

## **Determinación de propiedades termofísicas en diferentes mieles de abeja recolectadas en el Estado de Puebla**

### **Determination of thermophysical properties in different honey bee collected in the State of Puebla**

Martin Lazcano Hernández<sup>1</sup>, Oscar Portillo Moreno<sup>2</sup>, Daniel Santiago Pereira<sup>3</sup> e Ana Laura Ronquillo Téllez<sup>4</sup>

**RESUMEN** - Se investigaron mieles de origen líquido multifloral y semicristalizada, unifloral de flor de *Acahual* (*Tithonia tubaeformis*) con características similares de fluidez. Las mieles se trataron a diferentes temperaturas en el intervalo de 3-68°C. Se cuantificó la actividad del agua ( $A_w$ ) en función de la temperatura, así como la conductividad térmica (CT), difusividad térmica (DT) y Resistividad térmica (RT). Los cambios de CT, DT y RT en la miel líquida para  $T < 40^\circ\text{C}$   $A_w = 0.52$ , CT = 1.41, RT=1.9, DT=0.14; la miel semicristalizada  $A_w = 0.52$ , CT= 0.62, DT = 1.2, RT = 0.19. Utilizando el modelo de Arrhenius se describe el cambio de temperatura de transición de 44.4°C, para la miel semicristalizada y para la líquida Tecamachalco (46.4°C) y líquida de Puebla (30.9°C) y energías de activación más altas.

**Palabras clave:** Energía de activación, conductividad térmica, difusividad térmica, Ecuación de Arrhenius.

**ABSTRACT** - We investigated the source liquid honey and semicristalizada, unifloral and Multifloral, unifloral (*Tithonia tubaeformis*) with flow similar characteristics. The honeys were treated at different temperatures in the range of 3-68 ° C. Was quantified water activity ( $A_w$ ) depending on temperature as well as thermal conductivity (TC), thermal diffusivity (DT) and thermal resistivity (RT). The changes in CT, DT and RT in liquid honey for  $T < 40^\circ\text{C}$  we show the following information  $A_w = 0.52$ , CT = 1.41, RT= 1.9, DT= 0.14; in honey semicristalizada  $A_w = 0.52$ , CT = 0.62, RT= 1.2, DT = 0.19. Using the Arrhenius model describes the change of transition temperature of 44.4 ° C, for honey semicristalizada and for the honey liquid the Tecamachalco (46.4 ° C) the liquid the Puebla (30.9 ° C) and higher activation energies.

Key words: Activation energy, Thermal conductivity, thermal diffusivity, Arrhenius equation

## **INTRODUCCIÓN**

La ley de difusión de Fick, establece que el flujo de difusión de calor es proporcional al gradiente de concentración. El cálculo de los valores de la CT, RT y DT se realizó monitoreando la disipación del calor de una

fuente con voltaje conocido. La ecuación para la parte radial de conducción de calor en un material homogéneo e isotrópico está dado por la ecuación de difusión (FONTANA et. al., 2001).

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D \left[ \frac{\partial^2 (r^2 T)}{\partial r^2} \right]$$

La solución de la ecuación diferencial parcial de segundo orden es

$$T - T_0 = \left( \frac{q}{4\pi k} \right) E_i \left( -\frac{r^2}{4Dt} \right)$$

Donde,  $q$  es el calor producido por unidad de longitud por unidad de tiempo,  $k$  es la conductividad térmica del medio,  $E_i$  esta dado por la integral

$$-E_i(-a) = \int_a^\infty \frac{e^{-u}}{u} du$$

Recebido em 10 02 2012 e aceito em 30 11 2012<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Administradora. Especialista em Gestão de Pessoas. E-mail: louizyene@hotmail.com

<sup>2</sup>Administrador. Mestrando em Sistemas Agroindustriais. E-mail: wellingtonabcd@gmail.com

<sup>3</sup>Geógrafo. Mestrando em Sistemas Agroindustriais. E-mail: juciesalmeida@gmail.com

<sup>4</sup>Agrônomo Mestrando em Sistemas Agroindustriais. E-mail: jsousaagrono@hotmail.com

<sup>5</sup>Conrtador Mestrando em Sistemas Agroindustriais. E-mail: reginaldo.tacio@bol.com.br

$$-E_i(-a) = -\gamma - \ln\left(-\frac{r^2}{4DT}\right) + \frac{r^2}{4DT} - \left(-\frac{r^2}{8DT}\right)^2 + \dots,$$

Donde  $a = \frac{r^2}{4DT}$ ,  $\gamma$  la constante de Euler (0.5772.....)(ARFKEN AND WEBER,2001). Considerando la aproximación en serie para temperatura  $T$  grande, los términos de mayor orden son ignorados, combinando las ecuaciones la solución de la ecuación diferencial parcial se reduce a (FONTANA et. al., 2001):

$$T - T_o \cong \frac{q}{4\pi k} \left[ -\gamma - \ln\left(-\frac{r^2}{4DT}\right) \right]$$

