, 1999).

1.1 Pasteurización

La pasteurización ha sido el tratamiento térmico más extensamente usado para la conservación de alimentos en el siglo XX (Moraga *et al.*, 2011). Es ampliamente utilizado en alimentos líquidos que son un buen sustrato para el desarrollo microbiano, como la leche, sin embargo puede ocasionar cambios nutricionales ó sensoriales, los cuales dependerán de la temperatura y el tiempo del tratamiento (Lang *et al.*, 2010).

Existen varios métodos para pasteurización de alimentos líquidos. En el caso particular de la leche, se pueden mencionar tres, el primero es conocido como método de baja temperatura y largo tiempo, LT LT (por sus siglas en inglés), que consiste en aplicar temperaturas de 63-66°C durante 30 min. El segundo usa temperaturas de 71 a 75°C durante 15s y es conocido como el método de altas temperaturas en un corto tiempo, HTST (por sus siglas en inglés). En ambos casos el producto requiere refrigeración posterior al tratamiento para lograr una vida de anaquel de alrededor un par de semanas. El tercer método consiste en aplicar temperaturas de 135 a 140°C durante 2-10 s, por sus características es nombrado como ultrapasteurización, UHT (por sus siglas en inglés). Aunque en su nombre aparece la palabra pasteurización en realidad es un proceso más severo. Los alimentos ultrapasteurizados (UHT) se envasan asépticamente, no requieren refrigeración para su almacenamiento y su vida de anaquel es de 3 a 4 meses (Badui, 1993).

Los equipos con los que se efectúa generalmente la pasteurización de alimentos son los llamados intercambiadores de calor, aunque también se puede pasteurizar alimentos dentro de su envase y no usar intercambiadores. El intercambiador de placas, PHE (por sus siglas en inglés), es utilizado para el método HTST, consiste en un paquete

de placas de acero inoxidable sujetas en un marco. Las placas están corrugadas en un patrón diseñado para aumentar la turbulencia del flujo del medio y del producto (Riverol y Napolitano, 2005). Es muy utilizado en las industrias de alimentos, debido a su tamaño compacto y facilidad para el desmontaje y limpieza (Gut y Pinto, 2003).

Usualmente la transferencia de calor en los líquidos es por convección, especialmente cuando éstos tienen una viscosidad baja. La convección natural, inducida por los efectos de empuje térmico en un campo de fuerza gravitacional, se observa en el tratamiento de pasteurización LT LT. 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 (Erdogdu *et al.*, 2010).

Durante la pasteurización por HTST, el alimento circula en un tubo o se desliza en una placa que se encuentra a una temperatura elevada. Esta placa o tubo será el medio que le transfiere calor al alimento y por lo tanto energía térmica (fase de calentamiento). Así, éste se calienta mediante un mecanismo de transferencia de calor por convección (Duarte y Cristianini, 2011).

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

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

donde q es la tasa de transferencia de calor, $(T_p - T_\infty)$ es el gradiente de temperatura, 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 (Duarte y Cristianini, 2011).

1.2 Esterilización comercial

En los últimos años, los alimentos enlatados han sido considerados como el medio más efectivo de conservación, incluso con los avances recientes en otras técnicas (Duarte *et al.*, 2009). La esterilización comercial es el proceso que ha llevado a generar este tipo de productos estables sin refrigeración, con una vida de anaquel incluso de varios años. Durante el proceso, los alimentos son elevados a una temperatura específica, la cual es mantenida por un tiempo predeterminado y luego enfriados, en un recipiente herméticamente sellado. Estos efectos térmicos aseguran la inactivación enzimática y microbiana, generando un producto estable. Sin embargo éstos mismos causan la pérdida de propiedades sensoriales y nutricionales (Duarte y Cristiniani, 2011).

