



## Correlación Entre Parámetros Térmicos de Café de Diferente Origen

Fernando Gordillo Delgado, J. Aicardo Ortega Vela, Fabian Zarate Rincón.

*Laboratorio de Optoelectrónica, Universidad del Quindío. Apdo. Postal 2639 Armenia*

Recibido 22 de Oct. 2007; Aceptado 15 de Oct. 2008; Publicado en línea 5 de Ene. 2009

---

### Resumen

Hace medio siglo que la industria alimentaria introdujo en los hogares del mundo el consumo de café considerando los diferentes gustos, por lo que los productores de café han visto en la diversificación de sabores y aromas una excelente oportunidad comercial. Este es un tema muy complejo debido a que las características y propiedades organolépticas del café cambian de acuerdo con el tipo de suelo y de cultivo, altura geográfica, variedad, etc. Por esta razón es necesario obtener una cuantificación estadística de los parámetros difusividad y efusividad térmica, relacionados con la composición química y estructural de un material, para hacer la caracterización térmica de este producto que permita identificar el origen que lo clasifica como especial con fines de certificación. En este trabajo se presenta la caracterización térmica de café proveniente de la región del Quindío con diferentes características, utilizando la técnica Fotoacústica. Se hizo también un perfil de profundidad en el grano con el fin de entender mejor la conducción del calor dentro de él. Para las medidas de efusividad y difusividad se utilizó una celda cerrada y abierta respectivamente.

**Palabras claves:** parámetros térmicos, fotoacústica, café.

### Abstract

Half century ago the food industry introduced in the home around all word the coffee consume considering the different tastes, for this cause the coffee producers has seen in the flavors diversification a excellent commercial opportunity. It is a complex subject due to the characteristics and organoleptic properties of coffee changing according to soil kind and cultivation, geographic high, variety, etc. For this reason it is necessary to obtain a statistical quantification of the thermal parameters diffusivity and effusivity related to the structural and chemical composition of a material, for doing the thermal characterization of this product that allows to identify the origin that classifies as special with certification objective. In this work the thermal characterization of coffee from Quindío region with different characteristics, using the photoacoustic technique is reported. A deep profile in the bean was made too for understanding better the heat conduction inside. For the effusivity and diffusivity measurements was used a close an open cell, respectively.

**Keywords:** thermal parameters, photoacoustic, coffee.

© 2009 Revista Colombiana de Física. Todos los derechos reservados.

---

### 1. Introducción

Las propiedades termofísicas influyen directamente en el diseño de cualquier proceso térmico ya que están involucradas en la transferencia de masa y de energía térmica, y tienen una estrecha relación con la estructura celular y química de los materiales. Normalmente se utilizan modelos basados en la composición básica de los materiales (alimentos, pro-

teínas, aceites, agua, etc.) para calcular indirectamente estas propiedades [1].

Desde hace unos veinte años, la técnica FA ha atraído considerable atención, llegando a ser hoy en día una herramienta muy importante para la investigación en el área de ciencias de materiales y usada extensamente en muchos otros aspectos de la ciencia y la tecnología [2]. En particular, con esta herramienta no destructiva, es posible estimar

de manera directa la difusividad térmica,  $\alpha$ , de materiales ópticamente opacos o transparentes, en estado sólido, líquido o gaseoso [3]. La difusividad térmica de un material, indica la razón a la que el calor se distribuye en un material. Dicha razón depende no solamente de la conductividad térmica del material, sino también de la razón a la cual puede almacenar la energía. Este parámetro de transporte térmico, único para cada material y por ende relacionado con su microestructura y composición química [4, 5, 6], es de especial interés para la optimización de procesos de almacenamiento, congelación y tostado de alimentos [7]. En el caso del café en almendra es obvia la importancia de conocer este parámetro físico, pues la calidad de la bebida depende de las condiciones en el tostado del grano. Por ello es necesario medir de manera eficiente la difusividad térmica, posiblemente relacionada con determinadas variables en las condiciones de cultivo, como tipo de suelo, piso térmico, variedad, etc., lo cual puede dar lugar a una clasificación del café para ser tostado bajo condiciones óptimas. Los resultados obtenidos en este trabajo permiten tener mayor conocimiento de las características físicas del café que se produce en la región del Quindío, y por lo tanto pueden llevar a mejorar los procesos de tostado y las posibilidades de exportación de café tostado certificado que tiene un valor agregado apreciable respecto al del café verde que se exporta comúnmente [8, 9].

