

Estimación de propiedades termofísicas de un producto cárnico

Estimation of thermophysical properties of a meat product

M.Sc. Plinio Vargas-Zambrano^{1,2}

M.Sc. Rudyard Antonio Arteaga-Solórzano¹

Dr.C. Guido Riera-González²

Dr.C. Luis Cruz-Viera^{2*}

¹Departamento de Procesos Agroindustriales, Universidad Técnica de Manabí, Chone, Ecuador

²Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, La Habana, Cuba

*Autor para la correspondencia. Correo electrónico: lcruz@quimica.cujae.edu.cu

Resumen

El empleo de modelos matemáticos es la manera más viable para la estimación de las propiedades termofísicas en alimentos procesados. El objetivo del presente trabajo fue la obtención de modelos matemáticos para la estimación de las propiedades termofísicas de un producto cárnico tipo mortadela, considerando el contenido de humedad como variable independiente en el intervalo de temperaturas correspondiente a su cocción. El producto correspondió a piezas de 30 cm de longitud y 10 cm de diámetro. Se calcularon valores para la capacidad térmica específica, conductividad térmica y difusividad térmica mediante modelos reportados en la literatura en función del contenido de agua y/o de los otros componentes del producto, a partir de la composición de productos cárnicos reportada en la literatura. Se ajustaron modelos para cada propiedad en función del contenido de humedad. Para su validación se determinaron los perfiles de

temperatura empleando los modelos obtenidos, así como los modelos de Choi y Okos considerados como referencia. Los valores obtenidos por ambas vías fueron muy similares. Su comparación con los valores de temperatura medidos experimentalmente mostró el mismo resultado, lo que indica la validez de los modelos propuestos. Se estimó, además, el coeficiente de transferencia de calor.

Palabras clave: capacidad térmica específica; conductividad térmica; difusividad térmica; propiedades termofísicas; mortadela.

Abstract

The use of mathematical models is the most viable way to estimate the thermophysical properties in processed foods. The models reported in the literature are expressed according to the composition and temperature of the product, which are diverse and show differences between them. The aim of the present work was to obtain mathematical models for the estimation of the thermophysical properties of a meat product type mortadella, considering the moisture content as an independent variable in the temperature range corresponding to its cooking. The product corresponded to pieces of 30 cm in length and 10 cm in diameter. Values for specific thermal capacity, thermal conductivity and thermal diffusivity were calculated using models reported in the literature based on the water content and/or the other components of the product, taking into account the composition of meat products reported in the literature. Models were adjusted for each property according to the moisture content. For its validation, the temperature profiles were determined using the models obtained as well as the Choi and Okos models considered as reference. The values obtained by both ways were very similar. Their comparison with the experimentally measured temperature values showed the same result, which indicates the validity of the proposed models. The heat transfer coefficient was also estimated.

Key words: specific thermal capacity; thermal conductivity; thermal diffusivity; thermophysical properties; mortadella.

Recibido: 19/3/2019

Aceptado: 20/7/2019

Introducción

Las propiedades termofísicas de los alimentos resultan fundamentales para el diseño, evaluación y optimización de las operaciones de transferencia de calor. Aspectos tales como la estimación de los costos energéticos del proceso y la calidad y seguridad de los materiales elaborados resultan dependientes de estas propiedades.⁽¹⁻³⁾ Asimismo, la modelación de tales operaciones requiere de la disponibilidad de esta información.⁽⁴⁻⁶⁾ La modelación puede ser de utilidad para suministradores y fabricantes de equipos para garantizar las especificaciones requeridas en los productos.^(7,8)

Las propiedades termofísicas pueden obtenerse por diferentes vías: i) determinación de las propiedades térmicas a partir de ecuaciones de predicción reportadas en términos de la composición del alimento;⁽⁹⁻¹¹⁾ ii) diseño de experimentos para la obtención de las propiedades de manera directa, donde los valores medidos se expresan en términos de las mediciones realizadas;⁽¹²⁻¹³⁾ iii) empleo de métodos indirectos, basados en la solución numérica de sistemas donde la transferencia de calor se desarrolla en estado no estacionario,⁽¹⁴⁻¹⁶⁾ seguido por un procedimiento de optimización para la obtención de los parámetros del modelo. La determinación de las propiedades a partir de modelos es considerada la manera más viable para el caso de alimentos procesados, teniendo en cuenta todas las posibles formulaciones que puedan encontrarse.^(17,18)

