

VARIACIÓN DE LA DIFUSIVIDAD TÉRMICA DEL LOCHE (*Cucurbita moschata* Duch.), LA PAPA (*Solanum tuberosum* L.) Y EL CAMOTE (*Ipomoea batatas* L.) DURANTE EL CALENTAMIENTO

THERMAL DIFFUSIVITY VARIATION OF LOCHE (*Cucurbita moschata* Duch.), POTATO (*Solanum tuberosum* L.) AND SWEET POTATO (*Ipomoea batatas* L.) DURING HEATING

Miguel Angel Solano-Cornejo¹
Julio Mauricio Vidaurre-Ruiz²

Fecha de recepción : 16 de octubre de 2017
Fecha de aceptación : 30 de noviembre de 2017
DOI : <https://doi.org/10.26495/rtzh179.423731>

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar la variación de la difusividad térmica del loche, la papa y el camote durante el calentamiento. También se evaluó la bondad de ajuste con los diferentes modelos predictivos que relacionan la variación de la difusividad térmica con respecto a la temperatura. Los valores de difusividad térmica efectiva se obtuvieron utilizando la curva de calentamiento de las muestras a las temperaturas de 40, 50, 60, 70, 80 y 90°C y se compararon los valores experimentales con diferentes modelos predictivos de difusividad térmica. Se determinó que el loche transfiere más rápido el calor que la papa y el camote. Los valores de difusividad térmica del loche variaron entre: 1,49 a 1,57 x 10⁻⁷ m²/s; para la papa, los valores de difusividad térmica variaron entre: 1,33 a 1,46 x 10⁻⁷ m²/s y para el camote variaron entre: 1,36 a 1,39 x 10⁻⁷ m²/s. Con respecto a los modelos predictivos; el modelo propuesto por Choi y Okos ajustó correctamente los valores de difusividad térmica del loche. Para el caso de papa y camote, se observó que los valores de difusividad térmica disminuyeron cuando se alcanzó las temperaturas de gelatinización de los almidones.

Palabras claves: Difusividad térmica, Evaluación de modelos predictivos.

Abstract

The aim of this research was to evaluate the thermal diffusivity variation of loche, potatoes and sweet potatoes during heating. Also evaluated the goodness of fit with various predictive models that relate the variation of the thermal diffusivity regarding temperature. The effective value of thermal diffusivity was determined using curve heating of samples at 40, 50, 60, 70, 80 and 90 °C and the experimental values were compared with different predictive models of thermal diffusivity. It was determined that heating pumpkin was faster than potatoes and sweet potatoes. Thermal diffusivity of loche varied from: 1.49 to 1.57 x 10⁻⁷ m²/s; for potatoes, from: 1.33 to 1.46 x 10⁻⁷ m²/s and for sweet potato from: 1.36 to 1.39 x 10⁻⁷ m²/s. Regarding predictive models, the model proposed by Choi and Okos fitted correctly values of thermal diffusivity of loche. In the case of potatoes and sweet potatoes, it was observed that thermal diffusivity decreases when reached gelatinization temperature of starch.

Keywords: Thermal diffusivity, evaluation of predictive models.

¹ Magister en Ingeniería Ambiental, Escuela de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería Arquitectura y Urbanismo, Universidad Señor de Sipán, Pimentel-Chiclayo, Perú, msolanoayuda@hotmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8221-7443>

² Candidato a Doctor en Ciencia de Alimentos por la Universidad Nacional Agraria La Molina, Magister en Tecnología de Alimentos, Escuela de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería Arquitectura y Urbanismo, Universidad Señor de Sipán, Pimentel-Chiclayo, Perú, jvidaurre@crece.uss.edu.pe, <http://orcid.org/0000-0001-7023-0280>

1. Introducción

Para diseñar los procesos que involucran transferencia de calor es necesario determinar algunos parámetros ingenieriles; entre ellos, se encuentran las propiedades térmicas y físicas de los alimentos como la difusividad térmica (Yu, Shrestha, & Baik, 2015). La difusividad térmica indica la rapidez con la que el calor se propaga a través de un alimento durante el calentamiento o enfriamiento (S. Rahman & Al-Saidi, 2009) y es el resultado del ratio entre la conductividad térmica, densidad y calor específico (Erdoğdu, 2008).