## 2. Materiales, Métodos y Experimentación

Las muestras de café orgánico y convencional en cereza de variedad arábigo, fueron recolectadas de dos fincas ubicadas en el departamento del Quindío, a una altura geográfica de 1700 m sobre el nivel del mar. El café orgánico es producido sin ayuda de agentes químicos, este tipo de café tiene un valor comercial más alto y protege al ecosistema. Actualmente algunos productores del departamento del Quindío están comenzando a practicar este tipo de cultivo de café, razón por la cual la acreditación de este producto es valiosa en este momento.

Una vez recogidas las muestras de café en fruto se les hizo un proceso de beneficio húmedo convencional [10] que consistió en descerezado manual, desprendimiento de mucílago por fermentación durante 16 horas, lavado con agua, y secado al sol hasta alcanzar una humedad de aproximadamente 11%, la cual fue medida usando un medidor UNIMETER DIGITAL XL [11]. Con el objetivo de medir la difusividad y efusividad térmica de estas muestras, se les hizo un proceso de adelgazamiento hasta alcanzar espesores de capa de aproximadamente 600  $\mu\text{m}$ .

Para las medidas de difusividad y de efusividad térmica, se usó un haz de luz proveniente de un láser de Argón Modulaser; a una potencia de 10 mW la cual fue pulsada a través de un modulador acusto-óptico. Este haz de luz monocromática se conduce hasta la muestra; que para las medidas de difusividad es colocada en una celda FA abierta

[12], directamente encima del orificio del caparazón de un micrófono común de electro, sellando la unión herméticamente con ayuda de grasa, de tal manera que queda un pequeño espacio con aire entre la muestra y la membrana del micrófono. Cuando esta luz modulada es absorbida por la muestra, su superficie se calienta periódicamente y este calor se transporta a través de ella mediante el fenómeno de conducción, cuando el calor se propaga hasta el aire que hay entre la muestra y la membrana del micrófono, causa cambios de presión en esta región, lo cual es detectado como sonido por el micrófono. Para las medidas de efusividad térmica la luz pulsada se hizo incidir sobre la muestra unida a una lámina de plata (170  $\mu\text{m}$  de espesor) cuya efusividad es bien conocida. Este sistema se montó sobre una celda FA cerrada.

## 3. Resultados y Discusión

La difusividad térmica se obtuvo usando el modelo de Rosencwaig-Gersho para materiales ópticamente opacos y térmicamente gruesos [13, 14], donde la señal está dada por:

$$S = s_o(\omega) e^{j \left[ \frac{\pi}{2} - \arctan \left( \frac{\tan \left( \frac{f}{f_c} \right)}{\tanh \left( \frac{f}{f_c} \right)} \right) \right]} \quad (1)$$

Donde  $f_c$ , llamada frecuencia de corte, es la frecuencia para la cual la longitud de difusión térmica es igual al espesor de la muestra.

Para obtener la efusividad térmica se consideró este mismo modelo aplicado a un sistema de dos materiales de los cuales la efusividad térmica de uno de ellos es bien conocida. Para el sistema se tiene que la amplitud de la señal está dada por [15]:

$$\theta = \frac{\beta I_o}{k_o l_o \sigma_o^2} \left( \frac{1}{1 + b/l_o \sigma_o} \right) \quad (2)$$

Donde  $\sigma = (1 + j) \sqrt{\pi f / \alpha}$ .

Cuando se tiene solo el material de efusividad conocida, la amplitud es:

$$\theta_o = \frac{\beta I_o}{k_o l_o \sigma_o^2} \quad (3)$$

De tal forma que de la razón:

$$\frac{\theta}{\theta_o} = \frac{1}{1 + b/l_o \sigma_o} \quad (4)$$

se puede obtener por ajuste, *b*, el cual corresponde a la razón entre la efusividad del material y la del absorbedor.

Los resultados del ajuste de la razón entre las dos señales para muestras de capas del grano de café orgánico se pueden observar en la tabla No 1. La profundidad se midió desde el borde externo del grano. Como se puede ver en esta tabla hay diferencia entre los parámetros térmicos para las capas del grano de café exceptuando las dos capas más externas. Esto posiblemente está relacionado con la variación en la estructura celular que se presenta cuando se profundiza en el grano. De igual forma se observa una diferencia apreciable en los valores encontrados para las muestras provenientes de plantas de cafeto cultivado con técnicas “orgánicas” y convencionales, esta diferencia puede ser atribuida al contenido de químicos aplicados en este último caso a las plantas, en forma de fertilizantes, pesticidas, y herbicidas que se inoculan al fruto.