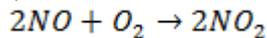
Esta expresión relaciona la CT con la temperatura de manera lineal con pendiente  $m = \frac{q}{4\pi k}$ , por lo tanto  $k = \frac{q}{4\pi m}$ , donde  $q$  es conocida y es registrada por el equipo. La DT se obtiene mediante la intersección con el eje de la temperatura  $T$  para  $T - T_o = 0$ ,

$$\ln T_o = \gamma + \ln\left(\frac{r^2}{4D}\right)$$

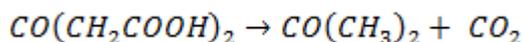
Para la  $T_o$  calculada (de la intersección  $T - T_o$  contra  $\ln T$  y para un valor finito de  $r$ , se obtiene la DT. Los términos de orden mayor a dos que son ignorados, y la expresión no es exacta. Sin embargo la pendiente que intercepte  $T - T_o$  contra  $\ln T$ , para  $T$  grande, es posible obtener los valores correctos de  $k$  y DT. Para verificar estas relaciones, los valores reportados de  $k$  y DT variando los valores de la capacidad calorífica se muestra que la relación es lineal de acuerdo al modelo teóricos y los valores experimentales así obtenidos son válidos.

### Efecto de la temperatura en la velocidad de reacción.

El incremento de la temperatura involucra otro parámetro muy importante en la velocidad de reacción y de aquí la constantes de velocidad. La única excepción conocida a esta regla lo constituye la siguiente reacción (MARON AND PRUTON, 2006).



Que presenta un coeficiente negativo pequeño de temperatura, el rápido cambio en la velocidad de reacción se observa en fase gaseosa o líquida. En la descomposición de segundo orden del acetaldehído en fase gaseosa un incremento de temperatura de 162°C ocasiona un incremento de 450 veces la constante de velocidad. Por otro lado, la descomposición del ácido acetondicarboxílico es de primer orden,



Se efectúa en solución acuosa, el incremento de la constante es de 2,200 en un cambio de 60°C. En esta reacción se encuentran también los periodos de tiempo medio a diversas temperaturas. Estas muestran un enorme intervalo de variación comprendido entre 28,200 y 12 segundos en el cambio de temperatura de 0°-60°C.

Arrhenius fue el primero en señalar que la variación de las constantes de velocidad con la temperatura  $T$  se representa mediante una ecuación diferencial análoga a la usada en las constantes de equilibrio, es decir (MOORE, 1972).

$$\frac{d \ln k}{dT} = \frac{E_a}{RT^2}$$

Donde  $k$  es la constante de velocidad de la reacción,  $T$  la temperatura absoluta,  $R$  la constante de los gases y  $E_a$  la energía de activación, cantidad característica de la reacción con dimensiones de energía. Desempeña un papel muy importante en cinética química. Su significado se muestra a continuación. Integrando la ecuación diferencial de Arrhenius

$$\int d(\ln k) = \frac{E_a}{R} \int \frac{dT}{T^2}$$

$\ln k = -\frac{E_a}{RT}$  Expresando en logaritmos base 10 o de Bragg

$\log k = -\frac{E_a}{2.30 R} \left(\frac{1}{T}\right) + C'$   $C'$  es constante. Aplicando las condiciones iniciales

$$k = k_1 \text{ para } T = T_1 \text{ y } k = k_2 \text{ para } T = T_2$$

$$\log \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.30 R} \left( \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right)$$

De esta expresión es posible calcular la pendiente de la recta dada por

$$m = \frac{E_a}{2.30 R}$$

De esta manera la energía de activación es cuantificada. Calentar o enfriar los alimentos es una aplicación en la investigación de los procesos térmicos relacionados con transferencia de calor (ALI HOBANI et. al., 2003). Las propiedades térmicas de los alimentos se relacionan directamente con las características eléctricas.

Por ejemplo la conductividad y resistividad, son parámetros asociados con la pérdida o absorción de calor, estas propiedades son de interés en el proceso de conservación y almacenamiento de alimentos y de importancia para aplicar diversos modelos en el calentamiento utilizando diversos equipos.

Las más importantes propiedades térmicas de los alimentos a investigarse son: Conductividad Térmica, Difusividad Térmica y Resistividad térmica, la definición de estas propiedades son: **Conductividad Térmica (CT)**, es la relación de la densidad de flujo de calor en el gradiente de temperatura. **Difusividad Térmica (DT)**, es la relación de la conductividad térmica para el calor específico, una medida de la facilidad de un material para transmitir un cambio térmico. **Resistividad Térmica (RT)**, es el recíproco de la conductividad térmica. La importancia de la CT es para predecir el control del flujo de calor en los alimentos durante el proceso realizado como enfriamiento, esterilización, pasteurización, etcétera (OCHOA et al., 2006).