Recientes investigaciones han profundizado en el estudio de la variación de las propiedades térmicas de los alimentos, sometidos a diferentes condiciones de los procesos. Por ejemplo: Yu et al. (2015), determinaron que la difusividad térmica de las semillas de canola con 5% y 11% (m / m) de humedad (bh) varía cuando se calientan de 40 a 90 ° C. Similar estudio ha sido realizado por Huamán-Castilla & Salas-Valerio (2012), quienes evaluaron la difusividad térmica en 2 tipos de granos andinos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen.) en sus variedades INIA – Salcedo, Blanca de July y Cupi, Ramis respectivamente, con diferentes contenidos de humedad; determinando que existen diferencias significativas entre los 2 tipos de granos, lo que indica que la humedad y la temperatura influyen directamente en esta propiedad térmica, logrando crear modelos de regresión cuadráticos para la predicción de la difusividad térmica. De similar manera se ha investigado, pero con productos con alto contenido de humedad, por ejemplo: Farinu & Baik (2007), determinaron las propiedades térmicas del camote dentro del rango de temperatura de 20 a 60 ° C y el contenido de humedad de 45% a 75% (bh), desarrollando modelos de predicción las cuales tenían como función la temperatura del producto y el contenido de humedad, encontrando buenas correlaciones.

La difusividad térmica de los alimentos puede ser determinada utilizando métodos numéricos como el método de diferencias finitas y elementos finitos (Betta, Rinaldi, Barbanti, & Massini, 2009; Mohamed, 2003; Vidaurre-ruiz & Castañeda-muñoz, 2014), así como también se puede determinar utilizando las ecuaciones analíticas de transferencia de calor (Erdoğdu, Linke, Praeger, Geyer, & Schlüter, 2014; Erdoğdu, 2005, 2008), con la ventaja de ser un método sencillo y fácil de implementar.

Otra forma de determinar el valor de difusividad térmica en los alimentos es mediante el uso de correlaciones empíricas existentes, como por ejemplo la ecuación propuesta por Martens (1980), la cual relaciona la temperatura del alimento y el contenido de humedad en base húmeda o utilizando ecuaciones más complejas como las propuestas por Choi & Okos (1986), la cual relaciona toda la composición del alimento y la temperatura para poder predecir el valor de difusividad térmica.

Aunque el uso de estas correlaciones es muy arriesgado debido a la complejidad del comportamiento de los componentes de los alimentos durante el procesamiento. Estas correlaciones se siguen utilizando en investigaciones y dando muchas veces resultados errados, perjudicando el ajuste con los datos experimentales, cuando se realizan simulaciones de transferencia de calor.

Tanto el loche, como la papa y el camote son alimentos que se incluyen a diario en la dieta de los consumidores peruanos, bajo diferentes formas de procesamiento y es de suma importancia determinar el comportamiento de los propiedades térmica, debido a que su conocimiento permitirá diseñar equipos, optimizar procesos y por ende, un ahorro de costos de investigación a las empresas que quieren industrializar dicho producto.

Es por eso, que el objetivo de esta investigación fue evaluar la variación de la difusividad térmica del loche, papa y camote durante el calentamiento, así como también evaluar la bondad de ajuste con los diferentes modelos empíricos que relacionan la variación de la difusividad térmica con respecto a la temperatura.

2. Materiales y métodos

2.1 Caracterización y acondicionamiento de las materias primas

Se utilizaron: loches, papas variedad “Yungay” y camotes variedad “Anaranjada”, adquiridos en el Mercado Central de Abastos de la Ciudad de Lambayeque. La selección se realizó en base a su estado de madurez, eliminando aquello que presentaron deterioro físico, golpes y/o signos de deterioro microbiológico. Las muestras fueron lavadas y peladas con ayuda de un cuchillo de acero inoxidable. Las muestras fueron caracterizadas proximalmente, determinando el contenido de humedad (AOAC-950.46), proteína (AOAC-928.08), lípidos (AOAC – 960.39), fibra (AOAC – 962.09), ceniza (AOAC – 923.03) y carbohidratos por diferencia. Se acondicionó un cilindro hueco de aluminio de 17 cm de longitud y 0.0595 cm de radio, en donde se introdujeron las muestras de loche, papa y camote.