Los mecanismos de transferencia de calor durante el tratamiento térmico de un alimento enlatado son de conducción para los sólidos, convección para alimentos líquidos, convección y conducción para alimentos líquidos que contienen partículas y convección seguida de conducción para alimentos líquidos que contienen almidón o exhiben alta viscosidad (Erdogdu *et al.*, 2010). La transferencia de calor en la esterilización de alimentos sólidos es descrita por la ecuación de Fourier (Ec. 2), con condiciones de frontera descritas por su relación con el coeficiente de transferencia de calor h en la superficie del envase (Ec. 3) (Santana *et al.*, 2011).

$$k * \nabla^2 T = \rho * C_p * \frac{\partial T}{\partial t} \quad (\text{Ec. 2})$$

$$k * \frac{\partial T}{\partial n} = h * (T_{\infty} - T_{\text{Superficie}}) \quad (\text{Ec. 3})$$

donde k es la conductividad térmica, ρ es la densidad, C_p es el calor específico, n es el número de moles, T es la temperatura y t es el tiempo de calentamiento .

En alimentos como atún enlatado, jarabes espesos, purés y concentrados, se debe suponer que la transferencia de calor es por conducción para este tipo de tratamiento (Erdogdu *et al.*, 2010). La cantidad de flujo de calor por convección dQ , es dada por (Ec.4)

$$dQ = kA \left(-\frac{dt}{dx} \right) \quad (\text{Ec.4})$$

donde el término $-dt/dx$ se llama gradiente de temperatura, tiene un signo negativo debido a que la temperatura mayor durante este proceso se encuentra en la cara exterior del alimento enlatado y menor en el interior de este. Por lo tanto la cantidad instantánea de transferencia de calor es proporcional al área A y a la diferencia de temperatura dt que impulsa el calor a través del espesor del alimento dx (Kern, 1999).

1.3 Cocción por medio acuoso y asado

La cocción de los alimentos conduce a la mejora de las cualidades microbiológicas y organolépticas, destruye las toxinas y los factores antinutricionales, y aumenta la digestibilidad y la biodisponibilidad de los nutrientes (Gouado *et al.*, 2011).

La transferencia de calor en la cocción por medio acuoso es por convección. A pesar de usar temperaturas relativamente bajas, es un método bastante rápido debido a la densidad del agua y la temperatura de condensación (McGee *et al.*, 1999). Sin embargo si se encuentran partículas sólidas en el medio acuoso la transferencia de calor en estas es por conducción.

La transferencia de calor en la cocción por asado ocurre por conducción. Se observa

cuando un alimento es colocado en la parrilla a una temperatura aproximada de 160°C, el calor es transmitido de la superficie de la parrilla al alimento. En ese momento inicia el proceso de cocción, cuando el calor empieza a penetrar el alimento. Posteriormente, la temperatura del alimento excederá los 100°C, el agua se evapora y dependiendo del alimento ocurren reacciones que provocan diferentes tipos de oscurecimiento (Zorrilla y Singh, 2000).

Una vez que el calor ha sido transferido del medio de cocción a la superficie del alimento, éste debe seguir penetrando a través del alimento hasta llegar al centro. La medida de una cocción eficiente depende del grado de penetración del calor al centro del alimento (McGee *et al.*, 1999).

Sin embargo, una cocción excesiva ocasiona la pérdida de algunos micronutrientes importantes (Gouado *et al.*, 2011).

1.4. Freído

El freído es un tratamiento térmico tradicional para la preparación de alimentos en todo el mundo, debido a la comodidad y rapidez en la preparación de alimentos semielaborados para cocinar en casa (Debnath *et al.*, 2012), esto se debe a la velocidad del proceso, como también, a los sabores, aromas y texturas que se producen en el alimento (Sunisa *et al.*, 2011). De igual forma, ha influido en la popularidad del proceso, la gran disponibilidad de freidoras eléctricas compactas y cerradas (Debnath *et al.*, 2012).

La calidad de los productos obtenidos depende de las condiciones en que se realice el freído, el tipo de aceite y alimento durante el proceso (Alvis *et al.*, 2009). El aceite juega un rol doble en la elaboración de productos fritos ya que sirve como un medio para la transferencia de calor y también contribuye a

la textura y el sabor del alimento (Debnath *et al.*, 2012).