**Tabla No.1** Parámetros correspondientes a las muestras de café orgánico y convencional. Las medidas de difusividad y efusividad térmica fueron obtenidas del ajuste de las curvas de intensidad de la señal fotoacústica, mientras que la conductividad térmica y el calor específico fueron calculados.

Variable		Difusividad térmica [cm <sup>2</sup> /s]	Efusividad Térmica [Ws <sup>1/2</sup> cm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ]	Conductividad Térmica [W cm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	Capacidad calorífica [J cm <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup> ]
Profundidad (µm) ±1 µm	0	0,00152±0.00002	0,094±0,007	0,0037±0.0003	2,4±0.2
	200	0,00152±0.00002	0,26±0.003	0,0101±0.0001	6,67±0.09
	400	0,00184±0.00002	0,207±0.005	0,0089±0.0002	4,8±0.1
	600	0,0013±0.00007	0,197±0.006	0,0071±0.0003	5,5±0.2
Cultivo	tradicional	0,00138±0.00002	0,061±0.002	0,00226±0.00008	1,64±0.06
	Orgánico	0,00108±0.00002	0,067±0.001	0,00220±0.00004	2,04±0.04

### Conclusiones

Se pudo hacer una caracterización térmica de una muestra particular de café a través de un perfil de profundidad. Los resultados muestran que en la simulación y modelaje del proceso de tostado se debe tener en cuenta que los parámetros; difusividad, efusividad, conductividad y calor específico cambian apreciablemente cuando se profundiza en el grano.

### Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad del Quindío por su apoyo económico a través del proyecto de investigación 365. Y al Ingeniero Alberto Zuluaga por proporcionarnos las muestras de café para el presente estudio.

### Referencias

[1] Joseph Irudayaraj, Food processing operations Modeling desing and analysis, New York, 2001.  
 [2] N. Alonso Vante, Electroquímica y electrocatalisis. Técnicas de investigación aplicada a sistemas electroquímicos in situ y ex situ, El Cid Editor, 175-193 (2005).  
 [3] H. Vargas, L.C.M. Miranda. In Photoacoustic and Thermal wave phenomena in Semiconductors, Elsevier, New York, (1987).

[4] D. Bicanic, C. Neamtu, M. Manojlović, D. van der Linden, D. Dadarlat, K. Posavec, A. Gijsbertsen, and Ž. Kurtanjekf. Acta Chim. Slov., 51, 39–46 (2004).  
 [5] S.O. Ferreira, C. Ying, I.N. Bandeira, L.C.M. Miranda, H. Vargas. Phys. Rev. B, 39,11,1967-7970(1998).  
 [6] G. Ziegler, D.P.H. Hasselman. J. Mater. Sci, 16, 495(1981).  
 [7] O. Ochoa, A. Amézquita, F. Chejne. Red Dyna, 1-18 (2006). <http://site.ebrary.com/lib/bibliouquindiosp/Doc?id=10125684&ppg=3>  
 [8] Yilmaz Murat. Development 49, 40–44(2006).  
 [9] Ospina Salazar Orlando, Duque Orrego Hernan, Farfán Valencia Fernando, Cenicafé, 54 (3), 197-207(2003).  
 [10] G. I Puerta., Cenicafé, 51(1), 5 (2000).  
 [11] J.J Castaño., M. Torres L., Cenicafé, 50(4), 259 (1999).  
 [12] J.A. Balderas, A. J. Mandelis Appl. Phys. 90 (5), 2273 (2001).  
 [13] A. Rosencwaig and A. Gersho. J. Appl. Phys. 47, 64 (1976).  
 [14] M.V. Marquezini, N. Cella, A. Mansanares M., H. Vargas y L.C.M. Miranda. Meas. Sci. Technol. 2, 396 (1991).  
 [15] L. Veleva, S.A. Tomás, E. Marín, A. Cruz, I. Delgadillo, J.J. Alvarado, P. Quintana, R. Pomés, F. Sanchez, H. Vargas, L.C.M. Miranda. Corrosion Science, 39,9, 1641-1655 (1997).