2.2 Calentamiento de las muestras

Una vez obtenidos los cilindros de aluminio rellenos con los alimentos en estudio, se insertó por un costado del tubo una termocupla de punta tipo K (TPK-03S, TECPEL®), procurando situarla en el centro, y se sellaron los extremos del tubo con tapones de caucho como material aislante. Todo el dispositivo fue sumergido por un tiempo de cinco minutos en un baño maría (CDK-S24, Tom’s-Tech Group) de diez litros de capacidad a las temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C y 90°C ± 0.3°C y se tomaron los registros de temperatura por cada segundo. La termocupla estuvo conectada a un multímetro digital (DTM-5074) y éste a su vez conectado a un computador personal (Quad-Core, Samsung®) el cual se contaba con el software de recolección de datos en tiempo real (DTM 500SW) (Figura 1).



Figura 1. Sistema de calentamiento y adquisición de datos

2.3 Determinación experimental de la difusividad térmica

Se determinó el valor de difusividad térmica para cada curva de calentamiento siguiendo el procedimiento descrito por Bañri, Laraqi, & De María (2007), quienes utilizaron la solución analítica de la ecuación de difusión de calor en un cilindro infinito. Donde la Ecuación (1) puede expresarse en un solo término, debido al elevado valor del coeficiente de transferencia de calor, que se produce en la superficie del tubo de aluminio.

$$\frac{T_{(x,t)} - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} = \left[\frac{2 \cdot J_1(\mu_n)}{\mu_n \cdot [J_0^2(\mu_n) + J_1^2(\mu_n)]} \cdot J_0\left(\mu_n \cdot \frac{x}{L}\right) \right] \cdot \exp\left(-\mu_n^2 \frac{\alpha \cdot t}{L^2}\right) \quad (1)$$

Para la linealización de la ecuación (1) se denominó G, a la parte constante de la ecuación, y se eliminó el exponente mediante la aplicación de logaritmo neperiano a ambas partes de la ecuación (Ec. 2).

$$\ln \frac{T_{(x,t)} - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} = G \cdot \left(-\mu_n^2 \frac{\alpha \cdot t}{L^2} \right) \quad (2)$$

Donde la pendiente $\left(-\mu_n^2 \frac{\alpha \cdot t}{L^2} \right)$, se utilizó para determinar el valor efectivo de la difusividad térmica para cada materia prima a cada temperatura de experimentación, utilizando la primera raíz de la ecuación característica ($\mu_n = 2,045$).

2.4 Evaluación de los datos experimentales con los diferentes modelos matemáticos de predicción de difusividad térmica

Se utilizaron diferentes modelos matemáticos de predicción de difusividad térmica, como el modelo propuesto por Choi & Okos (1986)(Ec. 3); Martens (1980) (Ec. 4) y Panda (2014) (Ec. 5).

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p} \quad k = \sum (k_{si} E_{si}) \quad E_i = \frac{\frac{X_i}{\rho_i}}{\sum \left(\frac{X_i}{\rho_i} \right)} \quad \rho = \frac{1}{\sum (X_{si} / \rho_{si})} \quad c_p = \sum (X_{si} c_{p_{si}}) \quad (3)$$

$$\alpha = [0.0574 \cdot W + 0.000288 \cdot (T + 273)] \cdot 10^{-6} \quad (4)$$

$$\alpha = (1.2844 + 4.5871 \cdot M + 0.0372 \cdot T - 0.5178 \cdot M^2) \cdot 10^{-8} \quad (5)$$

Donde, $(k_{si}, \rho_i, c_{p_{si}}, E_{si})$ son la conductividad térmica, densidad, calor específico y fracción en volumen, respectivamente, de cada componente a una determinada temperatura, (W) es la fracción de humedad en base húmeda, (T) es la temperatura en °C, (M) es la fracción de humedad en base seca.