Al ser sumergido el alimento en aceite caliente, su temperatura aumenta rápidamente, el agua que contiene se evapora, por lo que la superficie de éste empieza a deshidratarse, se forma una corteza, la evaporación empieza a trasladarse al interior del producto. La temperatura de la superficie del alimento alcanza la del aceite y la interna aumenta hasta llegar a los 100°C. La velocidad de transferencia de calor al alimento depende de la diferencia de temperaturas entre éste y el aceite, así como también del coeficiente de transferencia de calor por convección. Por lo tanto, la transferencia de calor en este tratamiento es por convección en la superficie del alimento y por conducción en el interior del mismo (Alvis *et al.*, 2009).

La velocidad de transferencia de calor por convección depende de la oportunidad de formación de corrientes en el líquido y de la velocidad del flujo en dichas corrientes. El rango de operación de alta temperatura para que el alimento experimente las debidas transformaciones químicas y físicas es de 140-180°C (Ziaifar *et al.*, 2008).

El freído es una operación unitaria interesante que se ha estudiado ampliamente, desde el punto de vista de transferencia de masa (pérdida de humedad y ganancia de aceite), así como de transferencia de energía, ya que estos factores afectan la velocidad de transferencia de calor. En la Tabla I se muestran algunos coeficientes convectivos de transferencia de calor para el freído de diversos alimentos.

1.5. Horneado

El horneado es un proceso de transferencia de calor y de masa simultáneo. Durante la cocción, el calor se transfiere principalmente

Tabla I. Coeficientes convectivos de transferencia de calor (h) reportados para algunos procesos de freído.

Alimento	Temperatura de freído (°C)	Medio de freído	h (W/m ² °C)	Referencia
Ñame	140-180	Aceite de soya	148-204	Alvis <i>et al.</i> (2009)
Papas	120	Aceite de girasol	250	Yamsaengsung <i>et al.</i>
Carne de cerdo	90 - 110	Aceite de girasol ó manteca de cerdo	174-226	Sosa-Morales <i>et al.</i> (2006)
Placas de pollo	130 - 150	Aceite de girasol	207-331	Vélez-Ruiz <i>et al.</i> (2002)
Pan frito	175	Aceite de girasol	300	McGee <i>et al.</i> (1999)

por: (a) convección del medio de calentamiento, (b) por la radiación de las paredes del horno y (c) por conducción como resultado del calentamiento por contacto con la superficie caliente en la parte inferior (Dermirkol *et al.*, 2006). Este tratamiento se caracteriza por la baja humedad y las altas temperaturas (Dumas y Mital, 2002).

Generalmente el horneado por convección forzada es preferido, al usar hornos con circulación de aire inducida. El calor es transferido al alimento por el aire circundante (Dumas y Mital, 2002), con flujo paralelo al alimento (Banooni *et al.*, 2008). La radiación de calor en el horno implica un método sin contacto por medio de un calentamiento electromagnético, por ejemplo, radiación infrarroja (Dumas y Mital, 2002).

A pesar de usar altas temperaturas, el horneado es un método lento, ya que la transferencia de calor por convección del aire o radiación por las paredes del horno, es poco eficiente (McGee *et al.*, 1999). Algunos coeficientes convectivos del proceso de horneado se reportan en la Tabla II.

2. *Mecanismos de transferencia de calor involucrados en tratamientos térmicos que emplean nuevas tecnologías*

2.1 Microondas

Además del uso de hornos de microondas a nivel doméstico, en los últimos años las microondas se han utilizado como una alternativa a diferentes tratamientos térmicos, como el escaldado, la pasteurización y el secado. Esto es debido a las ventajas que presenta en cuanto a la generación de energía frente a otros tratamientos (Sosa-Morales *et al.*, 2009).

El calentamiento por microondas es una técnica relativamente nueva, para el tratamiento térmico selectivo, corto e intenso. La velocidad del calentamiento por microondas ha sido probada numerosas veces y en muchos casos ha resultado superior a los tratamientos tradicionales. Algunas desventajas de esta tecnología son calentamiento no uniforme, disminución o no presencia de dorado y una incompleta destrucción microbiana (Choi *et al.*, 2011).