Los modelos reportados en la literatura para la determinación de las propiedades termofísicas de los alimentos son expresados en función de la temperatura y/o la composición.^(1,13,18,19-21) Estos modelos no toman en cuenta la interacción entre los componentes del alimento sobre las propiedades termofísicas, no obstante, se

considera que sus resultados representan adecuadamente el comportamiento de estas.⁽²²⁻²⁵⁾ Aunque de manera general se reconoce la dependencia de las propiedades termofísicas con la temperatura, numerosos trabajos reportados en la literatura proponen modelos sencillos basados solo en el contenido de agua del producto, tomando en consideración el elevado contenido de este componente en sistemas alimentarios. La disponibilidad de modelos sencillos y con resultados confiables puede constituir una adecuada vía para la realización de cálculos térmicos, lo cual ha sido propuesto por diferentes autores estando resumidos en la literatura.^(10,11,13,17,26-29)

El objetivo del presente trabajo es la obtención de modelos matemáticos para la estimación de las propiedades termofísicas de un producto cárnico tipo mortadela con harina de quinua en su formulación, considerando la humedad como variable independiente en el intervalo de temperatura correspondiente a su cocción.

Materiales y métodos

Formulación y tratamiento térmico del producto

El producto seleccionado fue una mortadela embutida en tripa sintética de forma cilíndrica (10 cm de diámetro y 30 cm de longitud) con una masa de 2 kg. La cocción se llevó a cabo por inmersión en agua caliente a $(80 \pm 1)^\circ\text{C}$, durante 2,5 h.⁽³⁰⁾ La temperatura inicial del producto fue de 10°C . La temperatura en el centro térmico al término de la cocción fue de 71°C , medida mediante un termopar tipo K (Kew, Termokew S. A., México) con una precisión de $0,1^\circ\text{C}$. La composición química del producto se determinó a partir de sus contenidos de proteínas, grasa, fibra, cenizas y humedad, expresadas como porcentaje respecto al peso de muestra.⁽³¹⁾

Capacidad térmica específica, conductividad térmica y densidad

A partir de modelos reportados en la literatura, dependientes del contenido de agua y otros componentes, se generaron valores de la capacidad térmica específica (C_P) y la conductividad térmica (k), los que constituyeron la fuente a

partir de la cual se ajustaron modelos en función del contenido de humedad (ecuación 1):

$$\varphi = b_0 + b_1 X_w \quad (1)$$

donde: φ , propiedad termofísica; X_w , fracción másica de agua.

Para ello se dispuso de la composición de 44 productos cárnicos obtenidos a partir de diversas fuentes.⁽³²⁻³⁶⁾ Para la densidad (ρ) no se dispuso de modelos para su estimación en alimentos sólidos, por lo que se seleccionaron modelos para la determinación de la difusividad térmica (α), para la obtención de la densidad a partir de esta ($\alpha = k/\rho C_p$). De esta manera se dispuso de valores de las propiedades provenientes de fuentes con diversas características experimentales. Los modelos seleccionados para la determinación de cada una de las propiedades, reportados para productos cárnicos o alimentos en general y citados por diversos autores.^(13,17,27,29,37,38) se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Modelos para la capacidad térmica específica, la conductividad térmica y la difusividad térmica (C_p : J/(kg.°C); k : W/(m.°C); ρ : kg/m³; α : m²/s; X : fracción másica).

Fuente	Modelo
Domínguez y col. (1974)	$C_p = 1,382 + 2,805 X_w$
Leniger y Beverloo (1975)	$C_p = (0,5 X_g + 0,3 X_s + X_w) 4180$
Lamb (1976)	$C_p = 1,470 + 2,720 X_w$
Heldman y Singh (1981)	$C_p = 1,42 X_c + 1,549 X_p + 1,675 X_g + 0,837 X_{cz} + 4,187 X_w$
Bowman (1970)	$k = 0,081 + 0,568 X_w$
Comini (1974)	$k = 0,26 + 0,33 X_w$
Domínguez y col. (1974)	$k = 0,60 X_w + 0,20 X_p + 0,245 X_c + 0,18 X_g$
Riedel (1969)	$\alpha = 0,088 \cdot 10^{-8} + (\alpha_w - 0,088 \cdot 10^{-8}) X_w$
Martens (1980)	$\alpha = (0,116 X_w + 0,100 X_g + 0,075 X_p + 0,082 X_c) 10^{-8}$

w: agua; g; grasa; p: proteína; cz: cenizas; c: carbohidratos; s: p+cz+c

Validación de los modelos propuestos

La validación de los modelos obtenidos se realizó mediante la determinación de los perfiles de temperatura en el producto, empleando los valores de C_p , k y ρ calculados a partir de dichos modelos. Para ello se consideró una estructura homogénea del producto y que la transferencia de calor se efectuó en las

direcciones radial (r) y axial (z). Para estas condiciones la transferencia de calor se expresa mediante la ecuación (2):^(6,39)

$$\rho C_P \frac{\partial T}{\partial t} = k \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

donde: ρ , densidad; C_P , capacidad térmica específica; k conductividad térmica.