2.5 Análisis estadístico

Se determinó la bondad del ajuste de los datos experimentales con los diferentes modelos matemáticos de predicción de difusividad térmica utilizando el % de Error (%E) (Ec. 6.)

$$\%E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{X_p - X_e}{X_e} \right| * 100 \quad (6)$$

Donde (X_e) es el valor experimental de difusividad térmica, (X_p) es el valor de la difusividad térmica predicha y (n) es el número de datos.

3. Resultados

En la Tabla 1, se muestran las composiciones proximales del loche, la papa y el camote; donde se pudo observar que el loche fue el alimento con mayor contenido de humedad en comparación con la papa y el camote. Todas las materias primas en estudio, obtuvieron elevados contenidos de carbohidratos. El mayor contenido de fibra se encontró en el loche y el mayor contenido de minerales se encontró en el camote.

Tabla 1
Composición proximal del loche y la papa por cada 100 g.

Componente	Loche	Papa	Camote
	(<i>Cucurbita moschata</i> Duch.)	(<i>Solanum tuberosum</i> L.)	(<i>Ipomoea batatas</i> L.)
	Contenido (%)	Contenido (%)	Contenido (%)
Agua	83,02 ± 2,51	81,00 ± 1,02	72,50 ± 1,02
Proteína	1,52 ± 0,011	1,34 ± 0,031	1,71 ± 0,045
Grasa	0,14 ± 0,025	0,06 ± 0,016	0,30 ± 0,136
Carbohidratos	16,29 ± 0,041	16,38 ± 0,032	25,68 ± 0,278
Fibra cruda	1,12 ± 0,016	0,47 ± 0,014	1,10 ± 0,013
Ceniza	0,35 ± 0,013	0,74 ± 0,015	1,02 ± 0,213

Se determinó la variación de la difusividad térmica del loche, la papa y el camote, según las diferentes temperaturas de cocción (Tabla 2). Donde se pudo apreciar que los valores más elevados de difusividad térmica se obtuvieron en las muestras loche, seguidos por la papa y el camote.

Comparando los valores experimentales de difusividad térmica del loche, la papa y el camote con los modelos matemáticos de predicción de difusividad térmica, se determinó que el modelo de Choi & Okos (1986), fue el más apropiado para describir la variación de la difusividad térmica de las muestras de loche, con un %Error de 1,27%. Para el caso de la difusividad térmica de la papa, el modelo más apropiado fue el de Panda (2014), con un %Error de 2,10% y para el caso de camote, el modelo más apropiado para describir la variación de la difusividad térmica fue el modelo de Martens, (1980) (Tabla 3).

Tabla 2
Difusividad térmica del loche, la papa y el camote, según las diferentes temperaturas de cocción.

Temperatura (°C)	Difusividad térmica (m ² /s) x 10 ⁻⁷		
	Loche	Papa	Camote
	(<i>Cucurbita moschata</i> Duch.)	(<i>Solanum tuberosum</i> L.)	(<i>Ipomoea batatas</i> L.)
90	1,57	1,44	1,37
80	1,57	1,45	1,37
70	1,55	1,46	1,39
60	1,55	1,38	1,39
50	1,50	1,35	1,39
40	1,49	1,33	1,36

Tabla 3

% Error de ajuste de valores de difusividad térmica de loche, papa y camote según los diferentes modelos matemáticos de predicción.

Alimento	%Error de ajuste según el modelo matemático		
	Choi y Okos (1986)	Martens (1980)	Panda (2014)
Loche	1,27	5,77	10,65
Papa	8,67	2,80	2,10
Camote	8,11	3,27	11,50

Los elevados valores de %E, indicaron la falta de ajuste de los modelos matemáticos con los valores experimentales de difusividad térmica del loche, la papa y el camote. Como se muestra en la Figura 2, los valores predichos de difusividad térmica del loche con el modelo matemático de Choi & Okos (1986) están muy dispersos de los valores experimentales, por lo tanto se propuso una ecuación polinómica que explique el comportamiento de la variación de la difusividad térmica del loche con respecto al incremento de la temperatura de cocción, encontrando una buena correlación del 93% cuando se utiliza un polinomio de tercer grado.

