

Rev. Cienc. Technol.

Año 10 / N° 10b / 2008 / 59–62

## VARIACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE EXTRACTOS ACUOSOS DE YERBA MATE CON TEMPERATURA Y CONCENTRACIÓN

Ramón A. Linares, María M. Brousse, Ana M. Paredes, Eusebia C. Valdez

### VARIATION OF THE THERMAL CONDUCTIVITY OF AQUEOUS EXTRACTION OF YERBA MATE WITH TEMPERATURE AND CONCENTRATION

#### ABSTRACT

Thermal conductivity of aqueous extracts of yerba mate was measured in a range of concentrations from 10.56 to 21.20 % and four temperatures, 303, 313, 323 and 333 K.

Thermal conductivity was determined using a thermal properties analyzer.

Data were statistically analyzed, finding significant differences with temperature and no significant differences with concentration. When the temperature was increased, the thermal conductivity increased for the range of temperature and concentrations under study. Data were fitted to different mathematical models. The average values for the thermal conductivity in the range of temperatures under study (303 to 333 K) were between 0.52 and 0.58 W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>.

KEY WORDS: yerba mate, thermal conductivity, extracts, temperature.

#### RESUMEN

Se estudió la conductividad térmica del extracto acuoso de la yerba mate a concentraciones, entre el 10.6 a 21.2 % y a cuatro temperaturas, 303, 313, 323 y 333 K.

La conductividad térmica fue determinada mediante un medidor de conductividad térmica, marca Decagon Devices Incorporation modelo KD<sub>2</sub>.

Los datos analizados estadísticamente, reportaron diferencias significativas entre los valores de conductividad en la temperatura y diferencias no significativas con la concentración. Al aumentar la temperatura, la conductividad térmica aumentó, para el rango de temperaturas y concentraciones en estudio. Los datos se ajustaron a diferentes modelos matemáticos. Los valores promedio para la conductividad térmica en el rango de temperaturas de estudio (303 a 333 K) variaron entre 0.52 y 0.58 W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>.

PALABRAS CLAVE: yerba mate, conductividad térmica, extractos, temperatura.

## 1. INTRODUCCIÓN

El diseño de equipos para alimentos líquidos y operaciones de transferencia de calor implicadas en el procesamiento de los mismos requieren datos de las propiedades térmicas. Generalmente hay una variación en la temperatura y la concentración en los procesos unitarios, con efectos sobre las propiedades térmicas, como densidad, calor específico y conductividad térmica. Esta información es necesaria en el diseño de los equipos involucrados en los procesos de los alimentos como los evaporadores, bombas, intercambiadores de calor, filtros y mezcladores [1].

La conductividad térmica (K) en alimentos líquidos fue ampliamente reportada por algunos autores [2–8]. Una revisión de la bibliografía demuestra que son escasos los datos experimentales de K que puedan considerarse confiables, mostrando la inexistencia de datos de conductividad térmica para extractos acuosos de yerba mate en función de la temperatura y la concentración. Se reportaron datos de K para jugo de guayaba, donde la conductividad térmica (K) decrece levemente en un rango de

temperatura de 338 a 358 K al aumentar la concentración de 9 a 11 Brix [6]. En otro estudio de jugo de guayaba se reporta que la conductividad térmica no fue afectada por la temperatura en el rango de 303 a 353 K, pero decrece con el incremento de la concentración en el rango de 15 a 40 Brix [7]. Para jugos de pera, cereza dulce, damasco y ciruela, las conductividades térmicas se incrementan con el incremento de la temperatura en el rango de 293 a 393 K y disminuyen con el aumento de la concentración en el rango 8.3 a 15.3 Brix [8].

Los objetivos del presente trabajo fueron a) medir los valores de la conductividad térmica de los extractos concentrados de yerba mate en un rango de concentraciones, entre 10.6 y 21.2 %, y cuatro temperaturas, 303, 313, 323 y 343 K, b) ajustar los modelos propuestos por la bibliografía a los datos experimentales y evaluar la bondad del ajuste por medio de RMSE (Root mean squared error), MBE (Mean Bias Error) y el error porcentual.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Material

Para los ensayos se utilizó yerba mate procesada por la Cooperativa Agrícola Montecarlo Limitada (1995). En el proceso de molienda, la yerba mate se clasificó en cinco fracciones: 1) hoja gruesa, 2) hoja fina, 3) palo grueso, 4) palo fino y 5) polvo. Se determinó experimentalmente que la fracción 1 es la que contiene la más alta proporción de cafeína y se utilizó esta fracción como material inicial. La muestra pesó unos 80 kg, aproximadamente, la cual fue homogeneizada en el mismo molino para tener un producto uniforme en todos los ensayos y luego almacenada durante el tiempo que duraron los ensayos, en envases de plástico de 10 litros de capacidad, con cierre hermético.