Tabla II. Coeficientes convectivos de transferencia de calor (h) reportados para algunos procesos de horneado.

Alimento	Temperatura de aire en el horno (°C)	h (W/m ² °C)	Referencia
Masa “Mlenci”	70°C	9.745	Seruga <i>et al.</i> (2007)
Galletas	190-210°C	30-38.1	Dermirkol <i>et al.</i> (2006)
Pizza	191-218°C	780-801	Dumas y Mittal. (2002)
Galletas	190-210°C	30-38.1	Dermirkol <i>et al.</i> (2006)

Este calentamiento se origina por la interacción del campo electromagnético con la materia por medio de mecanismos dieléctrico (Kowalsi *et al.*, 2012) y depende tanto de las características del alimento, como de su composición química, su estado físico, su geometría (Swain *et al.*, 2004). En los hornos domésticos, las microondas son generadas por un dispositivo conocido como magnetrón, que transforma la frecuencia de la línea (60 Hz) a microondas (2450 MHz). Las ondas son conducidas a través de una guía o canal hasta la cavidad del horno, donde penetran el alimento y rebotan en las paredes, volviendo a penetrar en el alimento. Un esquema del funcionamiento del horno de microondas se muestra en la Fig. 2.

El calentamiento por microondas es favorecido por la presencia de moléculas de agua en el alimento (Kowalsi *et al.*, 2012). Los alimentos que contienen moléculas polares como el agua se calientan rápidamente cuando se expone a la radiación de microondas, debido a la fricción molecular, generada por la rotación dipolar de moléculas en la presencia de un campo eléctrico alternativo (Kowalsi *et al.*, 2012).

La temperatura final que alcanza el alimento se debe a la absorción de energía eléctrica desde el campo de microondas y a la

transferencia de calor por conducción y convección (Swain *et al.*, 2004).

2.2 Radiofrecuencia

El calentamiento por radiofrecuencia, o calentamiento dieléctrico capacitivo, es reconocido como una tecnología de electrocalentamiento rápido el cual emplea un rango de frecuencias de 1 a 300 MHz (Farag *et al.*, 2011). Es una tecnología prometedora para la aplicación en alimentos, ya que permite el calentamiento rápido y relativamente uniforme de éstos (Anese *et al.*, 2008).

El calentamiento es generado cuando un generador de radiofrecuencia produce un campo eléctrico alterno entre dos electrodos en un sistema de radiofrecuencia. El alimento sujeto al tratamiento se coloca entre los electrodos, donde la corriente alterna provoca que las moléculas polares en el alimento oscilen continuamente al tratar de alinearse con el campo eléctrico, un esquema de este movimiento se muestra en la Fig.3 (Ahmed *et al.*, 2007). Por ejemplo en 27.12 MHz, la alternancia del campo eléctrico es de 27,120,000 ciclos por segundo. La fricción resultante del movimiento de rotación de las moléculas y el desplazamiento de carga espacial, provocan el aumento de la temperatura (Orsat *et al.*, 2004).

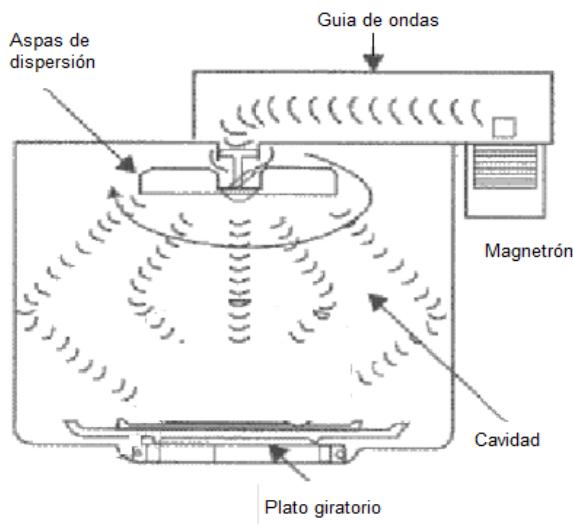


Fig. 2. Representación gráfica de la generación y distribución de microondas en un horno doméstico (Adaptada de Bastian *et al.*, 2001).