Así mismo en la Figura 3, se observa que los valores predichos de difusividad térmica de la papa con el modelo de Panda (2014), tienen comportamiento diferente a los valores experimentales ya que exhibe un valor máximo de difusividad térmica a la temperatura de 70°C y después un descenso a las temperaturas de 80°C Y 90°C; por lo tanto se propuso una ecuación polinómica de tercer grado, la cual correlaciona en un 95% los valores experimentales. De la misma manera para el caso del camote en la Figura 4, se observa que los valores predichos con el modelo propuesto por Martens (1980), no guardan una buena correlación, por lo tanto se propuso una ecuación polinómica de tercer grado la cual correlacionó los valores experimentales en un 94%.

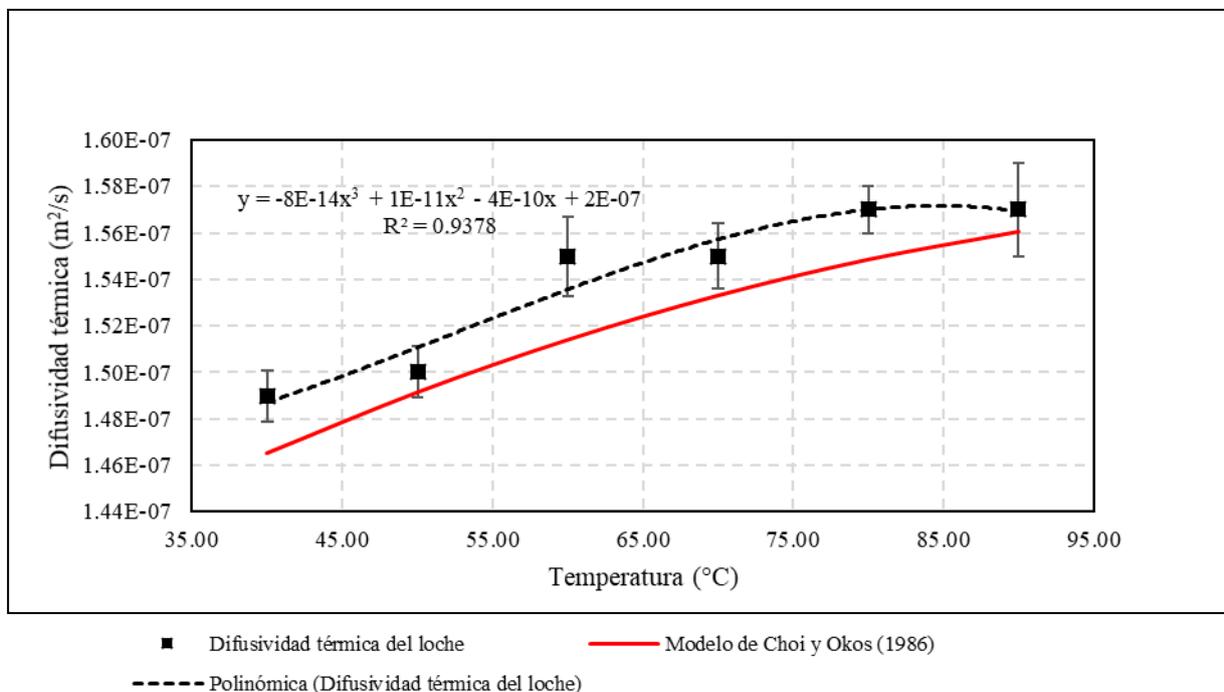


Figura 2. Variación de la difusividad térmica del loche con respecto al incremento de temperatura.