### 2.2. Obtención del Extracto

La técnica consistió en realizar una primera extracción con 4 litros de agua y 1 kg de yerba mate. Esta suspensión con agitación constante, se colocó en un baño maría durante 90 minutos, tiempo suficiente para alcanzar la máxima extracción de sólidos en esas condiciones. El extracto (denominado "primer extracto"), se obtuvo mediante el prensado de la suspensión de hojas y agua. Este "primer extracto" se utilizó para extraer una nueva porción de yerba mate, siguiendo el mismo procedimiento anterior y manteniendo la misma relación 4:1 (agua/yerba mate). De esta manera se obtiene el segundo extracto, con una concentración de sólidos solubles mayor a la anterior. El procedimiento se repitió, para la obtención de un tercer extracto, alcanzándose así la máxima concentración de sólidos solubles que permite esta técnica, ya que en una nueva extracción se comprobó que la concentración de sólidos solubles en el extracto no aumentó.

La conductividad térmica se determinó utilizando un medidor de conductividad térmica marca Decagon modelo KD2 con un sensor de una sola aguja.

### 2.3. Determinación de Sólidos Solubles Totales

Se realizó mediante el método gravimétrico que consistió en colocar 20 gramos del extracto centrifugado en recipientes previamente tarados, llevarlos hasta sequedad mediante una placa calentada con vapor de agua, y posteriormente en estufa de vacío, a 333 K y 50 mm Hg durante 72 horas. La cantidad de sólidos solubles se determinó por diferencia de peso. Las determinaciones de sólidos solubles de los extractos se realizaron por triplicado.

### 2.4. Procedimiento Experimental

Se prepararon a partir del extracto concentrado por dilución con agua destilada las diferentes concentraciones: 21.2 %; 19.3 %; 17.9 %; 15.8 %; 14.8 %; 13.3 %; 10.6 % (SST/100 ml extracto).

Se colocaron las muestras en tubos de ensayo dentro de un baño termostático a la temperatura de estudio. La

temperatura se monitoreó con un termómetro digital con sensor de acero inoxidable. Se tomaron las conductividades con el conductímetro KD<sub>2</sub>, se midieron los grados Brix. Los ensayos se realizaron por triplicado, para cada concentración y temperatura ensayadas.

Los valores obtenidos se analizaron por método estadístico (análisis de varianza) y se ajustaron diferentes modelos propuestos por la bibliografía.

La bondad del ajuste fue evaluada mediante los siguientes parámetros de error RMSE, MBE y error porcentual.

*Root mean squared error*: raíz cuadrada del error cuadrático medio: indica la tendencia de un modelo; cuanto menor sea el valor más adecuado es el modelo.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2} \quad (1)$$

*Mean Bias Error*: error medio de desviación: indica la tendencia del modelo; un valor positivo significa que el modelo sobre estima y un valor negativo significa que el modelo sub estima. El valor ideal para el MBE es cero.

$$MBE = \sum (Y_i - X_i) / N \quad (2)$$

*Error porcentual*: es una indicación aproximada de la calidad de la medición, cualquiera sea el tamaño de la cantidad medida.

$$E\% = [(Y_i - X_i) / Y_i] * 100 \quad (3)$$

donde N es el número de datos de las series X (medida) e Y (simulada).

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores experimentales de K en función de la temperatura y las concentraciones se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Valores experimentales para la conductividad térmica de los extractos acuosos de yerba mate a diferentes concentraciones de sólidos solubles.

T (K)	Concentraciones % (SST/100 ml extracto)						
	21.2	19.3	17.9	15.8	14.8	13.3	10.6
	Conductividad térmica (W/m K)						
303	0.53	0.51	0.53	0.52	0.55	0.55	0.52
313	0.56	0.55	0.54	0.56	0.57	0.52	0.52
323	0.58	0.56	0.53	0.57	0.55	0.58	0.58
333	0.58	0.59	0.58	0.58	0.59	0.60	0.6

El análisis de los datos de la determinación de las conductividades térmicas de los extractos acuosos de yerba mate, conduce a las siguientes generalizaciones:

- Los valores de conductividad térmica mostrados en la Tabla 1 se incrementan con el incremento de la temperatura, para el rango de temperaturas de estudio.
- Los valores de la conductividad térmica medias presentan diferencias significativas con la temperatura

en un nivel de confianza del 95 % ( $P < 0.05$ ) según lo expuesto en la Tabla 2.