La miel de abejas es un producto natural de valor nutricional alimenticio y agrícola, por mencionar los más comunes: polen, propóleos, cera, jaleas reales y aceptadas por el consumidor así como los productos transformados en diferentes formas farmacéuticas y alimenticias. Las abejas procesan materiales recolectados de la naturaleza para producir miel del néctar, así como polen apícola de los estambres florales y propóleo de las resinas vegetales. En los tratados de apicultura la miel es una fuente energética para las abejas y almacenan reservas alimenticias como mezcla con polen y jalea real. El valor nutricional de la miel se encuentra en los azúcares reductores, glucosa y levulosa son compuestos en porcentajes elevados y es posible comparar su poder edulcorante mayor a la sacarosa, posee proteínas, sales minerales, ácidos orgánicos, vitaminas, nutrientes inorgánicos y enzimas para evaluar la calidad como la diastasa, es una fuente de azúcares con sustancias biológicamente activas. Es importante conocer las propiedades de la miel relacionadas con la estabilidad durante el almacenamiento y procesamiento térmico, como humedad, actividad de agua ( $A_w$ ), resistividad térmica (DT), difusividad térmica (DT) conductividad térmica (CT), en base a las temperaturas de transición de fase cristalina. El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de la temperatura en la actividad de agua, CT, DT y RT así como reconocer diferencias entre miel líquida y semicristalizada obtenidas de apiarios en el estado de Puebla, México.

## MATERIALES Y METODOS

La miel se obtuvo de apiarios de los Municipios de Tecamachalco ( $n=30$ ) y Puebla ( $n=60$ ) en el periodo Otoño-Invierno, de origen floral diferente así como estado físico; dos mieles líquidas Multifloral y una miel semicristalizada Unifloral (flor de *Tithonia tubaeformis*) con fluidez similar.

Las mieles se trataron térmicamente en el intervalo 3-68°C con una estufa (Shelab) para determinar la actividad de agua ( $A_w$ ), utilizando un equipo Novasina (Set-H) sensible al cambio en humedad relativa de equilibrio (HRE) alrededor de la muestra, no directamente al contenido de humedad (Isotermas de sorción de vapor de agua proporciona la correlación entre ERH y contenido de humedad).

El equipo tiene integrado un algoritmo, denominado "factor de estabilidad", que es un período de tiempo durante el cual los resultados sólo se cambian por un valor mínimo (menor de  $0.001 A_w$  y  $0,1^\circ\text{C}$ ) para ser aceptado como estable. El período para la medición se fija en el equipo en 1-2 min en condiciones ambientales del laboratorio. Los resultados experimentales se expresan con tres decimales, la incertidumbre de detección es de  $\pm 0.003$  del equipo, las mediciones se repitieron 6 veces, los resultados son expresados como un promedio de incertidumbre de  $\pm 0.08$  en temperatura y  $A_w$ .

Se cuantificaron a las muestras; conductividad (CT), difusividad (DT) y resistividad térmica (RT) con un analizador de propiedades térmicas KD2 (Dispositivos Decágon Inc., Pullman, WA, USA), calibrado con glicerina. El KD2 utiliza una fuente de calor por medio de una aguja, con un sensor de 60 mm de longitud, 0,9 mm de diámetro y contiene un elemento de calefacción y un termistor. El módulo de control contiene una batería, un microcontrolador convertidor AD y los circuitos de control de potencia. En el inicio de la medición, el microcontrolador espera 90 segundos para obtener estabilidad en la temperatura y luego se aplica corriente constante por 30 seg. a un calentador de la sonda tiene integrada una resistencia de precisión conocida.

El fundamento de cómo funciona el equipo se basa en que algún alimento está envasado en un recipiente posee una figura geométrica sencilla: cilindro, paralelepípedo, esfera, la simulación se realiza mediante la solución de la ecuación diferencial parcial de difusión de calor por un método numérico. El paso siguiente es emplear esta simulación en el sistema de control del equipo en el que se produce el tratamiento térmico. La solución de la ecuación diferencial parcial de transmisión de calor por conducción exige el conocimiento de la DT de la muestra. Del equipo de control utilizado, la temperatura es cuantificada en el centro térmico del alimento y del recipiente donde se produce el tratamiento térmico, de estos datos establece la curva de calor, elige la rama descendente, calcula la pendiente y DT del alimento. Conocida la DT, se simula el resto del calentamiento y el enfriamiento posterior del alimento a partir de ahí se toma la decisión de detener la calefacción en el momento en que el tratamiento total previsto ha alcanzado la intensidad prefijada, es decir; se detiene el proceso cuando la suma del tratamiento dado junto con el que se recibirá durante el enfriamiento alcanza el valor previsto.

El microprocesador calcula la potencia suministrada al calentador. La sonda de termistor mide el cambio de

temperatura durante 30 seg, mientras se generan los datos del microprocesador. Al final de la lectura el controlador cuantifica la CT y DT utilizando el cambio de temperatura ( $\Delta T$ ) frente a los datos de tiempo. La RT se calcula en el inverso de la CT. Finalmente los datos obtenidos de miel líquida (Tecamachalco y Puebla) y semicristalizada (Puebla) son agrupados y graficados.