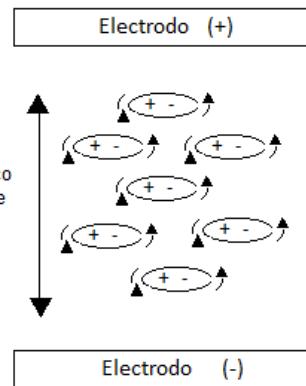


Fig. 3. Esquema de la rotación dipolar de moléculas durante el tratamiento con radiofrecuencia (Adaptado de Singh y Heldman, 2009).

Las propiedades dieléctricas afectan la distribución de energía electromagnética durante el calentamiento. Estas son la constante dieléctrica dependiente de la temperatura, la cual se describe como la capacidad del alimento para almacenar energía ante la presencia de un campo eléctrico aplicado y el factor de pérdida dieléctrica el cual se define como la capacidad de disipación de energía. Estas propiedades dieléctricas pueden variar ampliamente en los alimentos (Basaran-Akgul *et al.*, 2008).

En cuanto a alimentos, se están investigando tratamientos con radiofrecuencia con el objetivo de erradicar plagas en frutas y leguminosas, así como pasteurizar productos secos como las almendras. La Tabla III

muestra algunos reportes de las aplicaciones de radiofrecuencia con estos fines.

Conclusiones y comentarios finales

Los mecanismos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación aparecen en los tratamientos térmicos para alimentos de manera individual o combinada. El grado de efectividad de éstos dependerá de las condiciones de proceso y del alimento. Las nuevas tecnologías buscan combinar estos mecanismos para lograr una mayor eficiencia y rapidez en la transferencia de calor en los alimentos y de esta manera conservar en mayor grado sus propiedades.

Tabla III. Aplicación de radiofrecuencia con diferentes fines en alimentos.

Alimento	Aplicación	Referencia
Garbanzo, chícharo y lentejas	Desinfestación contra mosca India	Wang <i>et al.</i> (2010)
Mangos	Desinfestación contra moscas de la fruta	Sosa- Morales <i>et al.</i> (2009)
Arroz	Erradicación de plagas	Mirsoheini, S.M.H. <i>et al.</i> (2009)
Arroz	Desinfestación contra gusano de la fruta	Laguna-Solar <i>et al.</i> (2007)
Huevo	Pasteurización	Dumas y Mittal. (2006)
Manzanas	Desinfestación contra gusano de la manzana	Wang <i>et al.</i> (2006a)
Nuez	Desinfestación contra polillas	Wang <i>et al.</i> (2006b)
Naranjas	Desinfestación contra moscas de la fruta	Birla <i>et al.</i> (2005)

Agradecimientos

Los autores agradecen al CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) y a la UDLAP (Universidad de las Américas Puebla) por las becas otorgadas a M.E. Pérez Reyes para realizar sus estudios de Maestría en Ciencias, así como al CONACYT por el proyecto 168990.

Referencias

- Ahmed, J., Ramaswamy, H.S. y Alli, I. 2007. Protein denaturation, rheology, and gelation characteristics of radio-frequency heated egg white dispersions. *International Journal of Food Properties.* 10:145-161.
- Alvis, A., Córtes, L.E., y Páez, M. 2009. Transferencia de calor y materia durante la fritura de trozos de ñame (*Dioscorea alata*). *Información Tecnológica.* 20(1): 99-109.
- Anese, M., Sovrano, S. y Bortolomeazzi, R. 2008. Effect of radiofrequency heating on acrylamide formation in bakery products. *European Food Research and Technology.* 226: 1197-1203.
- Badui, S. 1993. *Química de los alimentos.* Cuarta edición. Pearson Educación. México. 603-604p.
- Banooni, S., Hosseinalipour, S.M., Mujumdar y A.S., Taheran, E. 2008. Impingement heat transfer effects on baking of flat bread. *Drying Technology.* 26: 910-919.
- Basaran-Akgul, N., Basaran, P., y Rasco, B.A. 2008. Effect of temperature (-5 to 130 °C) and fiber direction on the dielectric properties of beef semitendinosus at radio frequency and microwave frequencies. *Journal of Food Science.* 73(6): 243-249.
- Bastian, P., Either, W., Huber, F., Jaufmann, N., Manderla, J., Spielvogel, O., Springer, G., Stricker, F.D. y Tkotz, K. 2001. *Electrotecnia.* Primera edición. Ediciones Akal. España. 423p.
- Birla, S.L, Wang, S., Tang, J., Fellman, J.K., Mattinson, D.S. y Lurie, S. 2005. Quality of oranges as influenced by potential radio frequency heat treatments against Mediterranean fruit flies. *Postharvest Biology and Technology.* 38: 66-79.
- Choi, W., Nguyen, L.T., Hyun. S. y Jun, S. 2011. A microwave and ohmic combination heater for