Las condiciones de contorno para la solución de la ecuación (2) fueron:^(6,7)

$$T(0, r, z) = T_{\text{inicial}}$$

$$T(t, r, z): \left. \frac{dT}{dr} \right|_{r=0} = 0$$

$$-k \left(\frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial T}{\partial z} \right) = h (T_s - T_a)$$

donde: h , coeficiente pelicular de transferencia de calor; T_s , temperatura en la superficie de la pieza; T_a : temperatura del agua de cocción.

La solución de la ecuación (2) requirió del valor de h . Su estimación se realizó mediante dicha ecuación, partiendo de que la temperatura medida en el centro térmico de la pieza fue de 71°C, alcanzada en un tiempo de cocción de 2,5 h. Los valores de C_P , k y ρ , se estimaron mediante las ecuaciones de Choi y Okos, a la temperatura promedio del producto durante el proceso de cocción, dada por la temperatura inicial de las piezas (10°C), y la temperatura del agua de cocción (80°C). La selección de estas expresiones se basó en su marcada aplicación en numerosos reportes de la literatura,^(6,7,13,29,31,40-42) por su adecuada reproducibilidad de los valores y su intervalo de aplicación (-40°C < T < 150°C). En las tablas 2, 3 y 4 se muestran estas ecuaciones. Una vez estimado el valor de h , se determinó el perfil de temperatura en el producto, el cual comprendió doce puntos de la pieza (tabla 5) a las 0,5, 1,5 y 2,5 h de cocción, empleando los valores de las propiedades termofísicas obtenidos a partir de las ecuaciones ajustadas. Se determinó, además, el perfil de temperatura en los doce puntos y se comparó con el obtenido empleando los valores de las propiedades termofísicas correspondientes a las ecuaciones de Choi y Okos. Las temperaturas calculadas

por ambas vías fueron comparadas con las temperaturas medidas en la pieza para los tiempos de cocción señalados en las posiciones que aparecen en negrita en la tabla 5, mediante el empleo de termopares tipo K (Kew, Termokew S. A., México) con una precisión de 0,1°C. La solución de la ecuación (2) se realizó mediante el programa Matlab 8.2, versión R2013b (MathWorks Inc., Natick, Massachusetts, USA, 2013,) mediante la herramienta Toolbox para la solución de ecuaciones diferenciales. Los resultados de los perfiles se obtuvieron como gráficas 2D y 3D.

Resultados y discusión

El ajuste de los datos de las propiedades termofísicas generados a partir de los modelos de la literatura (tabla 1) reportó los modelos de predicción que aparecen en la tabla 6 y sus estadígrafos correspondientes.

Tabla 2. Ecuaciones de Choi y Okos para la estimación de la capacidad térmica específica (C_p : J/(kg.°C); T: °C; X: fracción másica).

Componente	Expresión
Agua	$C_p = 4,1762 - 9,0864 \cdot 10^{-5} T + 5,4731 \cdot 10^{-6} T^2$
Carbohidratos	$C_p = 1,5488 + 1,9625 \cdot 10^{-3} T - 5,9399 \cdot 10^{-6} T^2$
Proteína	$C_p = 2,0082 + 1,2089 \cdot 10^{-3} T - 1,3129 \cdot 10^{-6} T^2$
Grasa	$C_p = 1,9842 + 1,4733 \cdot 10^{-3} T - 4,8008 \cdot 10^{-6} T^2$
Cenizas	$C_p = 1,0926 + 1,8896 \cdot 10^{-3} T - 3,6817 \cdot 10^{-6} T^2$
Fibra	$C_p = 1,8459 + 1,8306 \cdot 10^{-3} T - 4,6509 \cdot 10^{-6} T^2$
Formulación	$C_p = \sum C_{pi} \cdot X_i$

Tabla 3. Ecuaciones de Choi y Okos para la estimación de la conductividad térmica (k: W/m.°C; T: °C; X: fracción másica).