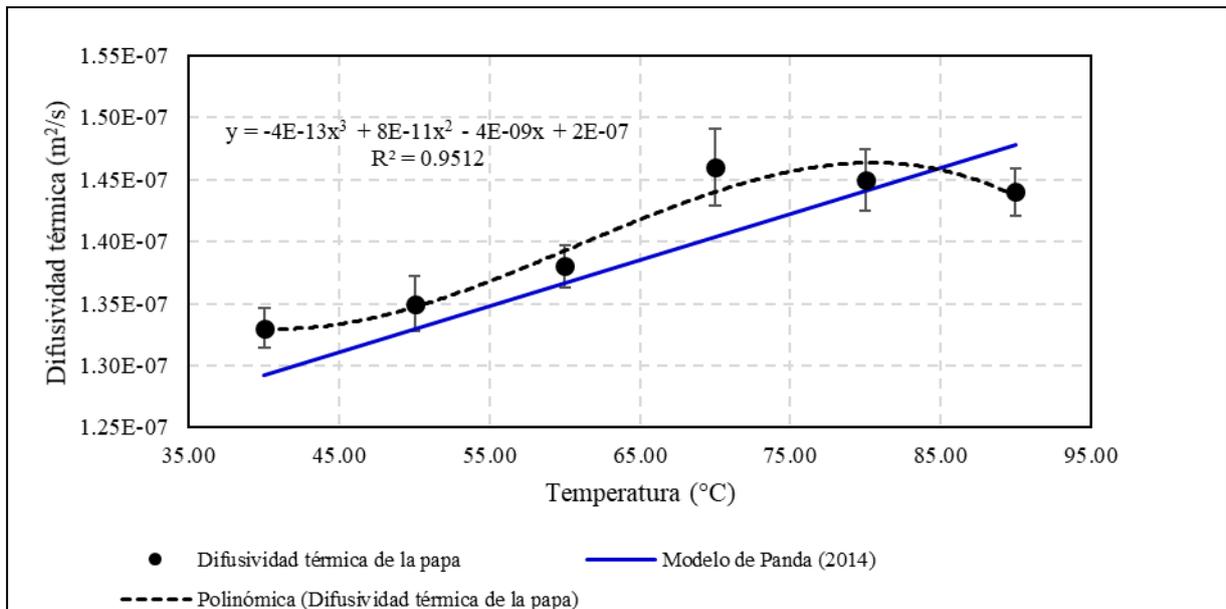


Figura 3. Variación de la difusividad térmica de la papa con respecto al incremento de temperatura.

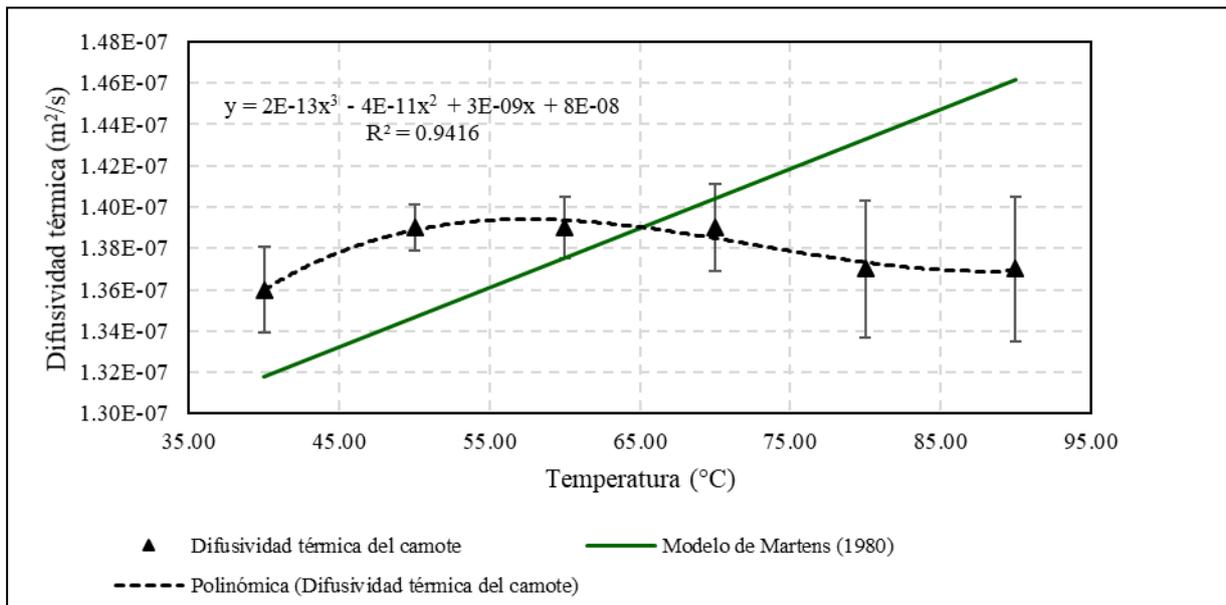


Figura 4. Variación de la difusividad térmica de la papa con respecto al incremento de temperatura.