- uniform heating of liquid-article food mixtures. *Journal of Food Science*. 7(9): E576-E585.
- Debnath, S., Rastogi, N.K., Gopala, A.G. y Lokesh, B.R. 2012. Effect of frying cycles on physical, chemical and heat transfer quality of rice bran oil during deep-fat frying of poori: An Indian traditional fried food. *Food and Bioproducts Processing*. 90: 249-256.
- Dermirkol, E., Erdogan, F. y Koray, T. 2006. A numerical approach with variable temperature boundary conditions to determine the effective heat transfer coefficient values during baking cookies. *Journal of Food Process Engineering*. 29: 478-497
- Duarte, P.E., y Cristianini, M. 2011. Determining the convective heat transfer coefficient (h) in thermal process of foods. *International Journal of Food Engineering*. 7(4): 1-22.
- Duarte, P.E., Ferramola , T., Lima, A.A., y Cristianini, M. 2009. Evaluation of methodologies for mathematical modeling of packaged conductive foods heat process. *International Journal of Food Engineering*. 5(4): 1-15.
- Dumas, C., y Mittal, G.S. 2002. Heat and mass transfer properties of pizza during baking. *International Journal of Food Properties*. 5(1): 161-177.
- Erdogdu , F., Uyar, R., y Koray, T. 2010. Experimental comparison of natural convection and conduction heat transfer. *Journal of Food Process Engineering*. 33: 85-100.
- Farag, K.W., Lyng, J.G., Morgan, D.J. y Cronin, D.A. 2011. A comparison of conventional and radio frequency thawing of beef meats: effects on product temperature distribution. *Food and Bioprocess Technology*. 4: 1128-1136.
- Gouado, I., Demasse, M.A., Etame, L.G., Meyimbo, O., Ruphine, S. Ejoh, A. y Fokue, E. 2011. Impact of three cooking methods (steaming, roasting on charcoal and frying) on the β -carotene and vitamin C contents of plantain and sweet potato. *American Journal of Food Technology*. 6(11): 994-1001.
- Gut, J.A.W. y Pinto, J.M. 2003. Selecting optimal configurations for multisecion plate heat exchangers in pasteurization processes. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 42(24): 6112-6124.
- Kern, D.Q. 1999. *Procesos de transferencia de calor*. Trigésima primera edición. CECSA. México. 14-16p.
- Kowalsi, S., Lukasiewicz, M., Bednarz, S. y Panus, M. 2012. Diastase number changes during thermal and microwave processing of honey. *Czech Journal of Food Science*. 30(1): 21-26.
- Lagunas-Solar, M. C., Pan, Z., Zeng, N. X., Truong, T. D., Khir, R. y Amarantunga K. S. P. 2007. Application of radiofrequency power for non-chemical disinfestation of rough rice with full retention of quality attributes. *Applied Engineering in Agriculture*. 23(5): 647-654.
- Lang, X.Y., Wang, J.Q., Bu D.P., Shen, J.S., Zheng, N. y Sun, P. 2010. Effects of heating temperatures and addition of reconstituted milk on the heat indicators in milk. *Journal of Food Science*. 75(8): 653-658.
- McGee, H., McInerney, I y Harris, A. 1999. The virtual cook: Modeling heat transfer in kitchen. *Physics Today*. 30(5): 30-36.
- Mirhoseini, S.M.H., Heydari, M., Shoulaie, A. y Seidavi, A.R. 2009. Investigation on the possibility of foodstuff pest control using radiofrequency based on dielectric heating (case study: rice and wheat flour pests). *Journal of Biological Sciences*. 9(3): 283-287.
- Moraga, N., Torres, A., Guarda, A. y Galotto, M.J. 2011. Non-Newtonian canned liquid food, unsteady fluid mechanics and heat transfer prediction for pasteurization and sterilization. *Journal of Food Process Engineering*. 34: 2000-2025.
- Orsat, V., Bai, L. y Raghavan, G.S.V. 2004. Radio-frequency heating of ham to enhance shelf-life in vacuum packaging. *Journal of Food Process Engineering*. 27: 267-283.
- Riverol, C., y Napolitano, V. 2005. Estimation of fouling in a plate heat exchanger through the application of neural networks. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 80: 594-600.
- Santana, F., Duarte, P.E. y Cristianini, M. 2011. Determination of the convective heat transfer coefficient (h) in the sterilization of retortable pouches. *International Journal of Food Engineering*. 7(1): 3-14.
- Seruga, B., Budzaki, S. y Ugarcic, Z. 2007. Individual heat transfer modes during baking of "mlinci" dough. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 72(3): 257-263.
- Singh, R.P. y Heldman, D.R. 2009. *Introduction to food engineering*. Cuarta edición. Academic Press. China. 373p.