Componente	Expresión
Agua	$k = 0,57109 + 1,7625 \cdot 10^{-3} T - 6,7063 \cdot 10^{-6} T^2$
Carbohidratos	$k = 0,20141 + 1,3874 \cdot 10^{-3} T - 4,3312 \cdot 10^{-6} T^2$
Proteína	$k = 0,17881 + 1,1958 \cdot 10^{-3} T - 2,7178 \cdot 10^{-6} T^2$
Grasa	$k = 0,18071 - 2,7064 \cdot 10^{-3} T - 5,9399 \cdot 10^{-7} T^2$
Cenizas	$k = 0,32962 + 1,4011 \cdot 10^{-3} T - 2,9069 \cdot 10^{-6} T^2$
Fibra	$k = 0,18331 + 1,2497 \cdot 10^{-3} T - 3,1683 \cdot 10^{-6} T^2$
Formulación	$k = \sum k_i \cdot X_i$

Tabla 4. Ecuaciones de Choi y Okos para la estimación de la densidad

Componente	Expresión
Agua	$\rho=997,18+3,1439 \cdot 10^{-3}T-3,7574 \cdot 10^{-3}T^2$
Carbohidratos	$\rho=1599,1+0,31046 T$
Proteína	$\rho=1599,1+0,31046 T$
Grasa	$\rho=925,59-0,41757 T$
Cenizas	$\rho=2423,8-0,28063 T$
Fibra	$\rho=1311,5+0,36589 T$
Formulación	$\rho=\sum \rho_i \cdot X_i$

Tabla 5. Coordenadas de los puntos correspondientes al perfil de temperaturas.

r (m)	z (m)	r (m)	z (m)	r (m)	z (m)
0	0	0,025	0	0,050	0
0	0,05	0,025	0,05	0,050	0,05
0	0,10	0,025	0,10	0,050	0,10
0	0,15	0,025	0,15	0,050	0,15

Tabla 6. Modelos obtenidos a partir de los datos generados de C_p , k y α y sus estadígrafos.

Modelo	R ²	EAM	DW	P
$C_p=1528,15+2643,60 X_W$	96,86	34,06	2,18 (p=0,8825)	p<0,9999
$k=0,1791+0,4326X_W$	90,30	0,0115	1,84 (p=0,1749)	p<0,9999
$\alpha=0,8885 \cdot 10^{-7}+5,4357 \cdot 10^{-8}X_W$	95,71	92.10 ⁻⁴	1,99 (p=0,4740)	p<0,9999

EAM: error absoluto medio; DW: estadígrafo Durbin Watson; p: probabilidad del modelo

La sustitución de la composición del producto (proteínas: 13,83%; grasas: 16,36%; carbohidratos: 1,69%, agua: 63,39%; cenizas: 3,47%; fibra: 1,82%) en las ecuaciones de Choi y Okos reportó expresiones en función de la temperatura, mientras que en los modelos obtenidos se obtuvieron valores de las propiedades correspondientes a la composición de agua en el producto (tabla 7). La solución de la ecuación (2) mediante el empleo de las ecuaciones de Choi y Okos (tabla 7), considerando una temperatura de 71°C en el centro térmico de la pieza, alcanzada a las 2,5 h, reportó un coeficiente pelicular de transferencia de calor de 497 W/m².°C. En la tabla 8 se presentan los perfiles de temperatura obtenidos mediante las ecuaciones de Choi y Okos y los modelos obtenidos, destacándose

la similitud de los resultados alcanzados por ambas vías. La diferencia entre los perfiles resultó de manera general inferior a 1%, lo que evidencia la validez de los modelos propuestos. La diferencia de los perfiles calculados con relación a las temperaturas medidas experimentalmente fue de hasta 5,5% para las ecuaciones de Choi y Okos, y de hasta 7,7% para los modelos propuestos a las 0,5 h de cocción. Estas diferencias resultaron inferiores a 1% a las 1,5 y 2,5 h de tratamiento térmico. Para la estimación del coeficiente pelicular de transferencia se partió de las ecuaciones de Choi y Okos considerando la temperatura promedio del producto entre su valor inicial (10°C) y la temperatura del agua de cocción (80°C), sin embargo, durante la primera media hora de proceso la temperatura dista más de este valor promedio, pudiendo ser esta la causa de la diferencia antes señalada. Esta situación cambia en los tiempos posteriores en que se realizaron las mediciones. En las figuras 1a y b se muestran los perfiles 3D, obtenidos a las 2,5 h de cocción a partir de las ecuaciones propuestas.

Tabla 7. Propiedades termofísicas para la obtención de los perfiles de temperatura.