4. Discusión

Con respecto a la composición proximal de la papa y el camote, se obtuvieron resultados similares a los reportados por García, Prieto, Barrientos, Rebatta, & Morón (2009). En las muestras de loche, los resultados de humedad fueron elevados en comparación con lo reportado por Vidaurre-Ruiz y Castañeda-Muñoz (2014) y Reyes-García et al. (2009), pero similares a lo reportado por INDECOPI (2010), esta variación se puede deber al estado de madurez y al lugar de cosecha. Los valores elevados de fibra en el loche se pueden corroborar con lo expuesto por INDECOPI, (2010).

Los valores encontrados de difusividad térmica del loche, fueron similares a los reportados por sus homólogos como zapallos y calabazas (Ahromrit & Nema, 2010). Para el caso de la papa, los valores de difusividad térmica encontrados en esta investigación, fueron similares a los reportados en otras investigaciones, como, el trabajo realizado por (Rice, P., Selman, J. D. and Abdul-Rezzak, 1988), quienes estudiaron el efecto de la temperatura sobre las propiedades térmicas de la papa (76,3 % de humedad), sometida a calentamiento de 40 – 90°C, encontrando que la difusividad térmica aumenta con la temperatura hasta llegar a un valor máximo de $1,34 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ a la temperatura de 70°C, y luego disminuye hasta $1,32 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ a la temperatura de 90°C, lo cual podría ser debido a la gelatinización del almidón, el cual puede alterar la estructura de la papa como ha sido indicado por (Rao, Barnard, & Kenny, 1975). De la misma manera para el caso del camote, los valores pequeños de difusividad térmica, también pueden ser explicados por la gelatinización del almidón, tal como lo demuestra Farinu & Baik (2007) quienes reportan valores de difusividad térmica promedio de $1,2 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$.

Los modelos matemáticos estudiados en esta investigación relacionaron deficientemente a los valores experimentales de difusividad térmica del loche, la papa y el camote. El modelo matemático que menor %Error obtuvo, fue el de Choi & Okos (1986) cuando se aplica al loche. Tanto la papa y el camote, los errores fueron elevados en todos los modelos matemáticos estudiados, esto se debió a los cambios en la composición que sufrieron estas materias primas al llegar a la temperatura de gelatinización de los almidones.

5. Conclusiones

Se evaluó la variación de la difusividad térmica del loche, papa y camote durante el calentamiento desde 40°C a 90°C, determinando que el loche transfiere más rápido el calor que la papa y el camote. Los valores de difusividad térmica del loche variaron entre: $1,49 \times 10^{-7}$ y $1,57 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$. Para la papa, los valores de difusividad térmica variaron entre: $1,33 \times 10^{-7}$ y $1,46 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ y para el camote variaron entre: $1,36 \times 10^{-7}$ y $1,39 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$.

Para el caso de la papa y el camote, que son alimentos con elevado contenido de almidón, se presentó una disminución en el valor de difusividad térmica cuando se aproxima a la temperatura de gelatinización de los almidones. Para el caso de papa, el máximo valor de difusividad térmica se presentó a la temperatura de 70°C y para el caso del camote el máximo valor se presentó a la temperatura de 50°C.

Con respecto a los modelos matemáticos utilizados, estos presentan escasa bondad de ajuste con los valores experimentales, es por eso que se propusieron ecuaciones polinómicas de tercer grado, logrando correlacionar entre el 93% y 95% los valores experimentales.