**Tabla 2.** ANOVA para K según la temperatura - Análisis de la Varianza.

Fuente	Sumas de cuad.	GI	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	0.0107886	4	0.00269714	3.13	0.0291
Intra grupos	0.0258857	30	0.000862857		
Total (Corr.)	0.0366743	34			

- c) Los valores de conductividad térmica no presentan diferencias significativas con las diferentes concentraciones de SST en los extractos para el rango en estudio. ( $P > 0.01$ ,  $= 0.05$ ).
- d) El análisis de varianza de dos factores (concentración y temperatura) no presentó interacción.

Los modelos más usados para la variación de la conductividad térmica con la temperatura se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Modelos para la predicción de la conductividad térmica en función de la temperatura en líquidos.

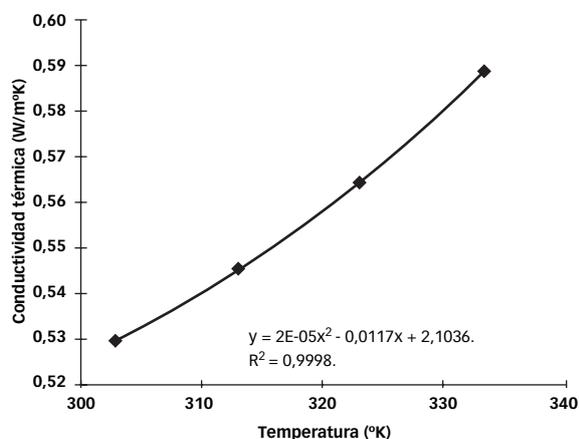
Número	Modelo	Referencias
1	$K(t) = a_0 + a_1 T + a_2 T^2$	[9-15]
2	$K(t) = T_0 (1 + \alpha \Delta T)$	[16-17]

donde  $\alpha$  es el gradiente lineal de la conductividad térmica;  $\Delta T = T - T_0$ , y  $T_0$  es la temperatura de referencia.

El modelo N° 1 es el que mejor se ajusta a los datos de los extractos de yerba mate, ver Figura 1. Se presentan a continuación en la Tabla 4 otros modelos de ajuste.

**Tabla 4.** Modelos matemáticos de la conductividad térmica en extracto acuoso de yerba mate.

Modelos	R2
$K(t) = 0.0019 \cdot T - 0.06$	0.99
$K(t) = 0.6164 \ln(T) - 2.99$	0.99
$K(t) = 0.001 T^{0.10}$	0.99
$K(t) = 0.1841 e^{0.0035T}$	0.99
$K(t) = 2E^{-5} T^2 - 0.0117T + 2.1036$	0.99



**FIGURA 1.** Variación de la conductividad térmica en función de la temperatura. Ajuste de valores con el modelo cuadrático (Modelo N° 1).

Se evaluó la bondad de ajuste del modelo cuadrático mediante los valores de los errores RMSE, MBE y error porcentual para extractos de yerba mate, en el rango de temperaturas 303 a 333 K, dando un valor de RMSE de 0.0033, de MBE de 0.00069 y un error porcentual de 0.484.

#### 4. CONCLUSIONES

El efecto de la temperatura y la concentración sobre la conductividad térmica para los extractos acuosos de yerba mate fueron determinadas con el  $KD_2$ .

Al realizar mediciones de conductividad térmica en los extractos acuosos de yerba mate a diferentes concentraciones y temperaturas se encontró que los valores dependen de la temperatura pero no de la concentración, para el rango estudiado.

Las conductividades térmicas reportadas presentan una tendencia a incrementarse al aumentar la temperatura, para todo el rango de estudio. Se ajustaron estos resultados mediante diferentes modelos matemáticos. Se obtuvieron buenos ajustes con los modelos presentados en la Tabla 4, siendo el mejor el modelo cuadrático con un  $R^2 = 0.99$ .