	Ecuaciones de Choi y Okos	Modelos obtenidos
C_p (J/kg.°C)	$C_p=3336,21+47,23 \cdot 10^{-5}T+2,2177 \cdot 10^{-6}T^2$	3203,93
k (W/m ² .°C)	$k=0,4336+ 0,9278 \cdot 10^{-3}T-4,8696 \cdot 10^{-6}T^2$	0,4533
ρ (kg/m ³)	$\rho=1096,35-0,1575 T-2,3818 \cdot 10^{-3}T^2$	1147,07

Tabla 8. Perfiles de temperatura obtenidos mediante las propiedades termofísicas calculadas mediante las ecuaciones de Choi y Okos y las obtenidas, y valores medidos experimentalmente.

		Ecuaciones de Choi y Okos			Ecuaciones obtenidas			Valores experimentales		
		Tiempo de cocción, h								
Posición		0,5	1,5	2,5	0,5	1,5	2,5	0,5	1,5	2,5
r (m)	z (m)	Temperatura, °C								
0	0	26,4	57,3	71,0	26,9	57,4	70,9	25,0	57,0	70,9
0	0,05	26,4	58,0	71,4	26,9	57,5	71,1			
0	0,1	27,2	61,1	73,6	27,3	60,9	73,3	25,9	60,9	73,1
0	0,15	78,0	79,5	79,9	78,2	79,6	79,9			
0,025	0	36,8	63,5	73,5	36,8	63,4	73,4	34,9	62,9	73,0
0,025	0,05	36,8	63,6	73,7	36,8	63,5	73,5	35,0	63,0	73,7
0,025	0,1	37,5	66,3	75,3	37,4	66,0	75,1	35,9	63,0	75,2
0,025	0,15	78,4	79,7	79,9	78,5	79,7	79,9			
0,05	0	78,0	79,3	79,7	78,1	79,4	79,7			
0,05	0,05	78,0	79,3	79,7	78,1	79,4	79,8			
0,05	0,1	78,0	79,4	79,8	78,1	79,5	79,8			
0,05	0,15	79,9	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0			

Las estimaciones de los perfiles de temperatura en el producto pueden resultar de interés para investigar el posible deterioro de compuestos bioactivos presentes en la formulación como el α -tocoferol y los polifenoles debido a la cocción, lo cual ha sido reportados en la harina de quinua. (43,44)

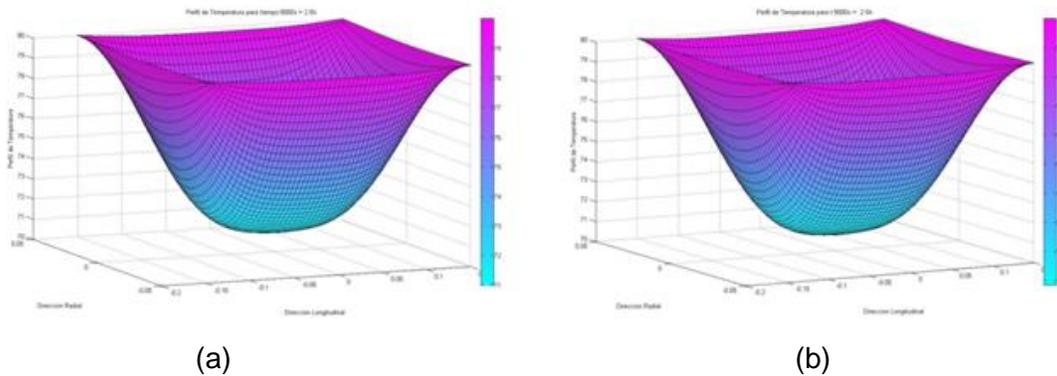


Fig. 1. Perfiles de temperaturas 3D al cabo de las 2,5 h de cocción, calculados mediante(a) ecuaciones de Choi y Okos, b) modelos obtenidos.

Conclusiones

Los modelos propuestos resultan válidos para la estimación de la capacidad térmica específica, la conductividad térmica y la difusividad térmica. La estimación de estas propiedades resultó independiente de la temperatura en el intervalo de cocción (10 – 80°C), siendo solo dependientes del contenido de humedad del producto. Esto queda validado por la similitud entre los perfiles de temperatura obtenidos mediante las ecuaciones de Choi y Okos y los modelos propuestos. La diferencia entre ambos es menor de 1% a las 1,5 y 2,5 h de cocción. Esta diferencia es igual a la obtenida entre los perfiles calculados por ambas vías con el obtenido por medición de la temperatura en el producto. El coeficiente pelicular de transferencia de calor para las condiciones de operación fue de 497 W/m².K.