6. Referencias

- Ahromrit, A., & Nema, P. K. (2010). Heat and mass transfer in deep-frying of pumpkin, sweet potato and taro. *Journal of Food Science and Technology*, 47(6), 632–637. <http://doi.org/10.1007/s13197-010-0100-7>
- AOAC. (2000). *Official methods of analysis* (17th ed). Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.
- Baïri, A., Laraqi, N., & De María, J. M. G. (2007). Determination of thermal diffusivity of foods using 1D Fourier cylindrical solution. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 669–675. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.11.004>
- Betta, G., Rinaldi, M., Barbanti, D., & Massini, R. (2009). A quick method for thermal diffusivity estimation: Application to several foods. *Journal of Food Engineering*, 91(1), 34–41. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.08.003>

SOLANO-CORNEJO, M. y VIDAURRE-RUIZ, J. Variación de la difusividad térmica del loche (*Cucurbita moschata* Duch.), la papa (*Solanum tuberosum* L.) y el camote (*Ipomoea batatas* L.) durante el calentamiento – Rev. Tzhoecoen 2017 VOL 9 N°4, ISSN: 1997-3985

- Choi, Y., & Okos, M. . (1986). Effects of temperature and composition on the thermal properties of foods. In M. Le Maguer & P. Jelen (Eds.), *Food Engineering and Process Applications*, Vol. 1, *Transport Phenomena* (pp. 93–101). London: Elsevier Applied Science.
- Erdoğdu, F. (2005). Mathematical approaches for use of analytical solutions in experimental determination of heat and mass transfer parameters. *Journal of Food Engineering*, 68(2), 233–238. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.038>
- Erdoğdu, F. (2008). A review on simultaneous determination of thermal diffusivity and heat transfer coefficient. *Journal of Food Engineering*, 86(3), 453–459. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.10.019>
- Erdoğdu, F., Linke, M., Praeger, U., Geyer, M., & Schlüter, O. (2014). Experimental determination of thermal conductivity and thermal diffusivity of whole green (unripe) and yellow (ripe) Cavendish bananas under cooling conditions. *Journal of Food Engineering*, 128, 46–52. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.12.010>
- Farinu, A., & Baik, O.-D. (2007). Thermal properties of sweet potato with its moisture content and temperature. *International Journal of Food Properties*, 10, 703–719.
- García, M. R., Prieto, I. G.-S., Barrientos, C. E., Rebatta, F. B., & Morón, L. G. (2009). *Tablas peruanas de composición de alimentos* (8 a). Lima: Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Salud.
- Huamán-Castilla, N. L., & Salas-Valerio, W. F. (2012). Evaluación de la difusividad térmica en granos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). *CienciAgro*, 2(3), 331–340.
- INDECOPI. (2010). *Denominación de origen zapallo loche (Cucurbita moschata Duch.)*. Lambayeque: Presidencia del Consejo de Ministros.
- Martens, T. (1980). *Mathematical model of heat processing on flat containers*. Katholieke University, Leuven, Belgium.
- Mohamed, I. O. (2003). Computer simulation of food sterilization using an alternating direction implicit finite difference method. *Journal of Food Engineering*, 60(3), 301–306. [http://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00051-7](http://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00051-7)
- Panda, H. (2014). *The complete Book on fruits, vegetables and processing*. India: NIIR Project Consultancy Services.
- Rahman, S., & Al-Saidi, G. (2009). Thermal Diffusivity of Foods: Measurement, Data, and Prediction. In M. S. Rahman (Ed.), *Handbook of Food Preservation* (2nd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis.
- Rao, M. ., Barnard, J., & Kenny, J. (1975). Thermal conductivity and thermal diffusivity of process variety squash and white potatoes. *Transactions of the ASAE*, 18, 1188–1192.
- Rice, P., Selman, J. D. and Abdul-Rezzak, R. K. (1988). Effect of temperature on thermal properties of “Record” potatoes. *International Journal of Food Science and Technology*, 23, 281–286. <http://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.10.191>
- Vidaurre-ruiz, J. M., & Castañeda-muñoz, J. S. (2014). Determinación de los parámetros de transferencia de calor durante el calentamiento del loche (*Cucurbita moschata* Duchesne) utilizando soluciones numéricas y analíticas. *Ingeniería: Ciencia, Tecnología E Innovación*, 1(2), 94–105.
- Yu, D. U., Shrestha, B. L., & Baik, O. D. (2015). Thermal conductivity , specific heat , thermal diffusivity , and emissivity of stored canola seeds with their temperature and moisture content. *Journal of Food Engineering*, 165, 156–165. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.05.012>