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

El fundamento del equipo de  $A_w$  utilizado se basa en que el agua se fija a la glucosa en la miel esta es liberada durante el proceso de cristalización. La actividad del agua en las mieles de mielada van de 0,483 hasta 0,591, y en las mieles de flores la actividad del agua esta en rango de 0,479 a 0,557. Al cambiar el estado físico de cristal a líquido se considera influyente la actividad del agua para la miel. La diferencia en la actividad del agua entre las mieles licuadas y cristalizadas es mayor en las mieles de flores que en mieles de mielada. Teniendo en cuenta que la glucosa es menos soluble en agua que la fructosa, la glucosa es la principal causa para la cristalización de la miel. En la miel líquida los cinco grupos de ( $-OH$ ) de glucosa interactúan con las moléculas de agua, al cristalizarse conforma un capa monohidratada y otro tipo las moléculas de agua son puestos en libertad. Durante la cristalización disminuye la concentración de soluto en la fase líquida y por lo tanto, aumenta la actividad del agua. Muestras cristalizadas muestran una actividad de agua mayor en comparación con el valor correspondiente para las mismas mieles después de la licuefacción (ABRAMOVIC et al, 2008; GLEITER et al, 2006).

Mieles griegas reportadas por Lazaridou (2004) después de haber sido disueltas con temperatura ( $50^\circ C$ ) establece un rango  $A_w$  (0.528-0.663) con un contenido de humedad de 13 a 18.9 %, mientras que Zamora refiere  $A_w$  (0.50-0.65) teniendo una miel aún soluble a una temperatura de  $25^\circ C$  por lo que deberá considerar los moles de glucosa y fructosa en el agua contenida que posea (103.3 g. glucosa/100 g. agua y 222-295 g. fructosa /100 g. agua), reporta  $A_w$  para mieles líquidas (0.562 $\pm$ 0.041) y

cristalizadas (0.589  $\pm$  0.038) por lo que presentan cambios significativos de cristalización por una sobresaturación de glucosa hasta llegar a una solución en equilibrio. Establecen un sistema modelo de  $A_w$  con la concentración de solutos de mieles para diferentes países, variando los valores para Arabia Saudita 0.553 a 0.594  $\pm$  0.041, USA 0.566 a 0.635  $\pm$  0.069 y España 0.640 a 0.675  $\pm$  0.035 al establecer el momento de cristalización en glucosa, por lo que es difícil su predicción (LAZARIDOU et al, 2004; ZAMORA Y CHIRIFE, 2006).

La Figura 01 muestra el gráfico en la que ilustra el comportamiento de la  $A_w$  para diferentes temperaturas de tratamiento térmico, en las mieles líquidas y la semicristalizada muestran  $A_w = 0.61$ , a temperatura baja temperatura, existe alta cantidad de agua libre al aumentar gradualmente la  $T$  en el intervalo  $3^\circ C < T < 30^\circ C$ , el comportamiento de las mieles tiende a disminuir  $A_w$ , por deshidratación por pérdida de agua libre en las mieles, para  $T$  de  $30-40^\circ C$  se aprecia que son adecuadas para el almacenamiento y de condiciones de manejo, envasado y comercialización. La  $A_w$  es baja y el riesgo de consumo, alteraciones químicas o microbiológicas es mínimo. En el intervalo  $42^\circ C < T < 68^\circ C$  la  $A_w$  se establece riego mayor al presentar cambio de estado por licuación en diferentes conformaciones de glucosa y fructosa completamente monohidratados, formando solución de una sola fase líquida, esto hace que aumente la  $A_w$  y se resulte ser peligrosa para el consumo. En  $T \sim 54^\circ C$  y  $A_w = 0.52$ , estableciendo los parámetros mencionados como un parámetros críticos de manejo, para  $> 55^\circ C$  implican el manejo de  $A_w$  la miel fermentaría. A través del gráfico se establece intervalo de las mieles:  $A_w = 0.54-0.51$  y  $T = 4 - 25^\circ C$  en almacenamiento y Humedad Relativa de Equilibrio del 40%. El comportamiento de la miel semicristalizada en  $A_w$  es más bajo que las mieles líquidas, excepto en  $30^\circ < T < 70^\circ C$ .

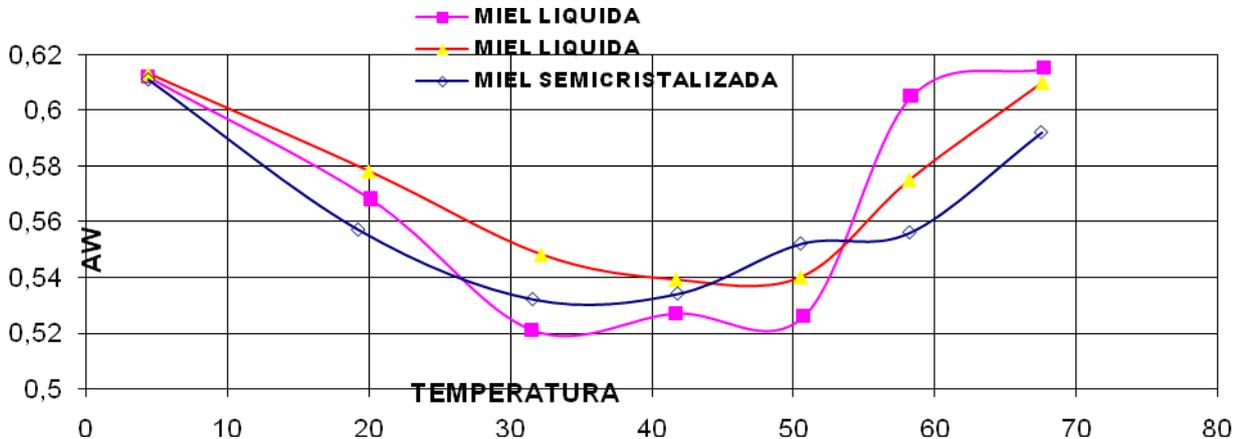


Fig. 01. Gráfico de Actividad de agua ( $A_w$ ) en función de la temperatura de tratamiento  $T$  de tres mieles.