Referencias bibliográficas

1. MARCOTTE, M.;TAHERIAN, A. R.; KARIMI, Y. Thermophysical properties of processed meat and poultry products, *Journal of Food Engineering*. Oxford, UnitedKingdom:ElsevierScience Ltd., 2008,**88**, pp. 315–322, ISSN 0260-8774.
2. ALVIS, A.;CAICEDO, I., PEÑA, P. Determinación de propiedades termofísicas de alimentos en función de la concentración y la temperatura empleando un programa computacional. *Información Tecnológica*. La Serena, Chile: Centro de información Tecnológica, 2012, **23** (1), pp. 111-116, ISSN 0718-0764.
3. TIRADO, D. F.;ACEVEDO, D.; PUELLO, P. Determinación computacional del coeficiente de transferencia de calor y propiedades termofísicas de alimentos. *InformaciónTecnológica*. La Serena, Chile: Centro de información Tecnológica,2014, **25** (3), pp. 53-58, ISSN 0718-0764.
4. GONI, S. M.; SALVADORI, V. O, Prediction of cooking times and weight losses during meat roasting. *Journal of Food Engineering*.Oxford, United Kingdom:Elsevier Science Ltd.,2010,**100**, pp.1-11, ISSN 0260-8774.
5. KONDJOYAN, A.; OILLIC, S.; PORTANGUEN, S.; GROS, J. B. Combined heat transfer and kinetic models topredict cooking loss during heat treatment of beef meat.*Meat Science*.Oxford, United Kingdom:Elsevier Science Ltd.,2013, **95**, pp. 336-344, ISSN 0309-1740.
6. PAPASIDERO, D.; PIERUCCI, S.; MANENTI, F.; PIAZZA, L. Heat and mass transfer in roast beef cooking. Temperature and weightlossprediction. *ChemicalEngineeringTransactions*. Milan, Italy: ThelitalianAssociation of ChemicalEngineering, 2015, **43**, pp. 151-156, ISSN 1974-9791.
7. ARBOLEDA, D.; VALENCIA, V.; ESPINOSA, J.; OCHOA, O. Modelo matemático para el proceso térmico de productos cárnicos de geometría cilíndrica. *Dyna*. Medellin, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2010, **77** (164), pp. 301-307, ISSN 0012-7353.
- 8.BESSADOK-JEMAI, A. Characterizing the drying kinetics of high water content agro-food particles exhibiting non-fickian mass transport, *Chemical Engineering Transactions*.Milan, Italy: ThelitalianAssociation of ChemicalEngineering, 2013,**32**, pp.1759-1764, ISSN 1974-9791.

9. WILLIX, J; LOVATT, S. J.; AMOS, N. D. Additional thermal conductivity values of foods measured by a guarded hot plate. *Journal of FoodEngineering*. Oxford, United Kingdom:Elsevier Science Ltd., 1998, **37**, pp. 159–174, ISSN 0260-8774.
10. PERUSSELLO, C. A.; MARIANI, V. C.; MENDES, L. A. Development of a linear heat source probeand determination of banana thermalconductivity. *International Journal of FoodEngineering*. Oxford, United Kingdom:Elsevier Science Ltd., 2010, **6** (5),pp. 1-13, ISSN 0260-8774.
11. PERUSSELLO, C. A.; MARIANI, V. C.; MASSON, M. L.; De Castilhos, F. Thermophysical properties of yacon (*Smallanthussonchifolius*):experimental determination and effect of moisture content.*ActaScientiarum-Technology*. Maringa: UniversidadeEstadual do Maringa, 2015, **37** (1), pp. 167-173, ISSN 1806-2563.
- 12.MC DONALD, K.; SUN, D.-W.; LYNG, J. G. Effect of vacuum cooling on the thermophysical properties of a cooked beef product. *Journal of FoodEngineering*. Oxford, United Kingdom:Elsevier Science Ltd., 2002, **52**, pp. 167–176, ISSN 0260-8774.
13. HASSAN, H. F; RAMASWAMY, H. S. Measurement and targeting of thermophysical properties of carrot and meat based alginate particles for thermal processing applications. *Journal of Food Engineering*. Oxford, United Kingdom:Elsevier Science Ltd.,2011,**107**, pp. 117–126, ISSN 0260-8774.
14. NAHOR, H. B.; SCHEERLINCK, N.; VERNIEST, R.; DE BAERDEMAEKER, J.; NICOLAÏ, B. M. Optimal design of dynamic experiments for the parameter estimation of conduction heated foods. *Journal of Food Engineering*. Oxford, United Kingdom:Elsevier Science Ltd., 2001, **48**, pp. 109–119, ISSN 0260-8774.
15. MENDONÇA, S. L. R.; CELSO FILHO, R. B.; DA SILVA, Z. E. Transient conduction in spherical fruits: method to estimate the thermal conductivity and volumetric thermal capacity. *Journal of Food Engineering*. Oxford, United Kingdom:Elsevier Science Ltd., 2005,**67**, pp. 261–266, ISSN 0260-8774.
- 16.MARIANI, V. C.; DE LIMA, A. G. B.; COELHO, L. S. Apparent thermal diffusivity estimation of the banana during drying using inverse method. *Journal of Food*