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gratao, A.; Junior, V.; Polizelli, M. y Telis Romero, J. Thermal properties of passion fruit juice as affected by temperature and water content. *Journal Food Process Engineering*. 27: p. 413–431. 2005.
2. Qashou, M. S.; Vachon, R. I. y Touloukian, Y. W. Thermal conductivity of foods. *ASHRAE Transactions*. 78 (Part I): p. 165–183. 1972.
3. Cuevas, R. y Cheryan, M. Thermal conductivity of liquid foods—Review. *Journal Food Process Engineering*. 2: p. 283–306. 1978.
4. Choi, I. y Okos, M. R. The Thermal Properties of Liquid Foods—Review. Presented at the Winter Meeting ASAE. 83: p. 6516.1983a.
5. Choi, I. y Okos, M. R. Thermal properties of liquid foods—Review. M.R. Okos, editor. *Physical and Chemical Properties of Food* New York. ASAE. p. 35–77. 1986.
6. Zainal, B. S.; Abdul Rahman, R.; Ariff A. B.; Saari, B. N. y Asbi, B. A. Effects of temperature on the physical properties of pink guava juice at two different concentrations. *Journal of Food Engineering*. 43: p. 55–59. 2000.
7. Rosnah, S.; Ibrahim, O. y Nor Khalillah, M. Thermophysical properties of Thai seedless guava juice as affected by temperature and concentration. *Journal of Food Engineering*. 66: p. 395–399. 2005.
8. Magerramov, M. A.; Abdulagatov, I. M.; Abdulagatov, N. D. y Azizov, N. D. Thermal Conductivity of Pear, Sweet-cherry, Apricot, and Cherry-plum Juices as a Function of Temperature and Concentration. *Journal of Food Science*. 71: p. 238–240. 2006.

**9. Venart, J. y Prasad, R. C.** Thermal conductivity of water and oleum. *Journal Chemical. Engineering*. 25: p. 196–198. 1980.

**10. Horvath, A. L.** *Handbook of Aqueous Electrolyte Solutions: Physical Properties, Estimation Methods and Correlation Methods*. Ellis Horwood, West Sussex, England. 1985.

**11. Abdulagatov, I. M. y Magomedov, U. B.** Thermal conductivity measurements of aqueous  $\text{SrCl}_2$  and  $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$  solutions in the temperature range between 293 and 473 K at pressures up to 100 MPa. *International Journal Thermophys.* 20: p. 187–196. 1999a.

**12. Abdulagatov, I. M. y Magomedov, U. B.** Measurements of thermal conductivity of aqueous  $\text{CoCl}_2$  solutions at pressures up to 100 MPa by parallel-plate apparatus. *Journal of Chemical Engineering Japan*. 32: p. 465–471. 1999b.

**13. Abdulagatov, I. M. y Magomedov, U. B.** Thermal conductivity of aqueous  $\text{BaI}_2$  solutions in the temperature range 293 and 473 K and the pressures range 0.1 – 100 MPa. *Fluid Phase Equilibria*. 171: p. 243–252. 2000.

**14. Abdulagatov, I. M. y Magomedov, U. B.** Thermal conductivity measurements of aqueous KI and KBr solutions at high temperatures and high pressures. *Journal of Solution Chemistry*. 30: p. 223–235. 2001.

**15. Abdulagatov, I. M. y Magomedov, U. B.** Thermal conductivity measurements of pure water and aqueous  $\text{SrBr}_2$  solutions at high temperatures and high pressures. *High Temperature*. 35/36: p.149–168. 2004.

**16. Assael, M. J.; Charitidou, E.; Georgiadis, G. P. y Wakeham, W. A.** Absolute measurement of the thermal conductivity of electrically conducting liquids. *Ber. Bunsenges. Physical Chemistry*. 92: p 627–631. 1988.

**17. Assael, M. J.; Charitidou, E.; Stassis, J. C. H. y Wakeham, W. A.** Absolute measurement of the thermal conductivity of some aqueous chloride solutions. *Ber. Bunsenges. Physical Chemistry*. 93: p 887–892. 1989.

sora Adjunta Dedicación Exclusiva. Categoría en el Sistema de Incentivos: IV.

• Eusebia Valdez

Ingeniero Químico. Especialista en Gestión de la Calidad. Profesor Adjunto Dedicación Exclusiva. Categoría en el Sistema de Incentivos: IV.

Facultad de Ciencias Exactas Químicas y Naturales, UNaM. Félix de Azara 1552. Posadas, Misiones, Argentina.

Recibido: 09/04/08.

Aprobado: 27/08/08.

• Ramón Andrés Linares

Ingeniero Químico. Diploma de Alta Especialización en Tecnología de Alimentos. Profesor Titular Regular Dedicación Exclusiva. Categoría en el Sistema de Incentivos: II.

• María Marcela Brousse

Ingeniera Química. Magíster en Tecnología de los Alimentos. Ayudante de Primera Exclusiva. Categoría en el Sistema de Incentivos: V.

marcelabrousse@fceqyn.unam.edu.ar.

• Ana María Paredes

Ingeniera Química. Especialista en Gestión de la Calidad. Profe-