- Sosa-Morales, M.E., Tiwari G., Wang, S., Tang, J., Garcia, H.S. y Lopez-Malo, A. 2009. Dielectric heating as a potential post-harvest treatment of desinfecting mangoes, Part I: Relation between dielectric properties and ripening. *Biosystems Engineering*. 103: 297-303.
- Sosa-Morales, M.E., Orzuna-Espíritu, R. y Vélez-Ruiz, J.F. 2006. Mass, thermal and quality aspects of deep-fat frying of pork meat. *Journal of Food Engineering*. 77: 731-738.
- Sunisa, W., Worapong, U., Sunisa, S., Saowaluck, J. y Saowakon, W. 2011. Quality changes of chicken frying oil as affected of frying conditions. *International Food Research Journal*. 18: 615-620.
- Swain, M.V.L., Rusell, S.L., Clarke, R.N. y Swain, M.J. 2004. The development of food simulants for microwave oven testing. *International Journal of Food Science and Technology*. 39: 623-630.
- Velez-Ruiz, J.F., Vergara-Balderas, F.T. y Sosa-Morales, M.E. 2002. Effect of temperature on the physical properties of chicken strips during deep-fat frying. *International journal of food properties*. 5(1): 127-144.
- Wang, S., Birla, S.L., Tang, J. y J.D. Hansen. 2006a. Postharvest treatment to control codling moth in fresh apples using water assisted radio frequency heating. *Postharvest Biology and Technology*. 40: 89–96.
- Wang, S., Tang, J., Sun, T., Mitcham, E.J., Koral, T. y Birla, S.L. 2006b. Considerations in design of commercial radio frequency treatments for postharvest pest control in in-shell walnuts. *Journal of Food Engineering*. 77: 304–312.
- Wang, S., Tiwari, G., Jiao, S., Johnson, J.A. y J. Tang. 2010. Developing postharvest disinfestation treatments for legumes using radio frequency energy. *Biosystems Engineering*. 5: 341-349.
- Yamsaengsung, R., Rungsee, C. y Prasertsit, K. 2008. Simulation of the heat and mass transfer processes during the vacuum frying of potato chips. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 30(1): 109-115.
- Ziaifar, A.M., Achir, N., Courtois, F., Trezzani, I y Trystram, G. 2008. Review of mechanisms, conditions, and factors involved in the oil uptake phenomenon during the deep-fat frying process. *International Journal of Food Science and Technology*. 43: 1410-1423.
- Zorrilla, S., y Singh, P. 2000. Heat transfer in meat patties during double-sided cooking. *Food Science and Technology Research*. 6(2): 130-135.