Engineering. Oxford, United Kingdom: Elsevier Science Ltd., 2008, **85**, 569–579, ISSN 0260-8774.

17. OCHOA, O.; MÉZQUITA, A. A.; CHEJNE, F. Propiedades termofísicas de la carne. Revisión del estado del arte. *Dyna*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2006, **148**, pp. 103-118, ISSN 0012-7353.

18. AKINTUNDE, M. A. Modeling of thermal properties of food components. *The Pacific Journal of Science and Technology*. Hilo, Hawaii: Akemal University, 2008, **9** (2), 629-639, ISSN 1551-7624.

19. BECKER, B. R.; FRICKE, B. A. Evaluation of thermophysical property models for foods. *HVAC&R RESEARCH*. Boca Raton, USA: Taylor & Francis Group, 2001, **7** (4), pp. 310-330, ISSN 1078-9669.

20. BITRA, V. S.; BANU, S.; RAMAKRISHNA, P.; NARENDER, G.; WOMAC, A. R. Moisture dependent thermal properties of peanut pods, kernels, and shells. *Biosystems Engineering*. Salt Lake City, USA: Academic Press Inc., 2010, **106** (4), pp. 503-512, ISSN 1537-5110.

21. RAZAVI, S. M.; TAGHIZADEH, M. The specific heat of pistachio nuts as affected by moisture content, temperature and variety. *Journal of Food Engineering*. Oxford, United Kingdom: Elsevier Science Ltd., 2007, **79**(1), pp. 158-167, ISSN 0260-8774.

22. PERUSSELLO, C. A.; MARIANI, V. C.; AMARANTE, A. C. C. Numerical and experimental analysis of the heat and mass transfer during okara drying. *Applied Thermal Engineering*. Oxford, United Kingdom: Elsevier Science Ltd., 2012, **48** (1), pp. 325-331, ISSN 1359-4311.

23. PERUSSELLO, C. A.; MARIANI, V. C.; AMARANTE, A. C. C. Thermophysical properties evolution of okara during drying. *International Journal of Food Properties*. Boca Raton, USA: Taylor & Francis Group, 2013, **17** (4), pp. 891-907, ISSN 1532-2386.

24. VAN DER SMAN, R. G. M. Prediction of enthalpy and thermal conductivity of frozen meat and fish products from composition data. *Journal of Food*

Engineering. Oxford, United Kingdom: Elsevier Science Ltd., 2008, **84** (3), pp. 400-412, ISSN 0260-8774.

25. DIMA, J. B.; BARON, P. J.; ZARITZKY, N. E. Mathematical modeling of the heat transfer process and protein denaturation during the thermal treatment of Patagonian marine crabs. *Journal of Food Engineering*. Oxford, United Kingdom: Elsevier Science Ltd., 2012, **113** (4), pp. 623-634, ISSN 0260-8774.

26. SAHIN, S.; SUMNU, S. G. *Physical properties of foods*. New York: Springer Science+Business Media, 2006, ISBN 0-387-30808-3.

27. SANZ, P. D.; ALONSO, M. D.; MASCHERONI, R. H. Thermophysical properties of meat products: general bibliography and experimental values. *American Society of Agricultural Engineers*. St. Joseph, USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 1987, **30** (1), pp. 283-296, ISSN 0001-2351.

28. ALVARADO, J. D. D. *Principios de Ingeniería de Alimentos*. Segunda Edición. Ambato: Universidad Técnica de Ambato, ISBN 978-9942-11-507-2.

29. GHAJARJAZI, E.; AZADBAKHT, M.; GHADERI-FAR, F. Relationship between thermal properties of canola pods (without seed) with moisture content, porosity and chemical composition of pods. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. Beijing, P. R. China: Public Knowledge Project, 2016, **18** (1), pp. 384-398, ISSN 1682-1130.