La Figura 02 muestra un gráfico de CT en función de la temperatura de tratamiento  $T$ , para las mieles en el intervalo  $0^{\circ}\text{C} < T < 30^{\circ}\text{C}$ . La CT de las muestras, se aprecia cambio poco significativo en CT, sin embargo para el intervalo  $30^{\circ}\text{C} < T < 50^{\circ}\text{C}$  presenta un cambio drástico para las tres muestras apreciándose un comportamiento lineal para  $45^{\circ}\text{C} < T < 55^{\circ}\text{C}$  la CT

de la miel líquida Tecamachalco y Puebla es  $1.41\text{W/mc}$  y la semicristalizada  $0.62\text{W/mc}$ , son diferentes a  $T < 40^{\circ}\text{C}$  estable en  $42.5^{\circ}\text{C}$ , lo que indica que la fluidez comienza a cambiar debido a la que la miel se comporta como una solución semiplástica en esa temperatura de tratamiento.

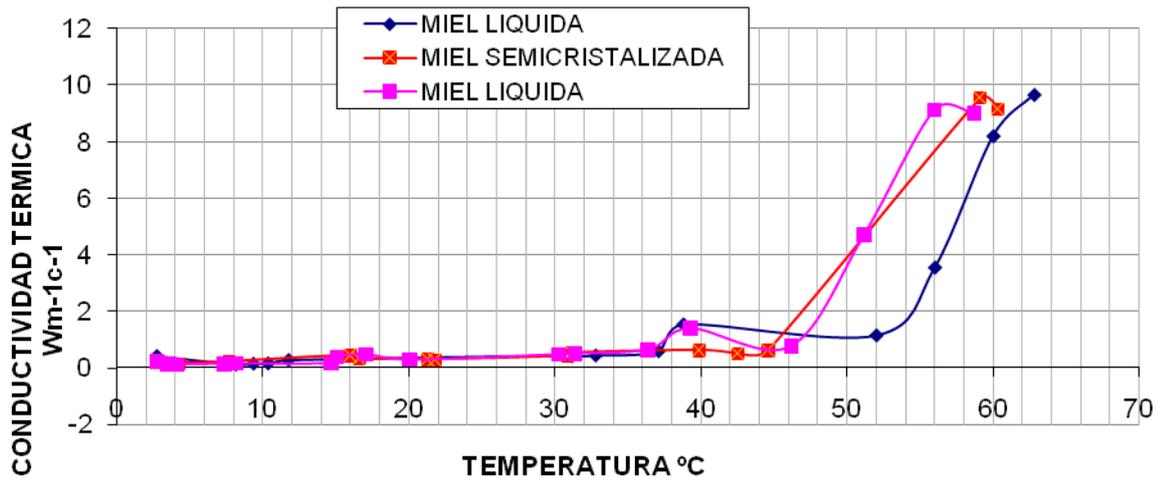


Figura 02. Gráfica de conductividad térmica (CT) para las tres mieles diferentes.

La figura 03 Muestra el gráfico de RT en función de la temperatura. Presenta un intervalo de incremento a  $T < 4.2^{\circ}\text{C}$  con disminución tendiendo a cero. La miel

semicristalizada demuestra una resistividad mayor que la líquida, debido al estado de cristalización y su forma de glucosa monohidratada, para la miel líquida la glucosa se encuentra en forma de solución saturada mayormente hidratada.

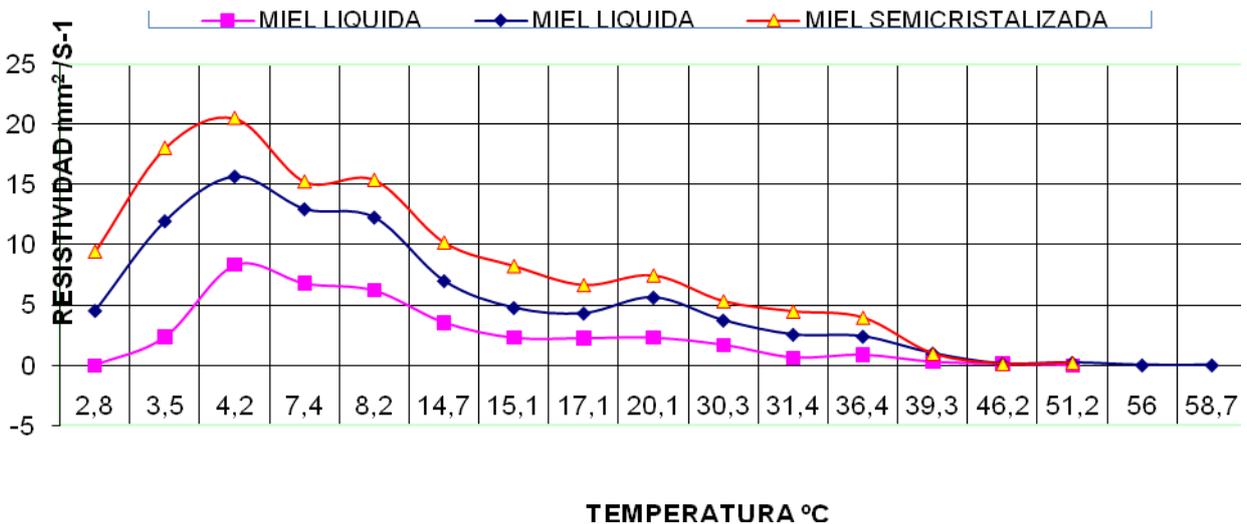


Figura 03. Gráfica de resistividad térmica (RT) para las tres mieles diferentes.

La figura 04 Muestra el gráfico de DT en función de la temperatura para las tres mieles. Para el intervalo temperatura  $0^{\circ}\text{C} < T < 45^{\circ}\text{C}$  permanece constante y en  $0^{\circ}\text{C} < T < 30^{\circ}\text{C}$  presenta drástico incremento, la

sensibilidad del equipo para la determinación se tiende a cero a temperaturas mayor a  $50^{\circ}\text{C}$ , para  $T > 55^{\circ}\text{C}$  los valores para un alimento no existe, por lo que debe ignorarse. La DT en la miel muestra información de disipación en transmisión de calor, para este caso que es

una solución saturada de azúcares en forma de mezcla, principalmente glucosa, fructosa y sacarosa. A temperatura mayor de 50 ° C, la miel semicristalizada a diferencia de las otras dos presenta un cambio de fase de

semisólido a sólido denso y dos muestras se tornan más líquidas y fluidas.

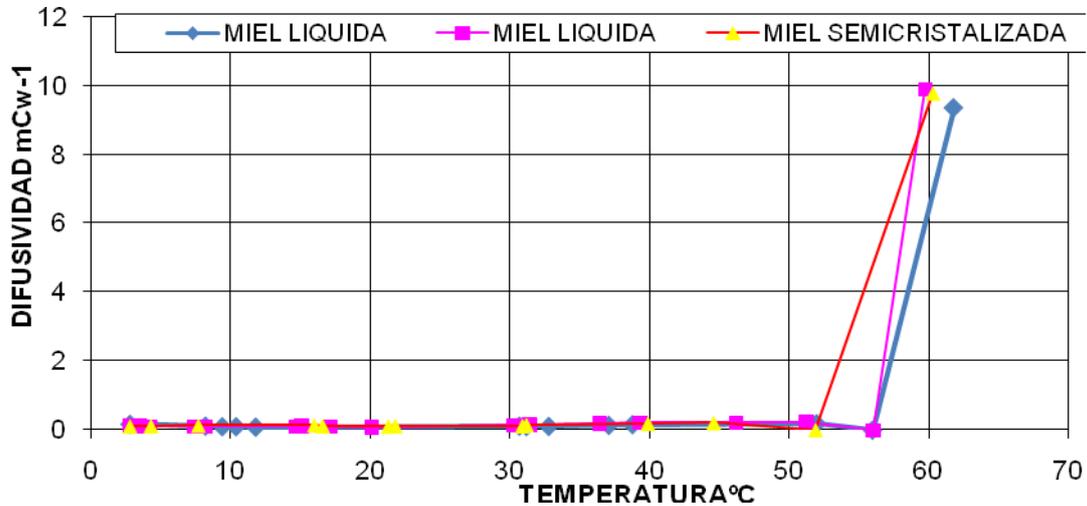


Figura04. Grafica de difusividad térmica (DT) para las tres mieles diferentes.

Para un material semiconductor se utiliza un modelo teórico para investigar la conductividad en función de la temperatura, se ha investigado el mecanismo de la conductividad en lo oscuro en materiales en formato de película delgada: CdSe, CdS, PbS dopado con tierras raras y moléculas orgánicas, se ha reportado cambios importantes en la conductividad que se relaciona directamente con el volumen de dopante (MOORE, 1972; TOMAS et. al., 2008; DÁVILA PINTLE et. al., 2007). La relación de la conductividad  $\sigma$  y la temperatura  $T$  esta dada por la ecuación

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{E_a}{kT}}$$

Donde  $E_a$  es la energía de activación,  $k$  la constante Boltzmann y  $T$  la temperatura. En el gráfico de la figura 03 se aprecia el comportamiento de la conductividad  $\log \sigma$  para las tres mieles investigadas en este trabajo se aprecia varios máximos relativos en cada muestra.

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{E_a}{kT}}$$

Tomando logaritmos base  $e$

$$\ln \sigma = \ln \left( \sigma_0 e^{-\frac{E_a}{kT}} \right)$$

$$\ln \sigma = \ln \sigma_0 - \frac{E_a}{kT}$$

Además los resultados se analizaron con el modelo de Arrhenius.

$$k = A e^{-\frac{E}{RT}}$$

Donde  $A$  es una constante,  $R$  la constante universal de los gases y  $T$  la temperatura. La  $A_w$  se define como el cociente  $A_w = \frac{P_a}{P_v}$  donde  $P_a$  es la presión de vapor del alimento a  $T$  y  $P_v$  la presión de vapor del agua pura a  $T$ . Al relacionar la  $A_w$  con  $CT$ ,  $A_w$  es la cantidad de agua disponible en la miel ( $A_w = 0.5743 \pm 0.058$ ) y es relacionada con la  $CT$  con valores:  $a = 0.0118 \pm 0.023 \frac{cm^2}{seg}$ , en el gráfico de la Figura 05 se aprecia comportamiento oscilatorio con la temperatura, en el intervalo  $30^\circ C < T < 50^\circ C$  permanece casi constante.

En el Gráfico de la figura 5 se observa que la ecuación de Arrhenius se ajusta adecuadamente ( $R^2 > 0.820$ ) el efecto de la temperatura en la  $k$  de las mieles analizadas. En el gráfico de Arrhenius ( $\log k$  vs  $1/T$ ) se observan dos líneas rectas con pendiente diferente, lo que indica probablemente un cambio de una estructura organizada a otra menos organizada (TOMAS et. al., 2008; DÁVILA PINTLE et. al., 2007; PORTILLO MORENO et. al., 2010).

Dicho cambio de pendiente se presentó entre 30 y 47°C, La tabla 01 muestran datos corregidos para el intervalo de temperatura 38-58°C se aprecia datos estables. La anterior relación permite determinar que las mieles presentan dos diferentes energías de activación y una temperatura de transición, determinada por su estado y

una vez más, la miel semicristalizada presenta mínimas  $E_a$  y una temperatura de Transición de 44.4°C.

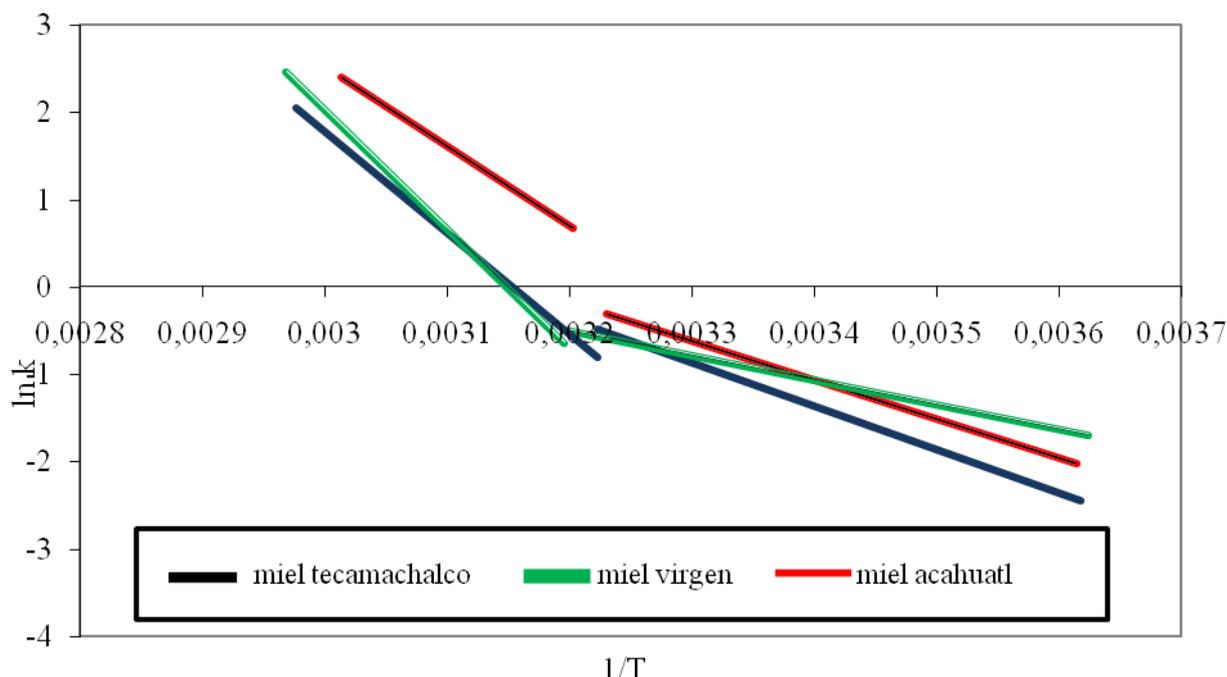


Figura 05. Gráfico de  $\log k$  contra  $\frac{1}{kT}$  con datos corregidos utilizando el modelo de Arrhenius.

El mecanismo de conductividad en la miel se deja como un trabajo abierto para el futuro, sin embargo el comportamiento muestra que el modelo de Arrhenius es aplicable en el intervalo de temperatura utilizado en este

MUESTRAS	$E_a$ (cal/mol)	$T_t$ (° C)	$E_a$ (cal/mol)
Miel líquida Tecamachalco	9926.2	46.4	22966
Miel líquida Puebla	8811.6	30.9	18207.1
Miel Semicristalizada. Puebla	5589.0	44.4	27333.9

trabajo.

Tabla 01. Energía de Activación y temperaturas de transición de miel de abeja.

### CONCLUSIONES

Los valores experimentales de actividad de agua, resistividad, difusividad y conductividad en miel de abeja en el intervalo 3-62°C son investigados. Los cambios de  $CT$ ,  $DT$  Y  $RT$  en la miel líquida para  $T < 40^\circ C$   $A_w=0.52$ ,  $CT = 1.41$ ,  $RT=1.9$ ,  $DT=0.14$ ; la miel semicristalizada  $A_w=0.52$ ,  $CT= 0.62$ ,  $DT = 1.2$ ,  $RT = 0.19$ .

La conductividad, resistividad y difusividad para la miel de semicristalizada de *Acahual*

(*Tithoniatubeaformis*), presenta valores que muestran comportamiento diferente a las otras muestras. El modelo de Arrhenius describe un cambio de temperatura de transición de 44.4°C para la miel semicristalizada y para la líquida Tecamachalco (46.4°C) y líquida de Puebla (30.9°C) y energías de activación más altas. En este trabajo no se presenta el mecanismo de conductividad.

### REFERENCIAS.

SHYAM S. SABLANY, M. SHAFIUR RAHMAN. Using neural networks to predict thermal conductivity of foods as a function of moisture, content, temperature, and apparent porosity. Food Research International. 2003. Vol. 36, Pag. 617-623.

OCHOA OSCAR, AMASQUITA ALEJANDRO, FARID CHEJNE. Propiedades termofísicas de la carne. Rev. Dyna. 2006. Vol. 73, No. 148, Pag. 103-118.

ANTHONY J. FONTANA, BRYAN WACKER, COLIN S. CAMPBELL, AND GAYLON S. CAMPBELL. The simultaneous measurements of thermal conductivity, thermal diffusivity, and perfusion in small volume of tissue. Decagon Devices, Inc. 950 NE Nelson Court, Pullman Washington 99163, Written for presentation at the 2001 ASAE Annual International Meeting Sponsored by ASAE Sacramento Convention Center Sacramento, California, USA. 2001. July 30-August 1.

- GEORGE ARFKEN AND HANS J. WEBER. *Mathematical Methods for physics*. Forth editions, Academic Press (eds.). 1995.
- SAMUEL H. MARON, CARL F. PRUTON. *Fundamentos de Fisicoquímica*. Limusa Noriega (eds.). 2007. Cap. 14.
- WALTER J. MOORE. *Physical Chemistry*. Prentice Hall Inc. (eds.). Englewood Cliffs, New Jersey. 1972.
- ATHINA LAZARIDOU, COSTAS G. BILIADERIS, NICOLAOS BACANDRITSOS, ANNA GLORIA SABATINI. *Composition, thermal and rheological behavior of selected Greek honeys*. *Journal of Food Engineering*. 2004. Vol. 64, Pag. 9–21.
- ZAMORA, M. C., CHIRIFE, J., Y D. ROLDÁN. *On the nature of the relationship between water activity and % moisture in honey*. *Food Control*. 2006. Vol. 17, N° 8, pag. 642-647.
- HELENA ABRAMOVIC, MOJCA JAMNIK, LINA BURKAN, MILICA KAC. *Water activity and water content in Slovenian honeys*. *Food Control*. 2008, Vol. 19 Pag. 1086–1090.
- GLEITER, R. A., HORN, H. AND ISENGARD, H. D. *Influence of type and state of crystallisation on the water activity of honey*. *Food Chemistry*. 2006. Vol. 96, N° 3, Pag. 441-445.
- ZAMORA MARIA CLARA AND CHIRIFE JORGE. *Determination of water activity change due to crystallization in honeys from Argentina*. *Journal Food Control*. 2006. Vol. 17, Pag. 59-64.
- LÓPEZ FLORES R. B., FLORES MENA J. E., OSCAR PORTILLO MORENO, *Caracterización eléctrica de películas delgadas de CdSe dopadas con Er<sup>3+</sup>*. *Nanociencia et. Moletrónica*. 2009. Vol. 7, Pag. 1343-1352.
- TOMAS S. A., LOZADA MORALES R., PORTILLO MORENO O., LIMA LIMA H., PALOMINO MERINO R., ZELAYA ÁNGEL O. *Characterization of chemical bath deposited CdS thin films doped with methylene blue and Er<sup>3+</sup>*. *Eur. Phys. J. Special Topics*. 2008. Vol. 153, Pag. 299-302.
- DÁVILA PINTLEJ. A., LOZADA MORALES R., PALOMINO MERINO R., RIVERA MÁRQUEZ J. A., PORTILLO MORENO O., ZELAYA ÁNGELO. *Electrical properties of Er-doped CdS thin films*. *J. of Appl. Phys.* 2007. Vol. 101- 013712.
- PORTILLO MORENO O., CERVANTES TAVERA A. M., ROSAS CASTILLAS, A. A. BARCA ÁVILA G., ZAMORA TOTOTZINTLE M., MARTÍNEZ JUÁREZ J., LOZADA MORALES R., HERNÁNDEZ TECORRALCO J., ZELAYA ÁNGELO. *PbS films doped with Er<sup>3+</sup>, obtained by technique by chemical bath*. *Revista enlace Químico*. 2010. Vol. 2, Pag. 1-11