30. VARGAS ZAMBRANO, P., RIERA GONZÁLEZ, G., CRUZ VIERA, L. Quinoa as gelling agent in a mortadella formulation. *International Food Research Journal*, 2019, **26**, pp. 1069-1077.

31. AOAC. *Official methods of analysis*. 19th edition. Arlington, VA, USA: The Association of Official Analytical Chemist, 2012, ISBN 0935584838.

32. COBOS, A.; DÍAZ, O. Chemical composition of meat and meat products. En: P.C.K. Cheung; B.M. Mehta, *Handbook of Food Chemistry*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2015, pp. 472-506, ISBN 978-3-642-36605-5.

33. HOLLAND, B.; WELCH, A. A.; UNWIN, I. D.; BUSS, D. H.; PAUL, A. A.; SOUTHGATE, D. A. T. *McCance and Widdowson's. The Composition of Foods*. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 1991, ISBN 0851863914.

34. MOHAMMED, A. M.; MONEIM, A.; SULIEMAN, E.; SALIH, Z. A.; MAHGOUB, A. Quality characteristics of laboratory-made mortadella meat product. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*. Durham, USA: Scientific & Academic Publishing, 2015, **5**(2), pp.96-100, ISSN 2166-5192.
35. ABDULLAH, B. M. Beef and sheep mortadella: formulation, processing and quality aspects. *International Journal of Food Science and Technology*. Hoboken, USA: John Wiley & Sons, Ltd., 2004, **39**, pp. 177–182, ISSN 0950-5423.
36. FONTES, P. R.; GOMIDE, L. A. M.; COSTA, N. M. B.; PETERNELLI, L. A.; FONTES, E. A. F.; RAMOS, E. M. Chemical composition and protein quality of mortadella formulated with carbon monoxide-treated porcine blood. *LWT-Food Science and Technology*. Oxford, United Kingdom: Elsevier Science Ltd., 2015, **64**, pp. 926-931, ISSN 0023-6438.
37. LEWICKI, P. P. Water as the determinant of food engineering properties. A review. *Journal of Food Engineering*. Oxford, United Kingdom: Elsevier Science Ltd., 2004, **61**, pp. 483–495, ISSN 0260-8774.
38. COMINI, G.; BONACINA, C.; BARINA, S. Thermal properties of foodstuffs. En: *Meeting of Commissions B1, C1 and C2, I. I. R.* Bressanone, France: 1974, pp. 163-172.
39. BIRD, R. B.; STEWART, W. E.; LIGHTFOOT, E. N. *Transport Phenomena*. Second edition. New York: John Wiley & Sons, 2002, ISBN 0-471-41077-2.
40. SOUZA, E. C.; ILHEU FONTAN, R. C.; ALCANTARA VERISSIMO, L. A.; SAMPAIO, V. S.; SILVA, W. S.; FERREIRA BONOMO, R. C.; VELOSO, C. M. Thermal diffusivity and specific heat of bovine milk affected by temperature and composition. *International Journal of Food Engineering*. Berlin, Germany: Walter de Gruyter GmbH & Co., 2012, **8** (3), pp. 1-13, ISSN 1556-3738.
41. KLINBUN, W.; RATTANADECHO, P. An investigation of the dielectric and thermal Properties of Frozen Foods over a Temperature From -18 to 80°C. *International Journal of Food Properties*. Boca Raton, USA: Taylor & Francis Group, 2017, **20**(2), pp. 455-464, ISSN 1532-2386.

42. DHALL, A.; HALDER, A.; DATTA, A. K. Multiphase and multicomponent transport with phase change during meat cooking. *Journal of Food Engineering*. Oxford, United Kingdom: Elsevier Science Ltd., 2012, **113**, pp. 299–309, ISSN 0260-8774.
43. DINI, I., G. C., DINI, A. Antioxidant compound contents and antioxidant activity before and after cooking in sweet and bitter *Chenopodium quinoa* seeds. *LWT - Food Science and Technology*. Oxford, United Kingdom: Elsevier Science Ltd., 2010, **43**, pp. 447–451, ISSN 0023-6438.
44. MIRANDA, M., VEGA-GÁLVEZ, A., URIBE, E., LÓPEZ, J., MARTÍNEZ, E., RODRÍGUEZ, M. J., QUISPE, I., DI SCALA, K. Physico-chemical analysis, antioxidant capacity and vitamins of six ecotypes of chilean quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Procedia Food Science*. Oxford, United Kingdom: Elsevier Science Ltd., 2011, **1**, pp. 1439 – 1446, ISSN 2211-601X.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses