

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**Departamento Académico de Ciencia, Tecnología e Ingeniería de Alimentos**



**"DETERMINACIÓN DE LA DIFUSIVIDAD TÉRMICA EN MIEL DE ABEJA SILVESTRE (*Apis mellifera* L.) EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA"**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**Presentado por:**

**LUIS MÁXIMO RUIZ VELA**

**PROMOCIÓN 2011 – II**

**Tingo María – Perú**

**2013**



**Q04**

**R94**

**Ruiz Vela, Luis Máximo**

Determinación de la difusividad térmica en miel de abeja silvestre (*Apis mellifera* L.) en función de la temperatura. Tingo María 2013

72 páginas; 22 cuadros; 19 figuras.; 63 ref.; 30 cm.

Tesis (Ingeniero en Industrias Alimentarias) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias.

1. APIS MELLIFERA L.
2. ABEJA
3. TEMPERATURA
4. DIFUSIVIDAD TÉRMICA
5. FÍSICO QUÍMICA
6. MIEL



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**Tingo María**  
**FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**  
Av. Universitaria s/n. Teléfono (062) 561385 – Fax (062) 561156  
Apart. Postal 156 Tingo María E.mail; fia@unas.edu.pe

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en acto público el 22 de julio de 2013, a horas 10:00 a.m. en la Sala de Grados de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en la ciudad de Tingo María, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, para calificar la tesis presentado por la Bach. **RUIZ VELA, Luis Máximo**, titulada:

### **“DETERMINACIÓN DE LA DIFUSIVIDAD TÉRMICA EN MIEL DE ABEJA SILVESTRE (*Apis mellifera L.*), EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA”**

Después de haber escuchado la sustentación, las respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran **APROBADO** con el calificativo de **BUENO**; en consecuencia el Bachiller, queda apto para recibir el título de **Ingeniero en Industrias Alimentarias** del Consejo Universitario, de conformidad con el Art. 22° de la Ley Universitaria 23733; los artículos 51° y 52° del Estatuto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tingo María, 22 de julio de 2013

.....  
Ing. Jaime E. Basilio Atencio  
Presidente

.....  
Ing. Roberto Dávila Trujillo  
Miembro

.....  
Ing. Luz M. Fotlegatti Romero  
Miembro

.....  
Ing. Williams V. Roldán Carbajal  
Asesor

## **DEDICADO**

### **A DIOS:**

Por concederme la luz de la vida, salud, fortaleza y la fe, por estar siempre en los momentos más difíciles de la vida.

### **A MIS PADRES:**

**Carlos Ruiz Paragua**

**Mery Flor Vela Sánchez**

Que con su gran amor y fe estuvieron apoyándome durante todo el transcurso de mi carrera profesional y por ser la fuente de mi inspiración y desearme lo mejor en la vida.

### **A MIS HERMANOS:**

**Carlos, César, Victor y Karen;** por el apoyo incondicional y comprensión y por darme ánimos, en la presente investigación.

## **AGRADECIMIENTO**

Antes que todo a la Universidad Nacional agraria de la Selva y en especial a mi profesor patrocinador Ing. Williams Vicente Roldan Carbajal, por su apoyo en el desarrollo de esta tesis y muy particularmente por sus consejos, paciencia y motivación para seguir la carrera profesional.

A todos aquellos que estuvieron presentes de manera cercana en la universidad, en particular a José Manuel Cárdenas Vela, no me puedo olvidar de mis amigos, que fueron mis confidentes y cómplices del estudio, además de brindarme todo su apoyo y cariño en algunos momentos difíciles. Gracias a Jhinm Barreto Ramírez y Elijor Crispin Guillen por la comprensión y por nuestra superación.

A todos los docentes que aportaron con su conocimiento en mi formación profesional y humana a lo largo de la carrera a: Jaime Eduardo Basilio Atencio, Gunter Daza Panduro, Raúl Natividad Ferrer, Lauriano Zavaleta de la Cruz, Milagros Luz Follegati Romero, Elizabeth Ordoñez Gomez, Margarita Alcedo Romero, Yolanda Ramírez Trujillo, Raída Matos Bustamante, Alipio Ortega Rodríguez, Roberta Dávila Trujillo Alfredo Carmona Ruiz, Eduardo Cáceres Almenara, Jorge Castro Gracey, Pedro Peláez Sánchez, Washington Paredes Pereda, Caleb Leandro Laguna, , entro otros.

Al resto de los integrantes de la Facultad de Ingeniería en Industria Alimentaria por contribuir en este proyecto y por hacer más a menos los días de trabajo.

A los señores técnicos de laboratorios, por su ayuda en esos pequeños, pero importantes detalles que facilitaron el trabajo en los diversos laboratorios.

## INDICE GENERAL

	Pág.
I INTRODUCCIÓN.....	01
II REVISIÓN BIBLIOGRAFICA.....	03
2.1 Antecedentes .....	03
2.2 Generalidades de la miel de abeja .....	06
2.2.1 Descripción.....	06
2.2.2 Composición físico-química de la miel.....	07
2.2.3 Composición química .....	09
2.2.4 Características.....	11
2.2.5 Usos y propiedades .....	12
2.3 Transferencia de calor.....	14
2.3.1 Mecanismos de transferencia de calor.....	14
III MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
3.1 Lugar de ejecución .....	18
3.2 Materia prima.....	18
3.3 Equipos, materiales, reactivos y soluciones.....	18
3.3.1 Equipos.....	18
3.3.2 Materiales .....	19
3.3.3 Reactivos y soluciones .....	20
3.4 Métodos de análisis.....	20
3.4.1 Caracterización fisicoquímica de la materia prima .....	20
3.5 Determinación de la difusividad térmica .....	24
3.6 Metodología experimental.....	25
3.6.1 Caracterización de la miel de abeja silvestre.....	25

3.6.2	Preparación de la muestra de miel de abeja silvestre.....	25
3.6.3	Validación del cilindro utilizado en hallar la difusividad térmica .....	25
3.6.4	Determinación de la difusividad térmica. ....	26
3.7	Diseño experimental.....	28
3.8	Análisis estadístico.....	28
3.8.1	Regresión lineal .....	28
3.8.2	Intervalos de confianza para $\beta_1$ (tasa).....	29
3.8.3	Análisis de correlación.....	30
3.8.4	Coefficiente de correlación Lineal Simple (r) .....	30
3.8.5	Coefficiente de determinación ( $R^2$ ) .....	31
3.8.6	Interpretación de $R^2$ .....	31
IV	RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	33
4.1	Características fisicoquímicas de la miel de abeja silvestre .....	33
4.1.1	Humedad .....	33
4.1.2	Sólidos insolubles y sólidos totales.....	34
4.1.3	Cenizas.....	35
4.1.4	Acidez libre .....	36
4.1.5	pH.....	37
4.1.6	Parámetros del color.....	38
4.2	Difusividad térmica en soluciones de sacarosa .....	40
4.3	Determinación de la difusividad térmica de la miel de abeja a diferentes tratamientos.....	41
4.3.1	Cálculo de difusividad térmica de miel de abeja a 40 °C .....	41
4.3.2	Calculo de difusividad térmica de miel de abeja a 50 °C .....	44

4.3.3	Cálculo de difusividad térmica de miel de abeja a 60 °C .....	46
4.3.4	Calculo de difusividad térmica de miel de abeja a 70 °C .....	49
4.3.5	Calculo de difusividad térmica de miel de abeja a 80 °C .....	52
4.4	Análisis de regresión para determinar la difusividad térmica de miel de abeja función de la temperatura.....	56
V	CONCLUSIONES.....	60
VI	RECOMENDACIONES.....	61
VII	ABSTRACT.....	62
VIII	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	64
IX	ANEXO.....	72



## INDICE DE CUADROS

	Pág.
1 Composición fisicoquímica de la miel.....	10
2 Valores máximos de parámetros fisicoquímicos de miel de abeja .....	11
3 Diseño experimental para la estimación de la difusividad térmica en soluciones de sacarosa.....	26
4 Determinación de la difusividad por análisis de regresión simple.....	29
5 Parámetros probabilísticos.....	32
6 Humedad de la miel en g/100 g de miel.....	34
7 Sólidos insolubles en (%) de la miel.....	34
8 Sólidos totales en (%) de la miel.....	35
9 Cenizas (%) de la miel.....	36
10 Acidez libre en (meq/kg) de la miel.....	36
11 pH de la miel (solución 10 g de miel + 75 ml de agua).....	37
12 Valores de L* (luminosidad) de la miel.....	38
13 Valores de a* (color rojo - verde) de la miel.....	39
14 Valores de b* (color amarillo - azul) de la miel.....	40
15 Difusividad térmica promedio en soluciones de sacarosa.....	41
16 Determinación de la difusividad térmica de la miel silvestre a 40 °C.....	42
17 Determinación de la difusividad térmica de la miel silvestre a 50 °C.....	44
18 Determinación de la difusividad térmica de la miel silvestre a 60 °C.....	47
19 Determinación de la difusividad térmica de la miel silvestre a 70 °C.....	50
20 Determinación de la difusividad térmica de la miel silvestre a 80 °C.....	53
21 Difusividad térmica de miel de abeja a diferentes temperaturas.....	57
22 ANVA de la regresión lineal de la difusividad térmica y la temperatura.	58

## INDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1 Dimensiones del tubo de cobre utilizado para la experimento .....	27
2 Equipo que se utilizó para la obtención del perfil térmico .....	27
3 Diseño experimental para determinación de la difusividad térmica de miel de abeja miel de abeja.....	28
4 Curva de penetración de calor a 40 °C.....	42
5 La representación semilogarítmica en función al tiempo t, a 40 °C.....	43
6 Pendiente de la recta de calentamiento a 40 °C.....	43
7 Curva de penetración de calor a 50 °C.....	45
8 La representación semilogarítmica en función al tiempo t, a 50 °C.....	45
9 Pendiente de la recta de calentamiento a 50 °C.....	46
10 Curva de penetración de calor a 60 °C.....	48
11 La representación semilogarítmica en función al tiempo t, a 60 °C.....	48
12 Pendiente de la recta de calentamiento a 60 °C.....	49
13 Curva de penetración de calor a 70°C.....	51
14 La representación semilogarítmica en función al tiempo t, a 70 °C.....	51
15 Pendiente de la recta de calentamiento a 70 °C.....	52
16 Curva de penetración de calor a 80 °C.....	54
17 La representación semilogarítmica en función al tiempo t, a 80 °C.....	54
18 Pendiente de la recta de calentamiento a 80 °C.....	55
19 Regresión lineal de la dependencia de la temperatura con respecto a la difusividad térmica de miel de abeja.....	57

## RESUMEN

En el Perú, gracias a su megadiversidad biológica, existe un gran número de especies de abejas nativas cuyo potencial para la producción de miel, polen y propóleos apenas empieza a ser estudiado. Es importante conocer las propiedades de la miel relacionadas con la estabilidad durante el almacenamiento y el procesamiento térmico, tales como humedad, actividad de agua, capacidad calorífica, difusividad y conductividad térmica, temperaturas de transición de fase.

Por estas consideraciones es necesario determinar la velocidad de transferencia de calor en la miel de abeja silvestre, mediante la difusividad térmica a diferentes temperaturas para obtener modelos matemáticos en un rango de temperatura. El experimento se realizó en la planta piloto y en los laboratorios de: Análisis de Alimentos, Ingeniería de Alimentos y Nutrición Animal de la Universidad Nacional Agraria de La Selva, ubicada en la ciudad de Tingo María. Se utilizó como materia prima la miel de abeja silvestre (*Apis Mellifera L.*), que será obtenido en los caseríos de Mercedes Locro, Huanganapampa, Venadopampa y Venenillo. Se determinó los análisis fisicoquímico y de difusividad térmica a 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C y 80 °C.

Las características fisicoquímicas de la miel es 17,76 % de humedad, 0,074 % de sólidos insolubles, 82,02 % de sólidos totales, 0,58% de cenizas, 33,98 meq/kg de acidez libre, con pH de 4,2. Los parámetros del color es  $L = 13,95$ ,  $a^* = 2,107$ ,  $b^* = 5,8$ .

Los resultados y discusiones permitieron concluir que existe suficiente evidencia estadística para aceptar que la variable respuesta difusividad térmica tiene dependencia lineal con las variable explicativas

temperatura cuyo modelo matemático se detalla a continuación, que el objetivo principal de la regresión lineal es construir un modelo que permita predecir el valor de la variable dependiente cuando los valores de las variables predictorias toman valores determinados, dentro del rango del modelo fue calculado.

Como menciona THOMAS (2001) la regresión no lineal trata de predecir el problema o estimar la variable respuesta a partir de otra variable llamada predictora o explicativa, la ecuación que permite determinar la difusividad térmica de la miel de abeja en función a la temperatura desde un rango de temperatura desde 40 a 80 °C es la siguiente:

$$\alpha = 0,0002x^2 - 0,0147x + 1,3175 \quad R^2 = 0,9955$$

$$\alpha = \text{Difusividad termica } \frac{m^2}{s}, \quad T = x = \text{Temperatura } ^\circ C$$

## I INTRODUCCIÓN

En el Perú, gracias a su mega diversidad biológica, existe un gran número de especies de abejas nativas cuyo potencial para la producción de miel, polen y propóleos apenas empieza a ser estudiado. Existen cerca de 500 especies de abejas sin aguijón en el mundo, 300 de ellas en Latinoamérica y cerca de 120 en Colombia. Los estudios hechos para adquirir conocimiento sobre estas abejas, se ha enfocado principalmente en taxonomía, descripción de colmenas y comportamiento. Los productos de estas abejas tienen en el Perú un mercado creciente, como es el caso de la miel conocida como "miel de angelitas" de la especie *Trigona Tetragonisca angustula*, comercializada en tiendas naturistas a precios superiores debido a la asociación de esta miel con propiedades terapéuticas, pero sin ningún tipo de estudio de sus características fisicoquímicas, lo cual facilita la competencia desleal (MARTÍNEZ, 2006).

La miel de abeja es un alimento que se ha consumido desde tiempos inmemoriales. Es una mezcla compleja constituida principalmente por agua, azúcares (glucosa, fructosa, sacarosa, maltosa, azúcares superiores), ácido glucónico, lactona, compuestos nitrogenados, minerales y algunas vitaminas (VALEGA, 2009). Según el Codex Alimentarius, se define como miel a la sustancia dulce, sin fermentar producida por las abejas a partir de néctar de flores y de secreciones de partes vivas de las plantas, la cual es recolectada, transformada y combinada con sustancias específicas, además es almacenada y madurada en un panal. La miel no debe presentar objeciones en

cuanto al sabor, aroma o contaminación absorbida por causas ajenas durante el procesamiento, almacenamiento y no debe contener toxinas de plantas en cantidad que pueda constituir un peligro para la salud. Se señala también que la miel puede ser definida como una sustancia producida por abejas y por algunos insectos, desde néctar o mielada, que es recolectada desde plantas vivas, la cual es transformada por la evaporación del agua y por la acción de enzimas que ellas mismas secretan (FAO/WHO, 2001). La miel es producto natural de alto valor nutricional. Es una fuente de azúcares, ácidos orgánicos, algunos aminoácidos, macro y micro elementos y sustancias biológicamente activas. Es importante conocer las propiedades de la miel relacionadas con la estabilidad durante el almacenamiento y el procesamiento térmico, tales como humedad, actividad de agua, capacidad calorífica, difusividad y conductividad térmica, temperaturas de transición de fase. Afectando tanto a sus propiedades sensoriales como a los procesos de manipulación a los que la miel se somete: extracción (velocidad de centrifugación) y procesado (filtrando, licuación, transporte por tuberías). Por tal motivo los objetivos establecidos para la investigación fueron:

- Determinar las características fisicoquímicas de la miel de abeja silvestre (*Apis mellifera L.*).
- Determinar la difusividad térmica en miel de abeja silvestre (*Apis mellifera L.*) en función de la temperatura.
- Proponer una ecuación que permita determinar la difusividad térmica de la miel de abeja silvestre en un rango de temperatura determinado.

## II REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

### 2.1 Antecedentes

Según SOPADE (2001) menciona referente a los tres tipos de mieles evaluadas con valores de la  $a_w = 0,5743 \pm 0,058$  y la  $\alpha = 0,0118 \pm 0,023$   $\text{cm}^2/\text{s}$  no mostraron una variación definida con la temperatura. La ecuación de ARRHENIUS describió adecuadamente ( $R^2 > 0,820$ ) el efecto de la temperatura sobre  $k$  de las mieles analizadas. En la gráfica de arrhenius ( $\ln k$  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. Dicho cambio de pendiente se presentó entre 30 y 47 °C.

Según BOLETÍN OFICIAL ESPAÑOL (2003) menciona que la capacidad calorífica en estado líquido en función del contenido de humedad, azúcares totales, sólidos fijos, así como su contenido de nitrógeno (proteína\*6.25), presentan una capacidad calorífica del orden de a 1,86 a 1,96 ( $\text{kJkg}^{-1} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$ ) con un valor promedio de 1,93 ( $\text{kJkg}^{-1} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$ ), unos 0,46 cal /g °C.

BARBARA *et al.*, (1991) mencionan que la pulpa del meollo de caña de azúcar con variación de humedad (0, 19.36, 26.26, 29.87, 32.8 y 47 % respectivamente), tiene una difusividad térmica promedio para: 30 °C, un valor de (1,492; 1,768; 2,188; 1,927; 1,623; 1,217)  $\times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ ; 60 °C, un valor de (1,695; 2,501; 3,652; 2,840; 2,420; 2,159)  $\times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  y a 90 °C un valor de (2,217; 3,480; 4,270; 3,871; 2,817; 2,739)  $\times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ .

MUÑOZ (2002) menciona que la pasta de murta (*Ugni molinae turez*), presenta una difusividad térmica promedio de: Rango de 60 a 70 °C, un valor de  $1,15 \pm 0,06 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ ; rango de 70 a 80 °C, un valor de  $1,24 \pm 0,07 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ ; rango de 80 a 90 °C, un valor promedio de  $1,34 \pm 0,06 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ .

JARA (2012) menciona que la pulpa de yacón presenta una difusividad térmica promedio para: 50 °C un valor de  $1,30 \pm 0,26 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ ; 60 °C un valor de  $1,36 \pm 0,22 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ ; 70 °C un valor de  $1,48 \pm 0,29 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ ; 80 °C un valor de  $1,63 \pm 0,41 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Según DRUSAS y SARAVACOS (1985) mencionan que en pastas de tomate a 35 °brix se obtuvo una difusividad térmica de  $1,42 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ . Se han realizado también estudios en pastas de pescado con una humedad de 82 %, encontrando un valor de difusividad térmica de  $1,42 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  (JIMENEZ y KASAHARA, 1991). Ambas investigaciones fueron realizadas con metodologías que involucran la transferencia de calor en estado no estacionario.

La conductividad y la difusividad térmica son afectadas tanto por la composición y la densidad del alimento, como por la temperatura, mientras que el calor específico es afectado principalmente por la composición y la temperatura. Por esto generalmente es difícil determinar la conductividad o la difusividad térmica que el calor específico (CHOI y OKOS, 1986).

Varios investigadores han desarrollado técnicas para determinar las propiedades termo físicas de los alimentos. DICKERSON (1969) desarrolló una técnica que utiliza un tubo cilíndrico.

Según UNKLESBAY *et al.*, (1992) la difusividad térmica es dependiente de la temperatura se obtiene dividiendo la conductividad térmica y



el producto de los calores específicos y densidades.

Se observan valores inferiores a 1,86 (kJkg<sup>-1</sup> °K<sup>-1</sup>) en mieles con humedad inferiores al 17 % y algo mayores a 1,92 (kJkg<sup>-1</sup> °K<sup>-1</sup>) donde la humedad se incrementa hacia valores cercanos al 21 %; el parámetro resulta mayor en mieles elaboradas por *Apis mellifera L.*, con mayor contenido de humedad y mayor actividad de agua, esto es el resultado de mieles de *Apis mellifera L.*, adaptadas a los valles interandinos, el grado de africanización es acentuado, de otra parte las mieles de zona frías producidas en regiones altoandinas presentan contenido de humedad bajo, y por tanto menor calor específico.

La relación entre el contenido de humedad y la capacidad térmica de algunas mieles es lineal y de la forma:  $C_p = 0,0273 (\% H) + 1,4317$ , donde ( $r^2 = 0,9972$ ), para un rango de humedad entre (15,8 –19,4) %.

Según HARO (2004) menciona que la conductividad térmica en miel como la mayoría de los alimentos conducen el calor de manera deficiente, los procesos de transmisión de calor por efectos de conducción son muy lentos, la conductividad térmica está influenciada por la composición. En la medida que la miel va perdiendo humedad, la conductividad térmica disminuye e incrementa con leves ganancias.

El agua es el componente que ejerce mayor influencia en el comportamiento global del parámetro, como la temperatura y las condiciones de presión y como la actividad del agua. El contenido de sólidos totales y los niveles de azúcares han permitido establecer para la mayoría de las mieles de *Apis mellifera L.* un rango en (cal cm<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>°C<sup>-1</sup>) entre  $118 \times 10^{-5}$  a  $143 \times 10^{-5}$  que resulta de interés en los procesos de transformación.

En mieles que presenten el mismo tipo de componentes y por ende composiciones análogas los valores de  $C_p$ , no presentan variaciones significativas en los valores de conductividad térmica, como si ocurre cuando el contenido de sólidos totales, sólidos fijos, cantidad de nitrógeno proteico y humedad cambian significativamente entre sí, afectando el valor final de la conductividad. Para las zonas de vida de bosque seco y húmedo del montano bajo en el departamento de Boyacá, el rango predominante corresponde en  $(\text{kJkg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1})$  a 1,920 - 1,960.

La difusividad térmica es la relación entre la conductividad térmica y el calor específico multiplicado por su densidad, esta propiedad aporta información acerca de la velocidad con lo cual la miel esta calentada o enfriada.

## **2.2 Generalidades de la miel de abeja**

### **2.2.1 Descripción**

Según la COMISIÓN VERACRUZANA DE COMERCIALIZACIÓN AGROPECUARIA (2004) menciona que la miel es una sustancia viscosa, muy dulce, elaborada por diversos himenópteros, en especial y en mayor abundancia por las abejas, a partir de las flores; la composición química de la miel depende principalmente de las fuentes vegetales de factores externos como el clima, el manejo de extracción y el almacenamiento. El sabor y el aroma de la miel se conservan mejor si se mantiene entre los 18 y los 24 °C, es decir, a la temperatura ambiente.

“La miel es la sustancia natural dulce producida por la abeja *Apis mellifera* L. a partir del néctar de plantas o de secreciones de partes vivas de plantas o de excreciones de insectos chupadores presentes en las partes vivas de plantas, que las abejas recolectan, transforman combinándolas con

sustancias específicas propias, depositan, deshidratan, almacenan y dejan en colmenas para que madure”, es la definición para miel que de acuerdo a la directiva 2001/110/CE de la comunidad Europea, establece el Real Decreto 1049/2003 mediante el que se aprueba la norma de calidad relativa a la miel en España (BOLETÍN OFICIAL ESPAÑOL, 2003).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y la Organización Mundial de la Salud (FAO/WHO, 2001) se entenderá por miel a la sustancia dulce natural producida por las abejas obreras, a partir del néctar de las flores o de exudaciones de otras partes vivas de las flores o presentes en ellas, que las abejas recogen, transforman y combinan con sustancias específicas propias, almacenan y dejan en los panales para que madure. La miel almacenada en envases de vidrio o de acero inoxidable sellados puede permanecer estable, en cambio sí se guarda en envases de polietileno de baja densidad pierde agua y se cristaliza más rápidamente.

La mayor parte de las mieles son supersaturadas respecto de la glucosa, la cual se cristaliza de manera espontánea a temperatura ambiente. La cristalización es más rápida entre los 11 y los 15 °C (RAMIREZ, 2000).

### **2.2.2 Composición físico-química de la miel**

Desde el punto de vista físico, la miel es extraída del panal como dispersión acuosa, que cubre un amplio rango de tamaño de partículas, de iones inorgánicos, sacáridos y otros minerales asociados a compuestos orgánicos en solución verdadera y macromoléculas dispersables coloidalmente, como proteínas y polisacáridos, esporas de hongos y levaduras, partículas mayores y granos de polen (SOTO, 2008).

**Color:** Según SOTO (2008) el color de la miel está relacionado con la parte floral y se debe a la naturaleza química del néctar, en cuanto a los componentes menores tales como los minerales (hierro, cobre y manganeso), las dextrinas y la materia nitrogenada. El color también varía con el contenido de agua.

**Sabor y aroma:** Algunas de las sustancias que dan a la miel su aroma son comunes para todas las mieles, sin embargo otras son derivadas de plantas específicas y se da sólo en las mieles de dichas plantas. El sabor es producido por un número de componentes que actúan en conjunto, lo que a su vez está unido con el aroma (CRANE, 1990).

**Humedad:** El contenido de humedad es una de las características más importantes de la miel, tiene una gran influencia en la calidad del almacenamiento (SOTO, 2008).

**Actividad de agua (aw):** Desde el punto de vista de las propiedades coligativas y dependiendo de la composición de la miel, ha de considerarse el papel que juega el concepto de actividad de agua en los fenómenos de cristalización y nucleación.

El incremento de solutos en solución hace decrecer su punto de congelación y eleva el punto de ebullición elevando la presión osmótica, fenómeno que permite explicar la adsorción del agua en materiales porosos y en presencia de agentes higroscópicos como la miel (HARO, 2004).

**Conductividad eléctrica:** Esta propiedad se manifiesta en la forma en que la miel conduce la corriente eléctrica, y se debe al contenido de sales minerales. Varía con el origen botánico de la miel y el contenido de sales minerales (HARO, 2004).

### **2.2.3 Composición química**

Según POZAS (2000) la composición química de la miel está influenciada por diversos factores: como la fuente floral, las condiciones climáticas, tipos de suelo, etc.

Según BIANCHI (1990) el comportamiento químico de la miel se debe particularmente a la glucosa y fructosa. Los constituyentes menores, tales como los compuestos del sabor, pigmentos coloreados, ácidos, participan en gran parte de las diferencias entre las distintas mieles como se muestra en el Cuadro 1.

El contenido de agua es uno de los parámetros más importantes porque influye en el peso específico, viscosidad, sabor, y condiciona por ello la conservación, palatabilidad, solubilidad y en definitiva el valor comercial, mostrado en el Cuadro 2.

En el Perú, en el valle del Huallaga, se ha instalado más de 2000 colmenas; contribuyendo a la sustitución del cultivo de coca y la mejor en la polinización del café, cacao y papaya (FERT, 2004).

**Cuadro 1.** Composición fisicoquímica de la miel.

<b>Nutriente</b>	<b>Cantidad promedio en 100 g</b>
Agua	17,1 g
Carbohidratos (totales)	82,4 g
Fructosa	38,5 g
Glucosa	31,0 g
Maltosa	7,20 g
Sucrosa	1,50 g
Proteínas, aas., vit. y minerales	0,50 g
Energía	304 Kcal
Grasas (lípidos)	0,0 g
Colesterol	0,0 g
Tiamina	< 0,00 mg
Riboflavina	< 0,06 mg
Niacina	< 0,36 mg
Ácido pantoténico	< 0,11 mg
Piridoxina (B6)	< 0,32 mg
Ácido ascórbico	2,2 – 2,4 mg
Calcio	4,4 – 9,20 mg
Cobre	0,003 – 0,10 mg
Fierro	0,06 – 1,5 mg
Magnesio	1,2 – 3,50 mg
Manganeso	0,02 – 0,4 mg
Fósforo	1,9 – 6,30 mg
Potasio	13,2 – 16,8 mg
Sodio	0,0 – 7,6 mg
Zinc	0,03 – 0,4 mg

Fuente: PROFECO (2001).

**Cuadro 2.** Valores máximos de parámetros fisicoquímicos de miel de abeja.

<b>Parámetros</b>	<b>Valores Máximos</b>
Acidez	40 meq. de ácido/1000 g
Humedad	18 %
Hidroximetilfulfural	80 mg/kg

Fuente: DOWNEY (2005).

#### **2.2.4 Características**

La miel es una solución sobresaturada de azúcares simples donde predominan la fructosa y glucosa y en menor proporción, una mezcla compleja de otros hidratos de carbono, enzimas, aminoácidos, ácidos orgánicos, minerales, sustancias aromáticas, pigmentos, cera y granos de polen.

Las características organolépticas y fisicoquímicas del producto están muy asociadas con su origen geográfico y botánico.

De acuerdo a la NORMA MEXICANA (1997) el color es variable por lo que puede ser blanca agua; extra blanca; blanca; extra clara ámbar; ámbar clara; ámbar y oscura. La miel se oscurece con el envejecimiento y por la exposición a altas temperaturas. La magnitud de este proceso está influenciada por su origen botánico.

Su olor y sabor deben ser los característicos, pero el calentamiento a altas temperaturas y el envejecimiento pueden afectarlos.

La consistencia de la miel en sí puede ser líquida, cremosa o sólida. Puede estar parcial o totalmente cristalizada. La miel generalmente cristaliza con el tiempo, este proceso es una característica natural altamente ligada a la composición de azúcares. Así, las mieles con mayor contenido de glucosa, generalmente cristalizan en forma más rápida.

La miel cuenta con características fisicoquímicas medibles a través

de diversos análisis de laboratorio. Estas pueden agruparse según su relación con la madurez, la limpieza en el proceso y el deterioro de la misma.

**Actividad de Agua (aw):** La actividad de agua de la miel oscila de 0,55 a 0,60 dependiendo del contenido de agua de la misma. A pesar que la miel contiene menos glucosa y fructosa que otros carbohidratos es notablemente mucho más higroscópica que otros materiales naturales con similar contenido de azúcares. Así el contenido de agua de una miel varía desde el 15,9; para una humedad relativa (HR) del exterior de 50 % a 33,1 % para una (HR) de 33,1 % (HARO, 2004).

Además, como la humedad ambiente difunde lentamente hacia el seno de la miel, debe evitarse la exposición a ambientes de alta (HR) para evitar el crecimiento de hongos aeróbicos en la superficie.

### **2.2.5 Usos y propiedades**

Según DOWNEY (2005) menciona que la miel posee numerosas propiedades tanto terapéuticas como nutricionales. Las más representativas se mencionan a continuación:

Es de fácil asimilación debido a que posee hidratos de carbono de cadenas cortas. Facilita la digestión y asimilación de otros alimentos: en el caso de los niños facilita la asimilación de calcio y magnesio.

Posee mayor poder edulcorante que el azúcar Mejora la conservación de los alimentos, es suavemente laxante (regulariza el funcionamiento intestinal), posee propiedades sedantes (favorece la absorción de triptófano que es precursor de la serotonina).

Es antihemorrágica, antianémica, antiséptica, antitóxica, emoliente, mejora el rendimiento físico, especialmente, en los deportistas, estimula el vigor



sexual, se utiliza para el tratamiento de faringitis, laringitis, rinitis, gripes, estados depresivos menores, úlceras, gastritis, quemaduras, entre otras.

Es utilizada para el tratamiento de personas que padecen astenia o estados de cansancio tanto en la esfera física como psíquica y en la desintoxicación de alcohólicos. Estimula la formación de glóbulos rojos debido a la presencia de ácido fólico. Estimula la formación de anticuerpos debido al ácido ascórbico, magnesio, cobre y zinc.

#### **2.2.5.1 En la industria alimentaria**

**Humectación:** la miel contribuye a humectar los alimentos, en especial, los preparados de confitería tales como las masas, elimina la sequedad y la porosidad de estos preparados y mejora la textura de los productos horneados, dando la impresión de una apariencia húmeda y brillante en su superficie.

**Gratinación:** en la preparación de carnes de aves principalmente, mediante el uso de la miel se logra un buen punto de gratinación lo que le brinda a la carne una excelente presentación y sabor.

**Saborización:** el ácido glucónico que contiene la miel realza el sabor de los preparados. Además posee una cualidad interesante que es la de reemplazar al sodio. En las ingestas dietéticas posee una verdadera importancia, justamente, cuando es necesario sustituir al sodio.

La forma de saborizar que posee la miel es muy interesante para aplicarla a la elaboración de productos lácteos. Por ejemplo, el yogurt con miel ha tenido bastante éxito en otros países como España o Brasil. Se utiliza para saborizar dulces, mermeladas y caramelos.

**Antioxidante:** posee una importante actividad

antioxidante, permitiendo la conservación de distintos tipos de alimentos. Es muy útil en el caso de las frutas secas y frescas, pudiendo conservar la ensalada de fruta sin que ésta se oscurezca por la oxidación.

## **2.3 Transferencia de calor**

WATSON (1987) menciona que el punto de vista de la termodinámica, un flujo de energía que toma lugar debido a una diferencia de temperatura es identificado como calor solamente si la energía transferida ocurre a través de un límite del sistema y no fue transportado por un flujo de masa (flujo convectivo).

### **2.3.1 Mecanismos de transferencia de calor**

Según MC ADAMS (1964) el calor puede ser transferido en tres formas diferentes: conducción, convección y radiación. Estas tres formas son similares en que una diferencia de temperatura debe de existir para que se obtenga una transferencia de energía neta en la dirección de mayor a menor temperatura.

#### **2.3.1.1 Conducción**

La conducción corresponde a uno de los mecanismos más comunes de transmisión de calor. Si en un medio continuo existe un gradiente de temperatura, el calor puede fluir sin que se produzca un desplazamiento observable de la materia. Esta clase de flujo térmico se denomina conducción molecular o simplemente conducción. La conducción tiene lugar a escala molecular, y el mecanismo corresponde a un transporte de la cantidad de movimiento de las moléculas individuales a lo largo del gradiente de temperatura (MC CABE *et al.*, 1991; SINGH y HELDMAN, 1998).

El ejemplo más corriente de conducción se presenta en

el flujo de calor a través de sólidos opacos, tales como los ladrillos de las paredes de un horno o la pared de un tubo metálico (MC CABE *et al.*, 1991). La ley de Fourier para la conducción unidireccional del calor establece que la velocidad instantánea del flujo térmico  $AQ/At$  es igual al producto de tres factores: al área  $A$  de la sección considerada y normal al flujo de calor; al gradiente de temperatura  $-AT/Ax$ , que representa la relación del incremento de temperatura al de longitud en la dirección del flujo, y a la conductividad térmica  $X$  (en  $W/m K$ ), que es una propiedad física del material. La expresión matemática de la ley de Fourier es:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = Q = \lambda A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Esta expresión diferencial es general para la conducción unidireccional, siendo válida para los casos en que el gradiente de temperatura  $-\Delta T/\Delta x$  varía con el tiempo y con la posición del punto figurativo. En todos los casos en que se presenta un flujo térmico por conducción, tiene que existir un gradiente de temperatura. Si la temperatura de un punto dado varía con el tiempo, la velocidad del flujo térmico variará también con el tiempo. Se dice entonces que la conducción de calor representa un estado no estacionario o transiente de transferencia de calor cuando la temperatura varía con la posición y con el tiempo (MC ADAMS, 1964).

El signo negativo refleja el hecho físico de que el flujo de calor se produce de mayor a menor temperatura, de forma que el signo del gradiente es contrario al del flujo de calor. Al utilizar la ecuación de Fourier es preciso tener muy en cuenta que el área  $A$  es la de una superficie perpendicular al flujo de calor, y que la distancia  $x$  es la longitud del camino

medido perpendicularmente al área A (SHARMA *et al.*, 2000).

### **2.3.1.2 Convección**

En la transferencia de calor por convección, en todo fluido que está en movimiento lleva asociada consigo una energía que hace que exista una transferencia de calor, por mezcla de una parte del fluido con otra que se encuentran a diferentes temperaturas, debido precisamente a este movimiento. El movimiento del líquido o gas se produce por diferencia de densidades debido a la diferencia de temperaturas; esto hace que se presente un transporte de calor en forma natural. La convección de calor ocurre a través del movimiento de masa de los fluidos hacia y desde la pared. Dentro de la pared la energía es transferida por conducción.

En la medición de conductividad térmica de gases y líquidos se refiere al uso frecuente de flujos de calor hacia abajo para evitar la transferencia por convección (MC CABE *et al.*, 1991; IBARZ *et al.*, 1999) debido al movimiento de masa causado por diferencia de densidad.

### **2.3.1.3 Radiación**

En la transferencia de calor por radiación, el transporte de energía por radiación se diferencia básicamente de los otros dos fenómenos de transporte de energía en que ni es proporcional a un gradiente de temperaturas, ni necesita de un medio natural para su propagación. El paso de un estado energético a otro lleva asociado una absorción o emisión de calor; un cuerpo absorbe y emite energía radiante en todas las direcciones. La energía irradiada es, según la ley de stefan-boltzmann, directamente proporcional a la temperatura del cuerpo elevado a cuatro (MC CABE *et al.*, 1991).

Cuando la energía irradiada alcanza a otro cuerpo, parte

de ella puede reflejarse y otra parte puede ser transmitida a través del cuerpo, diciéndose entonces que el cuerpo es diatérmico. La energía restante es absorbida y transformada en calor. Si dos cuerpos, uno más caliente que otro, se encierran en una cavidad, hay un intercambio continuo de energía entre ellos. El cuerpo más caliente emite más energía de lo que absorbe; el cuerpo más frío absorbe más de lo que irradia. Aún después de alcanzarse el equilibrio térmico, continúa el proceso, irradiando y absorbiendo energía cada cuerpo (MC ADAMS, 1964).

### **III MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Lugar de ejecución**

El experimento se realizó en la planta piloto de la facultad de Industrias Alimentarias y en los laboratorios de: Análisis de Alimentos, Ingeniería de Alimentos y Nutrición Animal de la Universidad Nacional Agraria de La Selva, ubicada en la ciudad de Tingo María; provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, ubicada a 660 msnm, con una humedad relativa de 84 % y una temperatura promedio anual de 25 °C, en el periodo comprendido abril a septiembre del año 2012.

#### **3.2 Materia prima**

Se utilizó como materia prima la miel de abeja silvestre (*Apis mellifera L.*), que se obtuvo en los caseríos de Mercedes Locro, Huanganapampa, Venadopampa y Venenillo, en el distrito de Rupa Rupa de la provincia de Leoncio Prado ubicado en el departamento de Huánuco, ubicado exactamente en las siguientes coordenadas latitud = -9,24666049612, (9°14'47.98"S) longitud = -76,0092720592, (76°0'33.38"O). La cantidad necesaria para las pruebas, se recibió y almacenó para su respectivo análisis.

#### **3.3 Equipos, materiales, reactivos y soluciones**

##### **3.3.1 Equipos**

- Balanza analítica electrónica OHAUS, modelo AP210s serial number 113032314, Sensibilidad 0,0001 g, EEUU.
- Computadora instalada con programa de "DATA TRACE" FOR

WINDOWS DATATRECE micropack serial number M3T12677, model 7500T1, rango -20 To +140 DEGREES C, DATATRECE micropack serial number M3T11776, part number 12752823-501, model 7500T2, rango -20 To +140 DEGREES C, USA.

- Estufa tipo LP 201/AL con temperatura hasta 200 °C.
- Equipo completo para la determinación de fibra.
- Equipo de titulación para medir la acidez (bureta autoenrrasable de 10 mL), marca de bureta; pipetas, marca MSARIENFLED, tolerancia 0,1 mL volumen 10 mL, made in Germany.
- Picnómetro o matraz aforado de 100 mL clase A PIREX.
- Potenciómetro, marca SCHOTT, modelo CG840, digital, rango de pH 0 a 14, made in USA.
- Refractómetro de mesa, marca QUIMUS: graduado de 0 % a 100 % de sacarosa, made in Brasil.
- Refrigeradora marca electrolux modelo Firgidaire Frost free, Canadá.
- Sensores térmicos "DATA TRACE".
- Colorímetro digital KONICA MINOLTA CR-410.

### **3.3.2 Materiales**

- Bandejas de acero inoxidable.
- Cilindros de acero inoxidable de dimensiones, longitud: 200 mm por diámetro: 30,10 mm.
- Mesa de acero inoxidable.
- Crisol y lunas de reloj.
- Material aislante (teflón, corcho, cinta aislante).

- Matraz marca Schott de 500,1000 ml.
- Papel tisú.
- Pinza de metal.
- Probeta marca Kimax de 100, 200, 300, 400, 500 ml.
- Pipeta marca Schott de 0,5; 5; 10 ml.
- Tapones de jebe para los extremos del cilindro.
- Vasos de precipitación marca Boeco de 100, 200, 300, 400, 500, 1000 ml.
- Campana de vidrio marca csn-cimax (desecador).
- Vasos de precipitado, marca MARIENFELD, volumen de 100, 250, 400,500 ml c/u, made in Germany.
- Soporte de fierro para el tubo de acero.

### **3.3.3 Reactivos y soluciones**

- Hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 N.
- Indicador de fenolftaleína 1 %.
- Buffer acetato de sodio 0,1 M pH 4,5.
- Buffer acetato de sodio 1 M pH 5.

## **3.4 Métodos de análisis**

### **3.4.1 Caracterización fisicoquímica de la materia prima**

- **Determinación del pH:** método 11,032 (AOAC, 1997). El valor de pH se determinó mediante lectura directa introduciendo el electrodo combinado del pH-metro *CRISON* de acuerdo con el método para análisis de acidez en miel (BOGDANOV, 2002). Para ello se homogeneizan 10 g de miel en 50 ml de agua destilada al 20 % (w/v). Antes de cada lectura se calibraba el



aparato con las soluciones buffer de pH 7 y pH 4.

- **Determinación de sólidos insolubles:** método 932.14C (AOAC, 1997). La determinación de sólidos insolubles se realizó por el método AOAC (2000), se basa en el aumento de peso que experimenta un crisol poroso después de filtrar por él una cantidad conocida de miel disuelta en agua ligeramente alcalinizada. Para ello se pesaron 20 g de la muestra de miel con una aproximación de 10 miligramos, que no había sido limpiada previamente. Se disolvió con unos 50 mililitros de agua destilada, introduciendo en la disolución los electrodos de un pH-metro y se añadió una solución de NaOH 0,1 N agitando continuamente hasta alcanzar un pH comprendido entre 8 y 9. En lugar de filtrar la disolución a través de un crisol filtrante, se realizó la filtración a través de un papel de filtro Whatman 541 endurecido sin cenizas. Este papel de filtro tiene el mismo tamaño de poro del crisol filtrante (10-40  $\mu\text{m}$ ).

Previamente secado y tarado, conectado a un dispositivo de filtración al vacío, se trasvasó cuantitativamente todo el material sólido al papel de filtro y se lavó abundantemente con agua destilada calentada a 80 °C. El papel de filtro con el residuo lavado se secó en una estufa de desecación durante 1 h a 135 °C y después de enfriar en un desecador se pesó con aproximación de 0,1 miligramos.

Los resultados son expresados en % de sólidos insolubles en agua por medio de la siguiente fórmula:

$$\% SIA = (P1 - P2) \times 100 / P$$

Siendo:

SIA = Sólidos insolubles en agua.

P1 = Peso del crisol, en gramos, con el residuo seco.

P2 = Peso del crisol, en gramos, vacío.

P = Peso, en gramos, de miel.

Los resultados son expresados en %.

- **Acidez titulable:** método 942.15 (AOAC, 1997). La determinación de la acidez libre y total de la miel se realizó según BOGDANOV, (2002) y AOAC (2000). La acidez libre se evaluó por valoración potenciométrica con un álcali hasta pH 8,50 y la acidez lactónica mediante valoración por retroceso tras la adición de un exceso conocido de álcali hasta pH 8,30.

La acidez total se calculó sumando la acidez libre y la lactónica. Este método se basa en que las lactonas presentes en la miel originan ácidos cuando esta se alcaliniza, constituyendo una reserva potencial de acidez.

En un vaso de precipitados se disuelven 10 g de miel en 75 ml de agua destilada exenta de dióxido de carbono, determinando a continuación su pH. Se titula con la solución de hidróxido de sodio a 0,05 N hasta obtener un pH de 8,5.

La valoración debe realizarse por goteo a una velocidad de 5 ml por minuto. Tan pronto alcanza dicho pH, se añaden 10 ml de la misma solución de hidróxido de sodio 0,05 N e inmediatamente se procede a una nueva titulación con ácido clorhídrico 0,05 N,

a la misma velocidad, hasta alcanzar un pH de 8,3.

- **Determinación de humedad:** Se determinó mediante el método 925 de la norma AOAC (1997).

$$\% H = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100$$

Donde:

Pi = Peso inicial de la muestra.

Pf = Peso final de la muestra.

% H = Porcentaje de humedad.

El contenido de humedad se expresa en g/100 g de miel.

- **Determinación de cenizas:** Las cenizas se obtuvieron tras incineración de la muestra en mufla y pesada del residuo hasta peso constante, según BOGDANOV (2002) y AOAC (2000). Se pesaron por duplicado y con precisión de 0,1 mg de 5 a 10 g de muestra de miel en cápsulas crisol previamente calcinadas y taradas. Se calentó suavemente hasta carbonizar la muestra poniéndole unas gotas de aceite de oliva para impedir la formación de espuma.

Se depositó la muestra en la mufla a 550°C durante toda la noche, y al día siguiente se sacaba de la mufla y se introducía en un desecador, hasta que la diferencia entre dos pesadas consecutivas efectuadas a intervalos de 30 min fuera inferior a 1 mg (cenizas sin residuos carbonosos).

El contenido en cenizas expresado en porcentaje (p/p), se obtiene por la siguiente fórmula:

$$\% C = (P1 - P2) \times 100 / P - P2$$

Donde:

C = Cenizas.

P = Peso, en gramos del crisol con la muestra.

P1 = Peso, en gramos del crisol con las cenizas.

P2 = Peso, en gramos del crisol vacío.

Los resultados son expresados en %.

- **Sólidos totales:** Los sólidos totales se determinaron a partir del valor del contenido de agua.

$$\text{Sólidos Totales (\%)} = 100 - \text{Contenido de humedad \%}$$

Los resultados son expresados en %.

- **Color:** Para la determinación de color se utilizó un colorímetro digital KONICA MINOLTA CR - 410, cuyos valores del espacio de L\*, a\*, b\* se muestra en el equipo.

### 3.5 Determinación de la difusividad térmica

La difusividad térmica se determinó con el método de transferencia de calor en estado no estacionario, método desarrollado modificado por POULSEN (1982).

$$t = 0,398 \frac{r^2}{\alpha} \log \left( 1,6 \frac{T_m - T_0}{T_m - T} \right)$$

Donde:

$\alpha$  : Difusividad térmica en m<sup>2</sup>/s.

r : Distancia recorrida por el flujo de calor , equivalente al radio del cilindro en m.

$T$  : Tiempo en s.

$T_m$  : Temperatura del medio de calentamiento, en °C.

$T_0$  : Temperatura inicial en el centro térmico de la muestra, en °C.

$T$  : Temperatura del centro térmico de la muestra en el instante  $t$  °C.

1,6 y 0,398 son variables definidas (constantes).

### **3.6 Metodología experimental**

#### **3.6.1 Caracterización de la miel de abeja silvestre**

La caracterización se realizó en dos fases en los métodos de análisis a realizarse que son:

- Caracterización físico químico de la miel.
- Caracterización de la miel de abeja después de la determinación de la difusividad.

#### **3.6.2 Preparación de la muestra de miel de abeja silvestre**

De un lote de 4 litros de miel de abeja silvestre obtenido de la recolección de panales de abejas silvestres del distrito de Rupa Rupa, se almacenará en envases de 150 g para su posterior análisis.

#### **3.6.3 Validación del cilindro utilizado en hallar la difusividad térmica**

Debido a la particularidad que presentan algunos productos en la velocidad de transferencia de calor, se comprobó el grado de convección que afecta principalmente a los líquidos.

**Cuadro 3.** Diseño experimental para la estimación de la difusividad térmica en soluciones de sacarosa.

Solución de sacarosa	Tratamiento (Tm)	Repeticiones	Parámetro
60 °brix	50 °C	3	Difusividad térmica
	60 °C		
	70 °C		
70 °brix	50 °C	3	
	60 °C		
	70 °C		

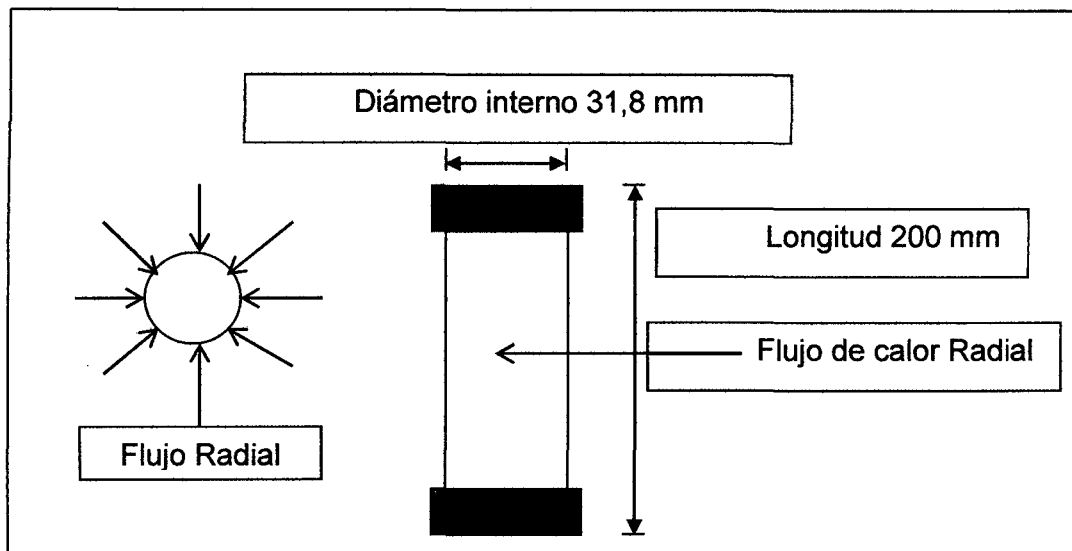
Fuente: MUÑOZ (2002).

La validación del método utilizado, se realizó con soluciones de sacarosa a diferentes tratamientos térmicos y concentraciones, a fin de comparar los valores encontrados con los reportados en la literatura.

Se estudió la metodología en 6 experiencias con soluciones de sacarosa a concentraciones de 60 °brix y 70 °brix para tratamientos térmicos de 50 °C, 60 °C y 70 °C a fin de evaluar la repetitividad del método.

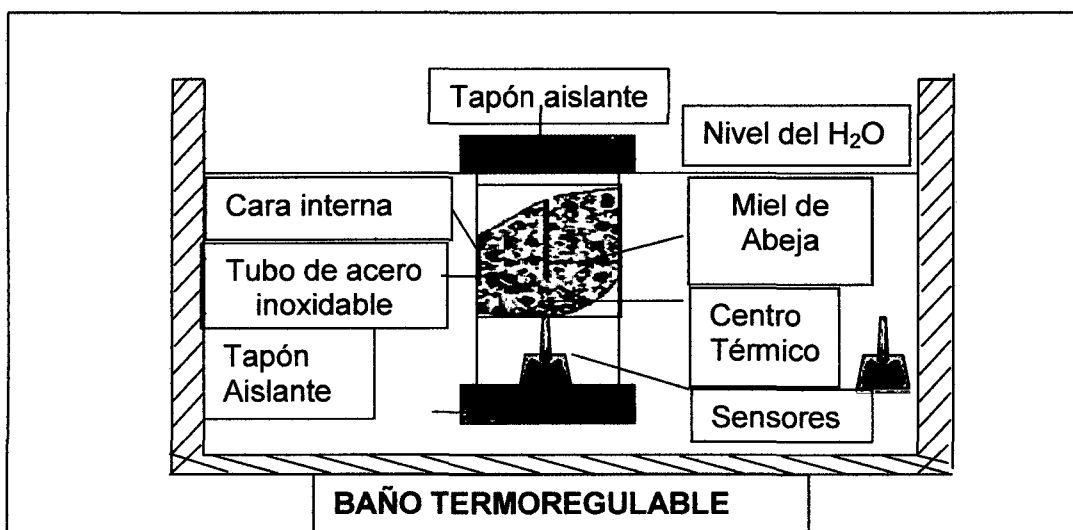
#### **3.6.4 Determinación de la difusividad térmica**

Para la determinación de la difusividad térmica en la miel, se utilizó un método experimental basado en la transferencia de calor en estado no estacionario o transiente y se utilizó el equipo descrito por DICKERSON (1969) modificado por POULSEN (1982). Método basado en el uso de un cilindro de cobre de característica infinita; los extremos del tubo se sellan con tapones aislantes de goma de manera que la transferencia de calor ocurra unidireccionalmente de forma radial. Se supondrá para este caso que la penetración de calor en dirección axial despreciable frente a la penetración de calor en dirección radial como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Dimensiones del tubo de cobre utilizado para la experimento.

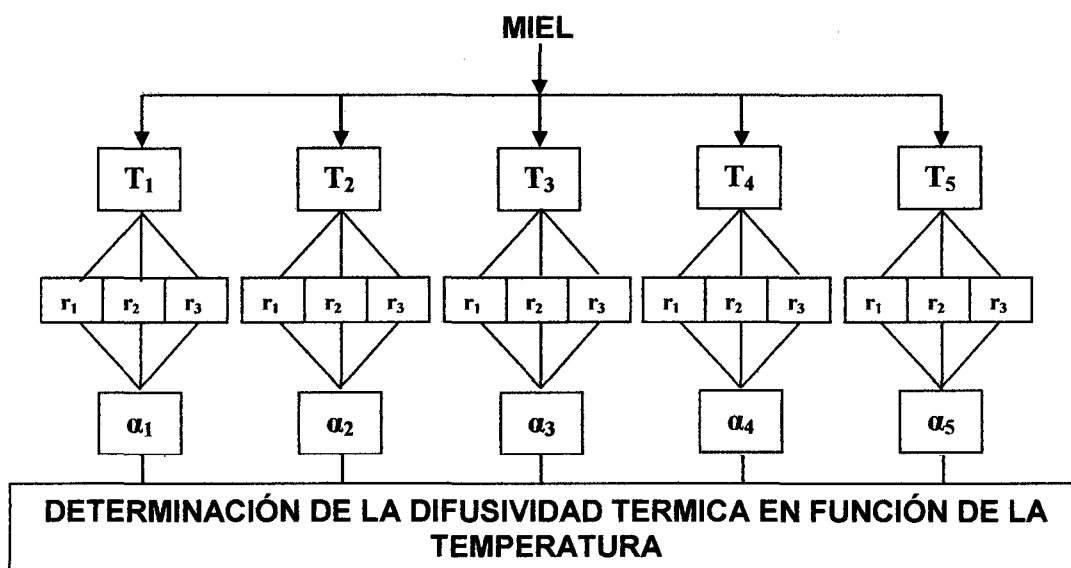
Para la medición de la difusividad térmica el cilindro se rellenó con la muestra de miel silvestre, se colocaron dos sensores al cilindro con el objeto de registrar las temperaturas del centro térmico, como también de la cara interna del cilindro. Se colocaron sensores en el agua de un baño termo regulable como se muestra a continuación en la Figura 2.



**Figura 2.** Equipo utilizado para la obtención del perfil térmico.

### 3.7 Diseño experimental

Para la obtención de los perfiles térmicos en la miel se estudiaron 5 tratamientos térmicos entre 40 °C y 80 °C a intervalos de 10 °C, con 3 repeticiones para cada uno, y con ello se realizó un seguimiento de la difusividad térmica con respecto a la temperatura.



**Figura 3.** Diseño experimental para determinación de la difusividad térmica de miel de abeja silvestre.

#### Leyenda:

$T_i$  = Temperatura del medio de calentamiento °C ( $T_m$ ).

**Temperatura del medio de calentamiento a:**  $T_1 = 40$  °C,  $T_2 = 50$  °C,  $T_3 = 60$  °C,  $T_4 = 70$  °C y  $T_5 = 80$  °C.

**Repeticiones:**  $r_1, r_2, r_3$ .

**Promedio de difusividad:**  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ .

### 3.8 Análisis estadístico

#### 3.8.1 Regresión lineal

FELIPE (2007) menciona que los valores de difusividad térmica



serán sometidos a un análisis de regresión, cuyo modelo matemático, nos da a entender que la relación funcional entre las variables, dependiente (Y) e independiente (X) es una línea recta, se tiene una regresión lineal simple, dada por la siguiente ecuación:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

Donde:

$\beta_0$  : El valor de la ordenada donde la línea de regresión se intercepta al eje Y.

$\beta_1$  : El coeficiente de regresión poblacional (pendiente de la línea recta).

$\varepsilon$  : El error.

El análisis de la regresión lineal simple para la difusividad térmica se presenta en el Cuadro 4.

**Cuadro 4.** Determinación de la difusividad por análisis de regresión simple.

<b>Fuentes</b>	<b>GL</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrados Medios</b>	<b>Fc</b>
Regresión	1	b1.SPXY	b1.SPXY	CM(Regr)/CM(Resd)
Residual Error	n-2	Diferencia	SC/(n-2)	
Total	n-1	SC Y		

Fuente: FELIPE (2007).

Donde la prueba estadística "F" evalúa las hipótesis:

$H_p$  :  $\beta_1 = 0$  No existe una regresión lineal entre X e Y.

$H_a$  :  $\beta_1 \neq 0$  Existe regresión lineal de Y en función de X.

### 3.8.2 Intervalos de confianza para $\beta_1$ (tasa)

En muchos casos es de interés conocer entre que valores se

encuentra el coeficiente de regresión de la población  $\beta_1$  para un cierto grado de confianza fijada, este procedimiento permite hallar los valores llamados límites de confianza, así:

$$b_1 - t_0 S_{b_1} \leq \beta_1 \leq b_1 + t_0 S_{b_1}$$

Donde:

$t_0$  : Es el valor "t" tabular al nivel de significación.

$\alpha$  y  $n-2$  : Grados de libertad ( $t_0 = t_{\alpha, n-2}$ ).

### 3.8.3 Análisis de correlación

El análisis de correlación se aplicó métodos para medir la significación del grado intensidad de asociación entre dos o más variables.

El concepto de correlación está estrechamente vinculado al concepto de regresión, pues, para que una ecuación de regresión sea razonable los puntos muestrales deben estar ceñidos a la ecuación de regresión; además el coeficiente de correlación debe ser:

- Grande cuando el grado de asociación es alto (cerca de +1 o -1, y pequeño cuando es bajo, cerca de cero).
- Independiente de las unidades en que se miden las variables.

### 3.8.4 Coeficiente de correlación Lineal Simple (r)

Es un número que indica el grado o intensidad de asociación entre las variables X e Y. Su valor varía entre -1 y +1; esto es:

$$-1 \leq r \leq 1$$

Donde:

Si  $r = -1$ , la asociación es perfecta pero inversa; es decir, a valores altos de una variable le corresponde valores bajos a la otra

variable, y viceversa.

Si  $r = +1$ , también la asociación es perfecta pero directa.

Si  $r = 0$ , no existe asociación entre las dos variables.

Luego puede verse que a medida que  $r$  se aproxime a  $-1$  ó  $+1$  la asociación es mayor, y cuando se aproxima a cero la asociación disminuye o desaparece. El coeficiente de correlación está dada por:

$$r = \frac{SPXY}{\sqrt{SCX \cdot SCY}}$$

### 3.8.5 Coeficiente de determinación ( $R^2$ )

Mide el porcentaje de variación en la variable respuesta, explicada por la variable independiente.

De la descomposición de la suma de cuadrados total, se obtuvo:

$$SCT = SCR + SCE$$

**SCR** = Suma de cuadrados de la regresión.

**SCE** = Suma de cuadrados residual (error).

Dividiendo ambos miembros por la SCT, se tiene:

$$1 = SCR/SCT + SCE/SCT$$

### 3.8.6 Interpretación de $R^2$

Se interpreta como una medida de ajuste de los datos observados y proporciona el porcentaje de la variación total explicada por la regresión.  $R^2$  es un valor positivo, expresado en porcentaje es menor de 100. También, se puede obtener el  $R^2$  ajustado que es la relación entre cuadrados medios, así:

$$R^2 \text{ ajustado} = 1 - CME / CM \text{ Total};$$

Este valor podría ser negativo en algunos casos. Lo que se espera que ambos  $R^2$ , resulten similares, para dar una confianza al coeficiente de

determinación.

En el Cuadro 5, se muestra los parámetros estadísticos para el análisis en el presente trabajo de investigación.

**Cuadro 5.** Parámetros estadísticos.

<b>Intervalos de Confianza</b>	<b>Coefficiente de correlación</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>
$b_1 - t_0 S_{b_1} \leq \beta_1$ $\leq b_1 + t_0 S_{b_1}$	$-1 \leq r \leq 1.$	$1 - \text{SCR}/\text{SCT} + \text{SCE}/\text{SCT}$	$1 - \text{CME}/\text{CM}$ Total

Fuente: FELIPE (2007).

## IV RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1 Características fisicoquímicas de miel de abeja silvestre

#### 4.1.1 Humedad

Los valores medios de humedad de la miel muestran que son similares por varios autores como límite para una miel de buena calidad (BELITZ y GROSCH, 1997).

En general los valores obtenidos indican una madurez y momento de extracción de la miel adecuada en especial por tratarse de mieles obtenidos en los caseríos de Mercedes Locro, Huanganapampa, Venadopampa y Venenillo del distrito de Rupa Rupa, donde predomina el clima subtropical húmedo.

Cabe destacar que estas mieles no presentaron alteraciones ni se detectaron signos de fermentación a lo largo de todo el período del estudio.

El contenido en agua de la miel es un factor determinante de su calidad que influye en la viscosidad, peso específico y sabor, condicionando la palatabilidad y sabor. Es un parámetro importante en la determinación de la vida útil del producto (SNOWDON CLIVER, 1996; BOGDANOV *et al.*, 2002).

Cuando la miel está en torno al 18 % de agua, la cristalización hace que aumente el contenido de agua de la fase líquida y por tanto la  $a_w$  puede alcanzar fácilmente un nivel en el que puede ocurrir la fermentación por levaduras osmófilas (ICMSF, 2001; TOSI *et al.*, 2004).

Los valores medios de la humedad en el Cuadro 6, son similares a

los encontrados por distintos autores sobre mieles españolas de diferentes orígenes geográficos y botánicos (SANZ y TRIGUERO, 1970; SERRA y CAÑAS, 1988; PÉREZ- ARQUILLUÉ *et al.*, 1990; SERRA y VENTURA, 1993;; SANZ *et al.*, 1995; 1996; SAN JUÁN *et al.*, 1997; LÓPEZ, 1998; CAVIA *et al.*, 2002).

Los resultados obtenidos del contenido de humedad se muestran en el Cuadro 6.

**Cuadro 6.** Humedad de la miel en g/100 g de miel.

Nº de muestras	Valor medio	Desviación estándar	Rango	Coefficiente de variabilidad
10	17,76	0,4623	17,0 – 18,4	2,603

Los valores representan el promedio  $\pm$  SEM con n=10.

#### 4.1.2 Sólidos insolubles y sólidos totales

Los valores de los sólidos insolubles de la miel son similares a lo reportado por distintos autores sobre mieles españolas de diferentes orígenes geográficos y botánicos (SANZ y TRIGUERO, 1970; SERRA y CAÑAS, 1988).

Los resultados obtenidos de sólidos insolubles y sólidos totales se muestran en los Cuadros 7 y 8.

**Cuadro 7.** Sólidos insolubles en (%) de la miel.

Nº de muestras	Valor medio	Desviación estándar	Rango	Coefficiente de variabilidad
10	0,07494	0,00275	0,0712 – 0,0798	2,2443

Los valores medios de los sólidos totales de la miel son similares a

lo reportado por SANZ *et al.*, (1995); MILLÁN *et al.*, (1995); LÓPEZ (1998) en mieles de la isla de Gran Canaria; SAN JUÁN *et al.*, (1997) en mieles de la isla de las Palmas; BALANZA (2003) en mieles de Argentina.

**Cuadro 8.** Solidos totales en (%) de la miel.

<b>Nº de muestras</b>	<b>Valor medio</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Rango</b>	<b>Coefficiente de variabilidad</b>
10	82.02	0,4611	81,47 – 82,02	0,5622

#### **4.1.3 Cenizas**

Los resultados de las Cenizas de la miel pueden estar asociados a los métodos de extracción de la miel ya que en un 75 % usan prensado de madera y un 25 % prensado mediante la mano.

Los resultados de las cenizas hallados en el Cuadro 9 son similares a los encontrados por SERRA y CAÑAS (1988); PÉREZ-ARQUILLUÉ *et al.*, (1990); SERRA y VENTURA (1993); SAN JUÁN *et al.*, (1997) y LÓPEZ (1998). Todos los resultados, parecen indicar un origen floral, para este tipo de mieles. Nuestros valores fueron inferiores a los obtenidos por HUIDOBRO y SIMAL (1984); RIOLOBOS (1988); FRÍAS *et al.*, (1991); SÁNCHEZ y PUJOLÁ (1996) en mieles españolas.

Y fueron superiores a los obtenidos por (BALANZA, 2003; DOWNEY *et al.*, 2005; FINOLA *et al.*, 2007; ACQUARONE *et al.*, 2007; OUCHEMOUKH *et al.*, 2007).

Los resultados obtenidos de cenizas se muestran en el Cuadro 9.

**Cuadro 9.** Cenizas (%) de la miel.

<b>N° de muestras</b>	<b>Valor medio</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Rango</b>	<b>Coefficiente de variabilidad</b>
10	0,5874	0,0728	0,462– 0,658	12,393

#### 4.1.4 Acidez libre

Los valores de la acidez libre de las mieles presentan alguna diferencia entre las 10 muestras y con mayor variabilidad. Sin embargo no superó al 50 meq/kg establecidos como límite máximo en las normas de calidad.

Pese a los valores de acidez obtenida, nuestras mieles no presentaron alteraciones a lo largo de todo el período de análisis, y no se detectaron signos de fermentación.

Hay mieles que de forma natural y recién extraídas presentan una acidez libre mayor que el límite legal estipulado, sin que por ello planteen problemas de fermentación, conservación ni alteración (SANZ y TRIGUERO, 1970; RIOLOBOS, 1988; SANCHO *et al.*, 1991; FRÍAS *et al.*, 1991; SANZ *et al.*, 1995).

Los resultados obtenidos de acidez libre se muestran en el Cuadro 10.

**Cuadro 10.** Acidez libre en (meq/kg) de la miel.

<b>N° de muestras</b>	<b>Valor medio</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Rango</b>	<b>Coefficiente de variabilidad</b>
10	33,98	2,4368	30,45– 36,58	7,170



#### 4.1.5 pH

Nuestros valores de pH son semejantes a los encontrados en la bibliografía, en la que aparecen rangos mayores, de 3,5 al 6,1 en mieles saudíes (AL-KHALIFA, 1999) y con desviaciones estándar más elevadas, o mayores variaciones (SANCHO *et al.*, 1991). En cambio BALANZA (2003) encontró diferencias significativas para el pH y los valores se presentaban en un rango reducido, con Desviaciones estándar muy pequeñas y coeficientes de variación inferiores al 5 %. PÉREZ-ARQUILLUÉ *et al.*, (1990) en un estudio para establecer diferencias entre mieles de frutales (*Prunus amygdalus* + *Prunus sp.*), de romero (*Rosmatinus officinalis*), zadorija (*Hypocoum procumbens*) y sauce (*Salix sp.*) de Zaragoza, encontraron valores de pH en frutales superiores a 4, mientras que en las restantes fueron de 3,7; 3,65 y 3,68 respectivamente.

Según FRÍAS *et al.*, (1991) si el pH de las disoluciones acuosas de miel es superior a 4,5 indica un posible origen de mielada. El 67,83 % de los valores de pH de las muestras estudiadas son semejantes a los obtenidos por BOSCH-REIG y MATEO (1984).

Los resultados obtenidos de pH se muestran en el Cuadro 11.

**Cuadro 11.** pH de la miel (solución 10 g de miel + 75 ml de agua).

Nº de muestras	Valor medio	Desviación estándar	Rango	Coficiente de variabilidad
10	4,26	0,1011	4,12– 4,45	2,370

Los valores obtenidos de humedad y pH indican que las mieles estudiadas corresponden a un producto estable e indican que el momento de

su extracción y de madurez son adecuados y los valores de pH y contenido en cenizas obtenidos permiten deducir que en general se trata de mieles de origen típicamente floral.

#### 4.1.6 Parámetros del color

Los valores medios de Luminosidad  $L^*$  resultaron tener diferencias entre las muestras y con bastante variabilidad. Todas las muestras presentaron valores de luminosidad positiva ya que son todos superiores a 0.

Según CIELAB (1976) el parámetro  $L^*$  varía de 0 a 100 (0 es negro y 100 blanco). Un valor positivo indica que el color de la muestra es más claro que el modelo y un valor negativo indica que el color de la muestra es más oscuro.

Los resultados obtenidos del parámetro del color  $L$  se muestra en el Cuadro 12.

**Cuadro 12.** Valores de  $L^*$  (luminosidad) de la miel.

N° de muestras	Valor medio	Desviación estándar	Rango	Coefficiente de variabilidad
10	13,956	2,395	10,25– 17,58	17,167

Los valores medios de  $a^*$  se indican en el cuadro 13, de las muestras son poco diferentes, lo que significa que representa al color verde.

El 8,47 % correspondientes a 10 muestras del total presentó valores negativos lo que indica que el color de estas muestras es verde, siendo el resto de color rojo 91,53 %, pues de acuerdo con los valores del espacio de color  $L^* a^* b^*$  (CIELAB 1976) si el valor de  $a^*$  es  $> 0$  el color es rojo y si es  $< 0$  el color es verde. Según los resultados estadísticos el valores de  $a^*$  en las

muestras son significativamente superiores.

Los resultados obtenidos del parámetro del color valor de a se muestra en el Cuadro 13.

**Cuadro 13.** Valores de a\* (color rojo - verde) de la miel.

<b>N° de muestras</b>	<b>Valor medio</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Rango</b>	<b>Coefficiente de variabilidad</b>
10	2,107	0,630	1,23 - 2,94	29,92

Los valores medios de b\* resultaron tener diferencias entre las muestras y con bastante variabilidad. Todas las muestras estudiadas presentaron color amarillo de acuerdo con los valores del espacio de color L\* a\* b\* (CIELAB 1976). Si el valor de b\* es > 0 el color es amarillo y si el valor fuera < 0 el color es azul.

Los resultados obtenidos de luminosidad presentados en el Cuadro 12 son superiores a los de ANUPAMA *et al.*, (2003) pero son inferiores a los encontrados por BALANZA (2003) en mieles uniflorales.

Y para el caso de los parámetros a\* y b\* los valores obtenidos en nuestro estudio presentados en las (Cuadros 13 y 14) son inferiores a los encontrados por ANUPAMA *et al.*, (2003); BALANZA (2003) encontró valores inferiores de L\* a\* b\* a los nuestros en mieles de Madrid.

Los resultados obtenidos del parámetro del color valor de b se muestra en el Cuadro 14.

**Cuadro 14.** Valores de  $b^*$  (color amarillo - azul) de la miel.

<b>N° de muestras</b>	<b>Valor medio</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Rango</b>	<b>Coefficiente de variabilidad</b>
10	5,867	0,982	4,57 – 7,14	16,74

#### **4.2 Difusividad térmica en soluciones de sacarosa**

Como forma de cuantificar el posible efecto de convección producido en la miel al ser sometida al calentamiento, se midió esta propiedad a diferentes concentraciones y temperaturas de soluciones de sacarosa.

En el cuadro 15, se observa una dependencia de la difusividad térmica con la temperatura, mostrando una relación que al aumentar la temperatura del tratamiento aumenta la difusividad térmica de las soluciones de sacarosa, lo cual indica que a mayor temperatura de exposición de la solución menor es el tiempo para alcanzar la temperatura deseada MUÑOZ (2002).

En relación con la concentración en las soluciones, se observó una relación inversa entre el valor de la difusividad térmica y la concentración en ellas, mostrando que soluciones con mayor contenido de agua presentan una velocidad de transferencia de calor más alta. Esto es porque en soluciones de bajas concentraciones, el agua es uno de los principales componentes y por ende el principal medio de transferencia de energía.

El incremento experimentado en el valor de la difusividad térmica, al aumentar la temperatura del medio de calentamiento, se justifica debido que el alto contenido de humedad que conlleva a una aceleración en la propagación de calor, al ser el agua el principal medio de transferencia de energía (JIMENEZ y KASAHARA, 1991).

**Cuadro 15.** Difusividad térmica promedio en soluciones de sacarosa.

Concentración °brix	Tratamiento Térmico T <sub>m</sub> °C	Temperatura inicial T <sub>o</sub> °C	Difusividad térmica 10 <sup>-7</sup> m <sup>2</sup> /s	desviación estándar 10 <sup>-7</sup> m <sup>2</sup> /s
60	50	20 ± 1	2,04	±0,13
	60		2,18	±0,22
	70		2,15	±0,08
70	50	20 ± 1	1,83	±0,04
	60		2,12	±0,06
	70		2,16	±0,21

### 4.3 Determinación de difusividad térmica de miel de abeja a diferentes tratamientos

La difusividad térmica es una propiedad termo física de una sustancia, la cual entrega informaciones acerca de la propagación de calor en dicha sustancia.

La difusividad térmica  $\alpha$ , no es otra que la relación entre la conductividad térmica y el calor específico multiplicado por su densidad, esta propiedad aporta información acerca de la velocidad con la cual la miel es calentada o enfriada.

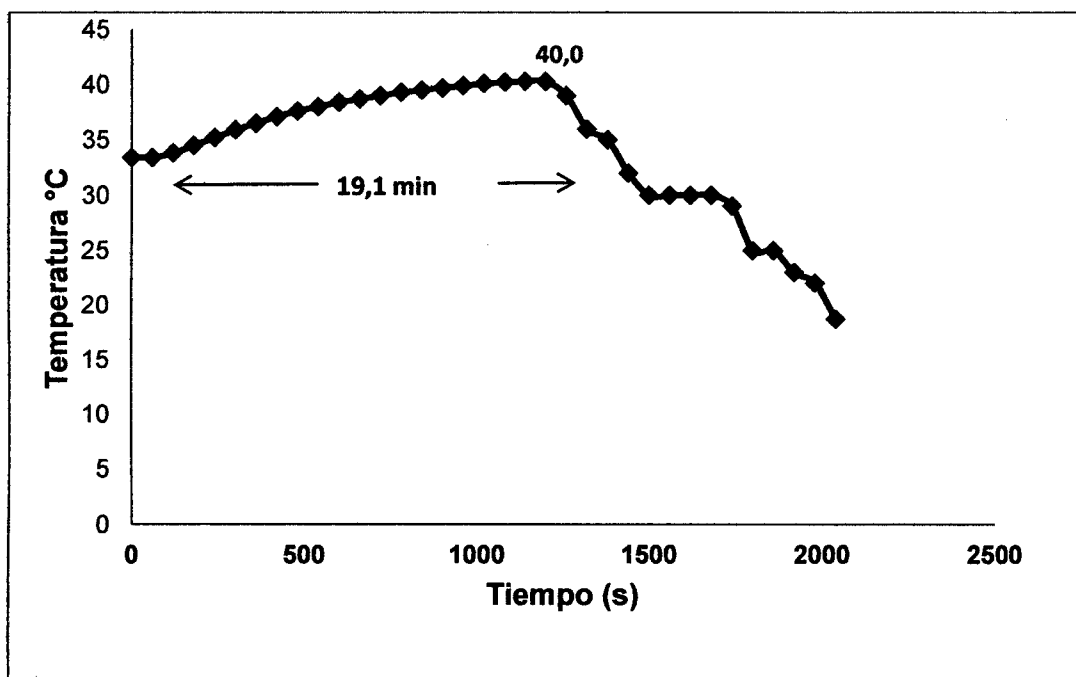
#### 4.3.1 Cálculo de difusividad térmica de miel de abeja a 40 °C

En el Cuadro 16, se muestra las variables y constantes para determinar la difusividad térmica de la miel de abeja a 40 °C, donde el promedio de la pendiente  $m = \frac{\alpha}{0,398 \cdot r^2}$  es  $1,198 \times 10^{-3}$  y el promedio de la difusividad térmica es  $1,1010 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ .

**Cuadro 16.** Determinación de la difusividad térmica de miel silvestre a 40 °C.

Pendiente	Desviación estándar de la pendiente	R <sup>2</sup>	Promedio de pendiente	Difusividad térmica (m <sup>2</sup> /s)	Promedio Difusividad termina (m <sup>2</sup> /s)	Desviación estándar de la difusividad
1,250E-03		0,991		1,1497E-07		
1,254E-03	9,413E-05	0,978	1,198E-03	1,1527E-07	1,101E-07	8,656E-09
1,089E-03		0,983		1,0013E-07		

En la Figura 4, se presenta el comportamiento de penetración de calor en miel de abeja a 40 °C, observándose que a los 19,1 minutos alcanza una temperatura de 40,3 °C, en esta curva no presenta una pendiente pronunciada debido a que la diferencia de temperaturas de transferencia de calor es de tan solo 12 °C.

**Figura 4.** Curva de penetración de calor a 40 °C.

En la Figura 5, se aprecia que el máximo valor de  $\log\left(1,6 * \frac{T_m - T_o}{T_m - T}\right)$

es 1,53 a un tiempo de 19,1 minutos, referente a la curva de penetración de calor a 40°C.

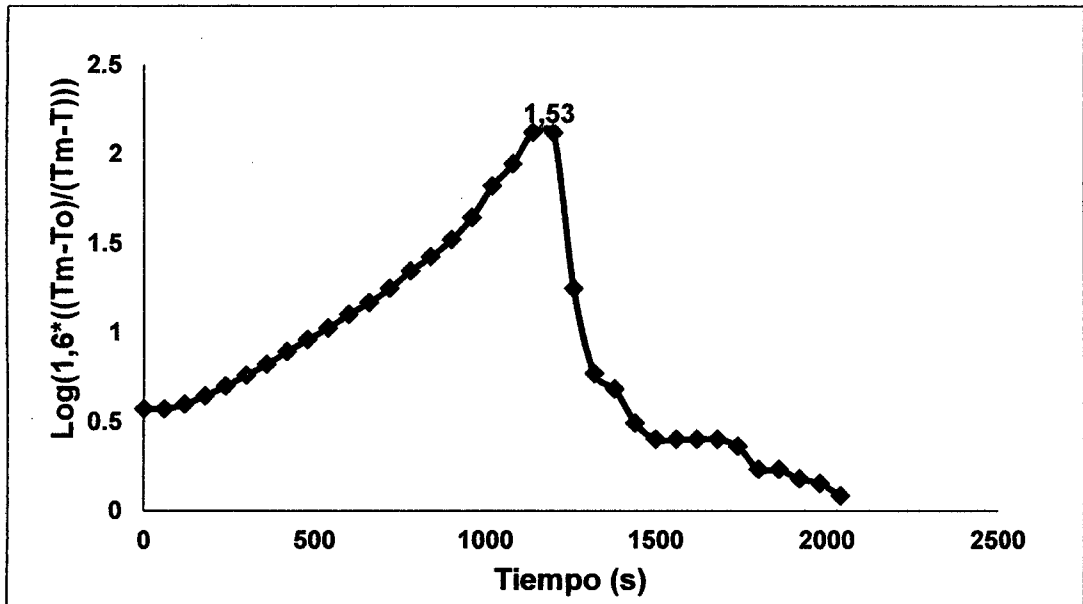


Figura 5. La representación semilogarítmica en función al tiempo t, a 40 °C.

En la Figura 6, se muestra el análisis de regresión lineal donde la pendiente de linealización  $m = \frac{\alpha}{0,398 \cdot r^2}$  es de 0,001250 con un  $R^2 = 0,991258$ .

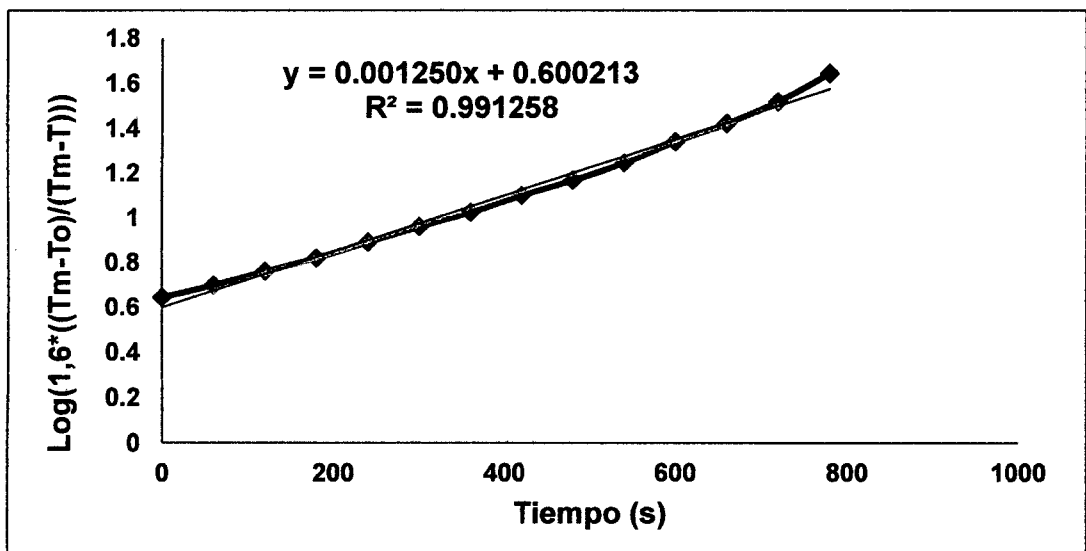


Figura 6. Pendiente de la recta de calentamiento a 40 °C.

JARA (2012) menciona que el objetivo principal de la regresión lineal es construir un modelo que permita predecir el valor de la variable

dependiente cuando los valores de las variables predictorias toman valores determinados, dentro de los rangos en los cuales el modelo fue calculado.

#### 4.3.2 Calculo de difusividad térmica de miel de abeja a 50 °C

En el Cuadro 17, se muestra las variables y constantes para determinar la difusividad térmica de la miel de abeja 50 °C, donde el promedio de la pendiente  $m = \frac{\alpha}{0,398*r^2}$  es  $1,271 \times 10^{-3}$  y el promedio de la difusividad térmica es  $1,168 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ , mostrándose también el coeficiente de correlación ( $R^2$ ) de 0,959; 0,979 y 0,953 respectivamente para las tres repeticiones.

**Cuadro 17.** Determinación de la difusividad térmica de la miel silvestre a 50 °C.

Pendiente	Desviación estándar de la pendiente	$R^2$	Promedio de pendiente	Difusividad térmica ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	Promedio Difusividad termina ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	Desviación estándar de la difusividad
1,270E-03		0,959		1,1676E-07		
1,278E-03	7,374E-06	0,979	1,271E-03	1,1756E-07	1,168E-07	6,780E-10
1,264E-03		0,953		1,1621E-07		

En la Figura 7, se presenta el comportamiento de penetración de calor en la miel de abeja a 50 °C, observándose que a los 24,1 minutos alcanza una temperatura de 48,1 °C mientras que a 19,9 minutos se obtuvo una temperatura de 46,5 °C y solo demoro en obtener una pendiente significativa positiva hasta los 19,9 minutos. Estos resultados es debido a que la temperatura del baño maría es de 50 °C. GARCÍA (2009) determino la difusividad térmica de la pulpa de noni (*Morinda citrifolia* L.) obteniendo para 50 °C un  $\alpha = 1,38 \pm 0,1 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  y para 55 °C un  $\alpha = 1,47 \pm 0,2 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ .

JARA (2012) menciona que la pulpa de yacón presenta una



difusividad térmica promedio para 50 °C, un valor de  $1,30 \pm 0,26 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ .

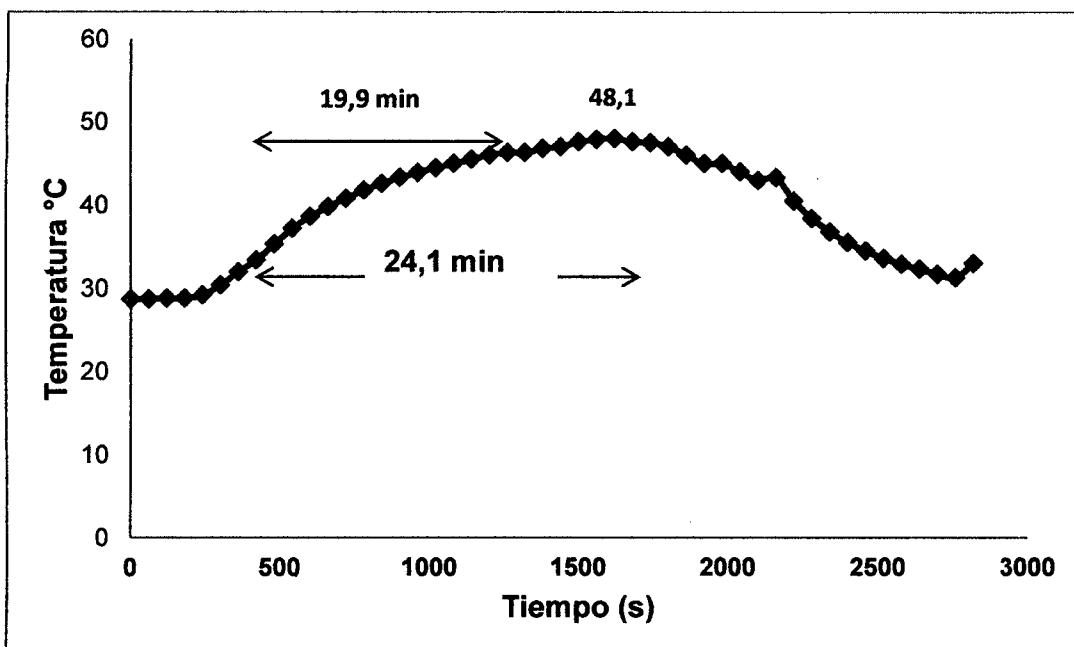


Figura 7. Curva de penetración de calor a 50 °C.

En la Figura 8, se aprecia que el máximo valor de  $\log(1,6 * \frac{T_m - T_o}{T_m - T})$

es 2,3 a un tiempo de 29 minutos.

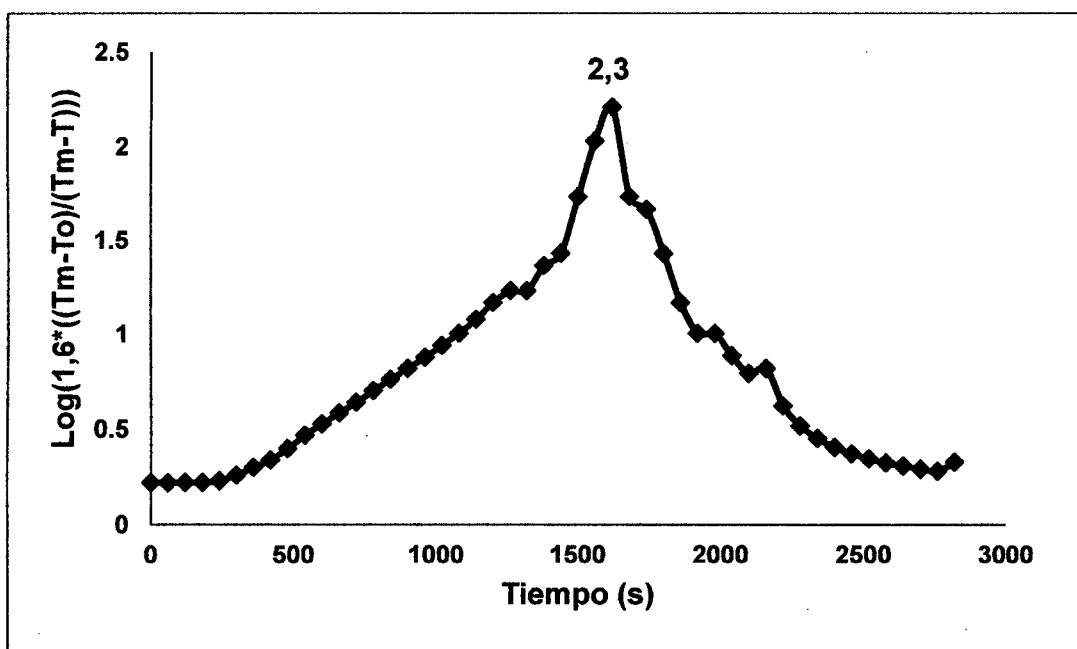
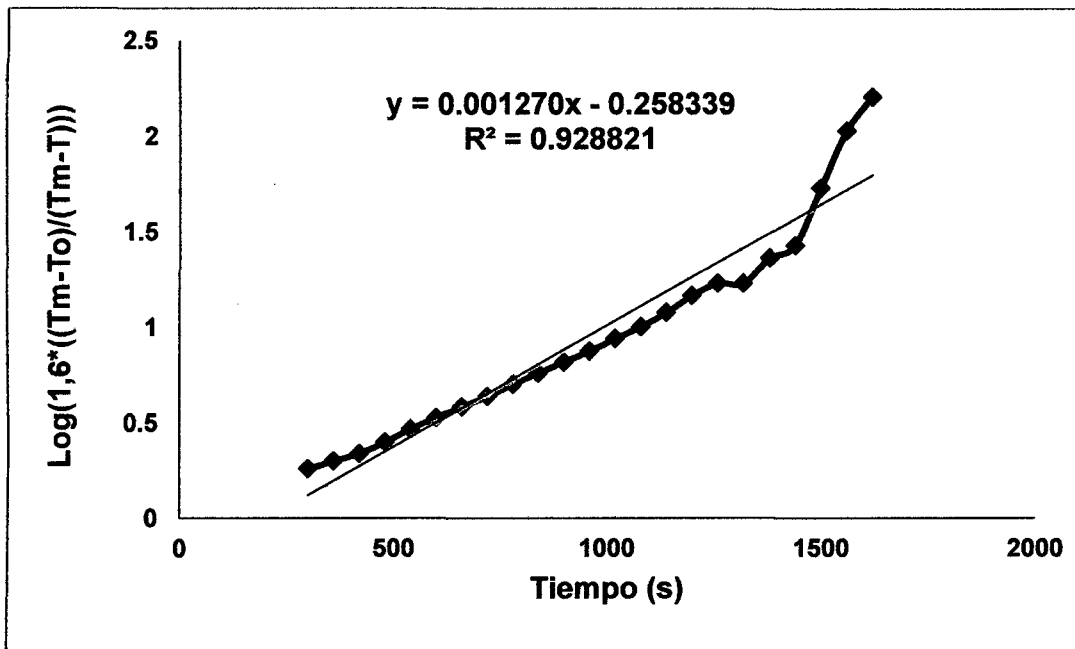


Figura 8. La representación semilogarítmica en función al tiempo t, a 50 °C.

En la Figura 8, se muestra el análisis de regresión lineal donde la pendiente de liberalización  $m = \frac{\alpha}{0,398 \cdot r^2}$  es de 0,001270 con un  $R^2 = 0,928821$ .



**Figura 9.** Pendiente de la recta de calentamiento a 50 °C.

JARA (2012) menciona que el objetivo principal de la regresión lineal es construir un modelo que permita predecir el valor de la variable dependiente cuando los valores de las variables predictorias toman valores determinados, dentro de los rangos en los cuales el modelo fue calculado.

#### 4.3.3 Cálculo de difusividad térmica de miel de abeja a 60 °C

En el Cuadro 18, se muestra las variables y constantes para determinar la difusividad térmica de la miel de abeja 60 °C, donde el promedio de la pendiente  $m = \frac{\alpha}{0,398 \cdot r^2}$  es  $1,361 \times 10^{-3}$  y el promedio de la difusividad térmica es  $1,252 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ , mostrándose también el coeficiente de correlación ( $R^2$ ) de 0,984; 0,993 y 0,987 respectivamente para las tres repeticiones.

**Cuadro 18.** Determinación de difusividad térmica de miel silvestre a 60 °C.

Pendiente	Desviación estándar de la pendiente	R <sup>2</sup>	Promedio de pendiente	Difusividad térmica (m <sup>2</sup> /s)	Promedio Difusividad termina (m <sup>2</sup> /s)	Desviación estándar de la difusividad
1,315E-03		0,984		1,2088E-07		
1,398E-03	4,261E-05	0,993	1,361E-03	1,2853E-07	1,252E-07	3,918E-09
1,372E-03		0,987		1,2617E-07		

En la Figura 10, se presenta el comportamiento de penetración de calor en miel de abeja a 60 °C, observándose que a los 27,9 minutos alcanza una temperatura de 56,1 °C mientras que a 15,3 minutos se obtuvo una temperatura de 51,1 °C. Estos resultados es debido a que la temperatura del baño maría es de 60 °C.

GARCÍA (2009) determino la difusividad térmica de la pulpa de noni (*Morinda citrifolia L.*) obteniendo para 60 °C un  $\alpha = 1,53 \pm 0,09 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  y para 65 °C un  $\alpha = 1,59 \pm 0,2 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ . MUÑOZ (2002) menciona que la pasta de murta (*Ugni molinae turez*), presenta una difusividad térmica promedio de rango de 60 a 70 °C, un valor de  $1,15 \pm 0,06 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ .

BARBARA *et al.*, (1991) mencionan que la pulpa del meollo de caña de azúcar con variación de humedad (0, 19.36, 26.26, 29.87, 32.8 y 47 % respectivamente, tiene una difusividad térmica promedio para: 30 °C, un valor de (1,492; 1,768; 2,188; 1,927; 1,623; 1,217)  $\times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ ; 60 °C, un valor de (1,695; 2,501; 3,652; 2,840; 2,420; 2,159)  $\times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  y a 90 °C un valor de (2,217; 3,480; 4,270; 3,871; 2,817; 2,739)  $\times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ .

JARA (2012) menciona que la pulpa de yacón presenta una

difusividad térmica promedio para 60 °C, un valor de  $1,36 \pm 0,22 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ .

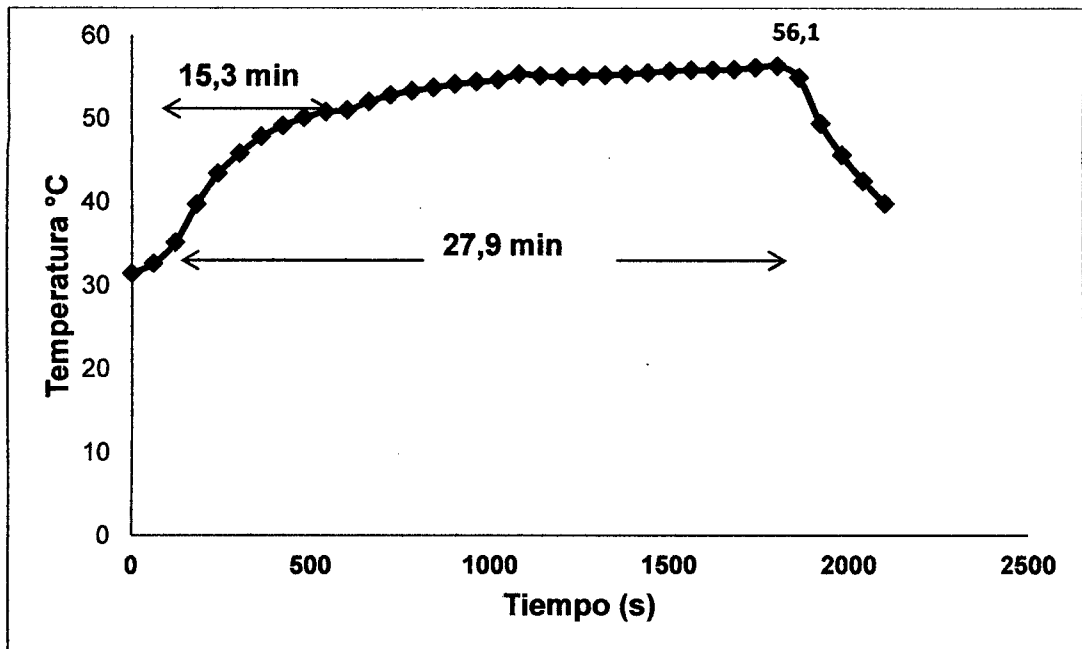


Figura 10. Curva de penetración de calor a 60 °C.

En la Figura 11, se aprecia que el máximo valor de  $\log\left(1,6 \cdot \frac{T_m - T_o}{T_m - T}\right)$

es 1,82 a un tiempo de 30,1 minutos.

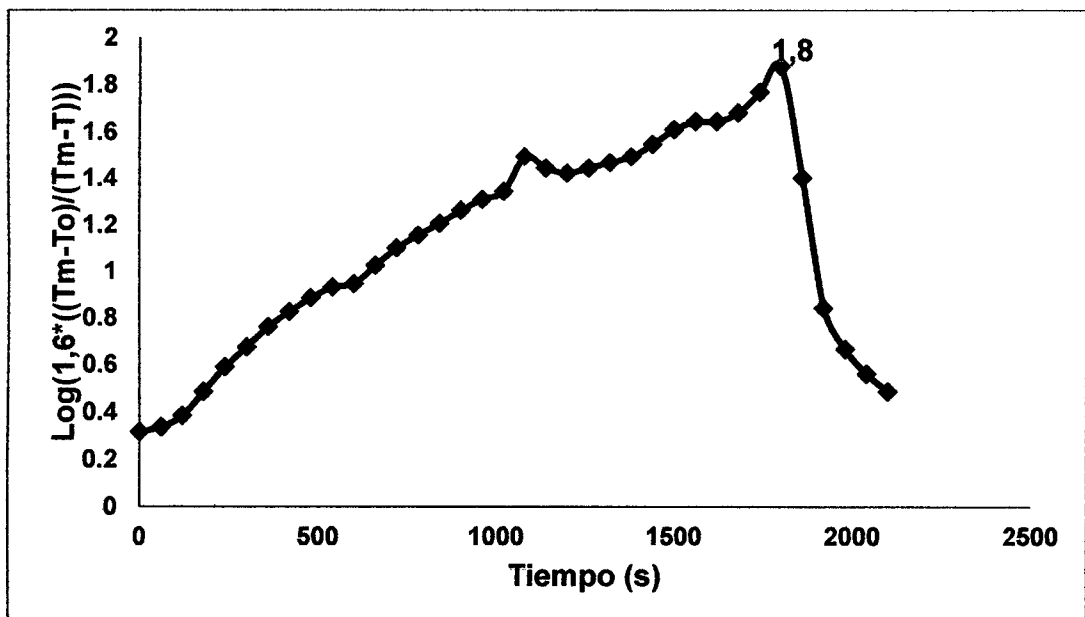
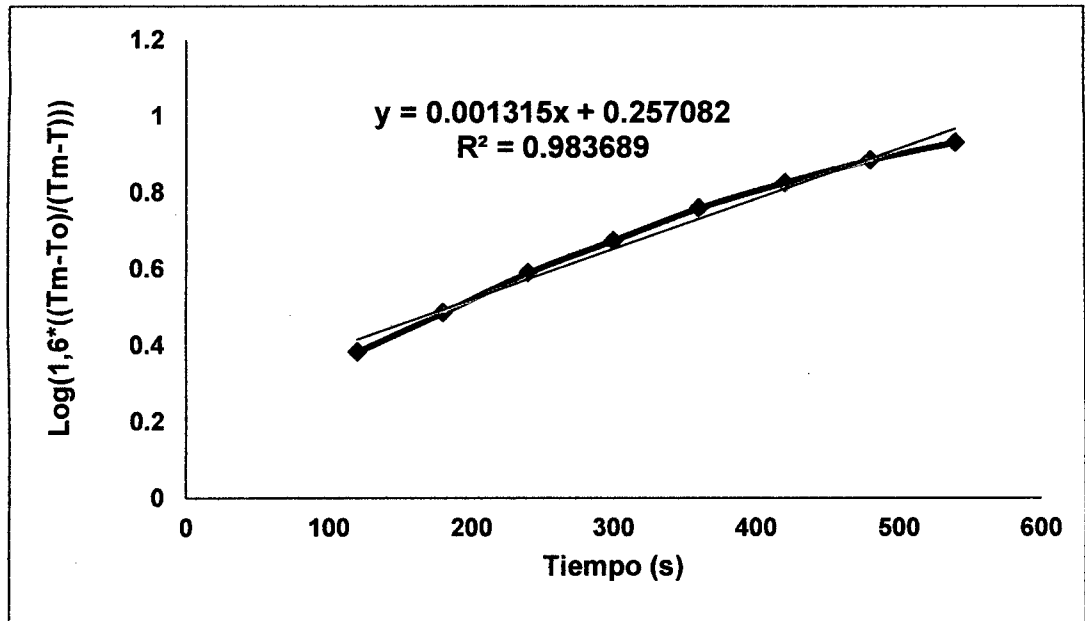


Figura 11. La representación semilogarítmica en función al tiempo t, a 60 °C.

En la Figura 12, se muestra el análisis de regresión lineal donde la pendiente de linealización  $m = \frac{\alpha}{0,398 * r^2}$  es de 0,001315 con un  $R^2 = 0,983689$ .



**Figura 12.** Pendiente de la recta de calentamiento a 60 °C.

JARA (2012) menciona que el objetivo principal de la regresión lineal es construir un modelo que permita predecir el valor de la variable dependiente cuando los valores de las variables predictorias toman valores determinados, dentro de los rangos en los cuales el modelo fue calculado.

#### 4.3.4 Cálculo de difusividad térmica de miel de abeja a 70 °C

En el Cuadro 19, se muestra las variables y constantes para determinar la difusividad térmica de la miel de abeja silvestre a 70 °C. Donde el promedio de la pendiente  $m = \frac{\alpha}{0,398 * r^2}$  es  $1,571 \times 10^{-3}$  y el promedio de la difusividad térmica es  $1,445 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ , mostrándose también el coeficiente de correlación ( $R^2$ ) de 0,990; 0,984 y 0,954 respectivamente para las tres repeticiones.

**Cuadro 19.** Determinación de la difusividad de la miel de abeja a 70 °C.

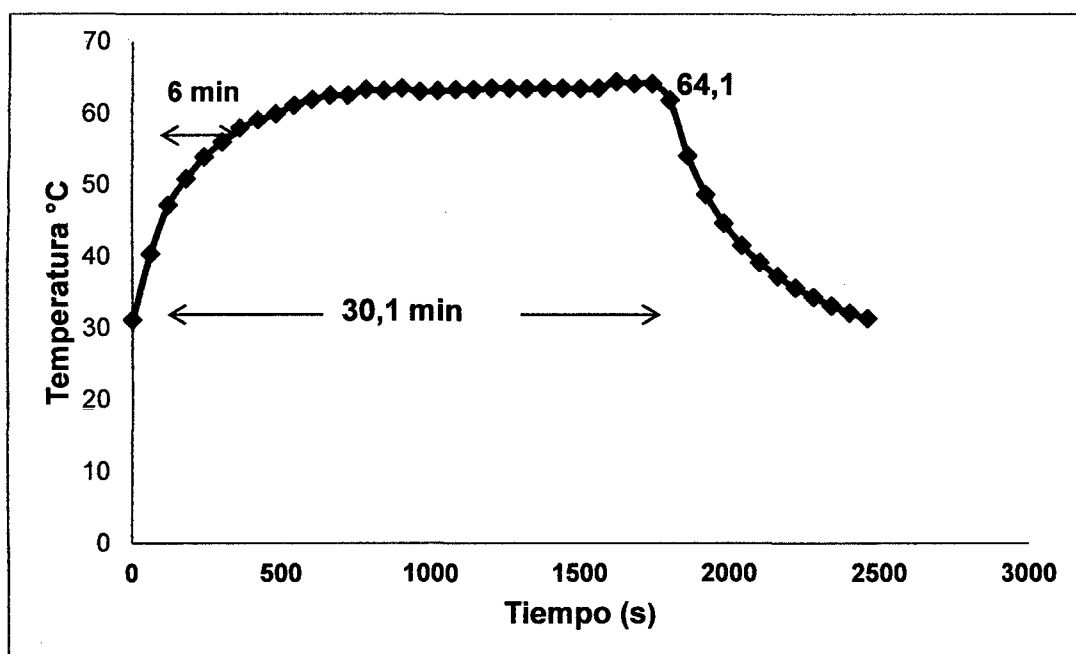
Pendiente	Desviación estándar de la pendiente	R <sup>2</sup>	Promedio de pendiente	Difusividad térmica (m <sup>2</sup> /s)	Promedio Difusividad termina (m <sup>2</sup> /s)	Desviación estándar de la difusividad
1,567E-03		0,990		1,4407E-07		
1,569E-03	6,176E-06	0,984	1,571E-03	1,4427E-07	1,445E-07	5,679E-10
1,578E-03		0,954		1,4514E-07		

En la Figura 13, se presenta el comportamiento de penetración de calor en la miel de abeja silvestre a 70 °C, observándose que a los 30,1 minutos alcanza una temperatura de 64,1 °C, mientras que a 6 minutos se obtuvo una temperatura de 57,6 °C, obteniéndose una pendiente significativa positiva hasta los 6 minutos. Estos resultados es debido a que la temperatura del baño maría es de 70 °C.

GARCÍA (2009) determino la difusividad térmica de la pulpa de noni (*Morinda citrifolia* L.) obteniendo para 70 °C un  $\alpha = 1,71 \pm 0,2 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s y para 75 °C un  $\alpha = 1,80 \pm 0,09 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s.

MUÑOZ (2002) menciona que la pasta de murta (*Ugni molinae* turez), presenta una difusividad térmica promedio de rango de 70 a 80 °C, un valor de  $1,24 \pm 0,07 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s.

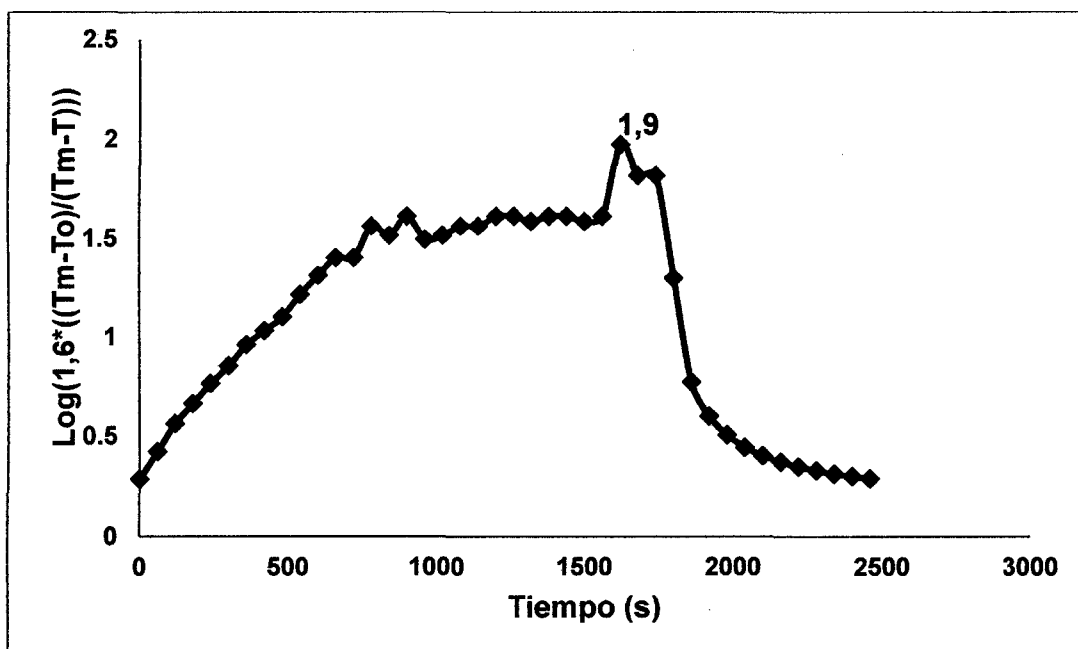
JARA (2012) menciona que la pulpa de yacón presenta una difusividad térmica promedio para 70 °C, un valor de  $1,48 \pm 0,29 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s.



**Figura 13.** Curva de penetración de calor a 70 °C.

En la Figura 14, se aprecia que el máximo valor de  $\log(1,6 * \frac{T_m - T_o}{T_m - T})$

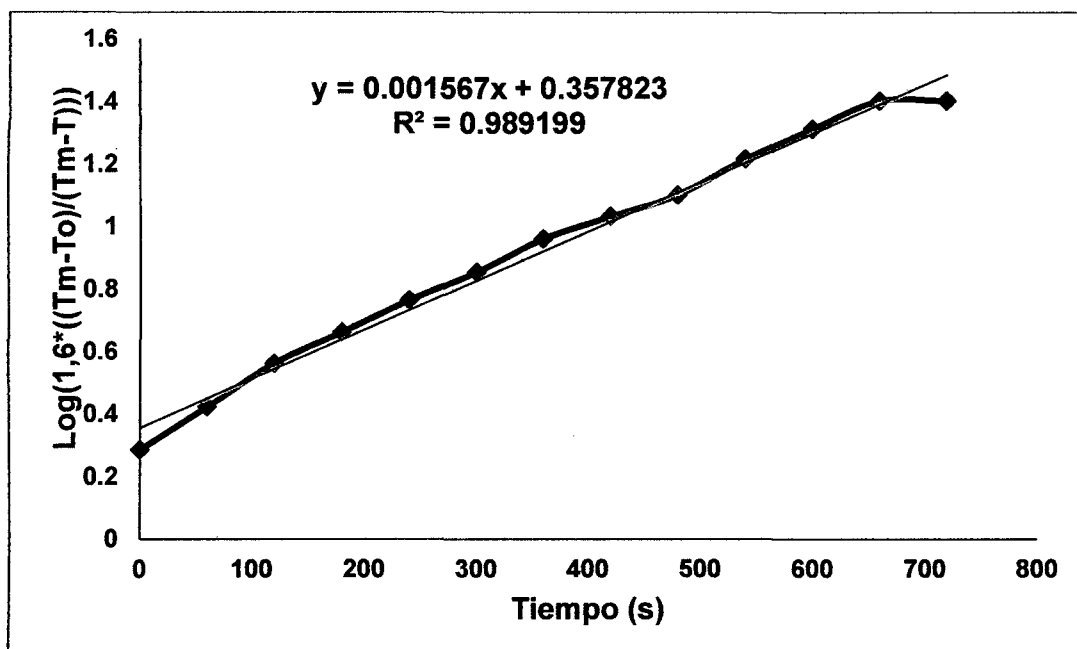
es 1,9 a un tiempo de 30,1 minutos.



**Figura 14.** La representación semilogarítmica en función al tiempo t, a 70 °C.

En la Figura 15, se muestra el análisis de regresión lineal donde la

pendiente de liberalización  $m = \frac{\alpha}{0,398+r^2}$  es de 0,0011567 con un  $R^2 = 0,989199$ .



**Figura 15.** Pendiente de la recta de calentamiento a 70 °C.

JARA (2012) menciona que el objetivo principal de la regresión lineal es construir un modelo que permita predecir el valor de la variable dependiente cuando los valores de las variables predictorias toman valores determinados, dentro de los rangos en los cuales el modelo fue calculado.

#### 4.3.5 Cálculo de difusividad térmica de miel de abeja a 80 °C

En el Cuadro 20, se muestra las variables y constantes para determinar la difusividad térmica de la miel de abeja a 80 °C, donde el promedio de la pendiente  $m = \frac{\alpha}{0,398+r^2}$  es  $1,763 \times 10^{-3}$  y el promedio de la difusividad térmica es  $1,621 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ , mostrándose también el coeficiente de correlación ( $R^2$ ) de 0,987; 0,985 y 0,984 respectivamente para las tres repeticiones.



**Cuadro 20.** Determinación de difusividad de miel de abeja silvestre a 80 °C.

Pendiente	Desviación estándar de la pendiente	R <sup>2</sup>	Promedio de pendiente	Difusividad térmica (m <sup>2</sup> /s)	Promedio Difusividad termina (m <sup>2</sup> /s)	Desviación estándar de la difusividad
1,754E-03		0,987		1,6132E-07		
1,785E-03	1,924E-05	0,985	1,763E-03	1,6409E-07	1,621E-07	1,769E-09
1,749E-03		0,984		1,6080E-07		

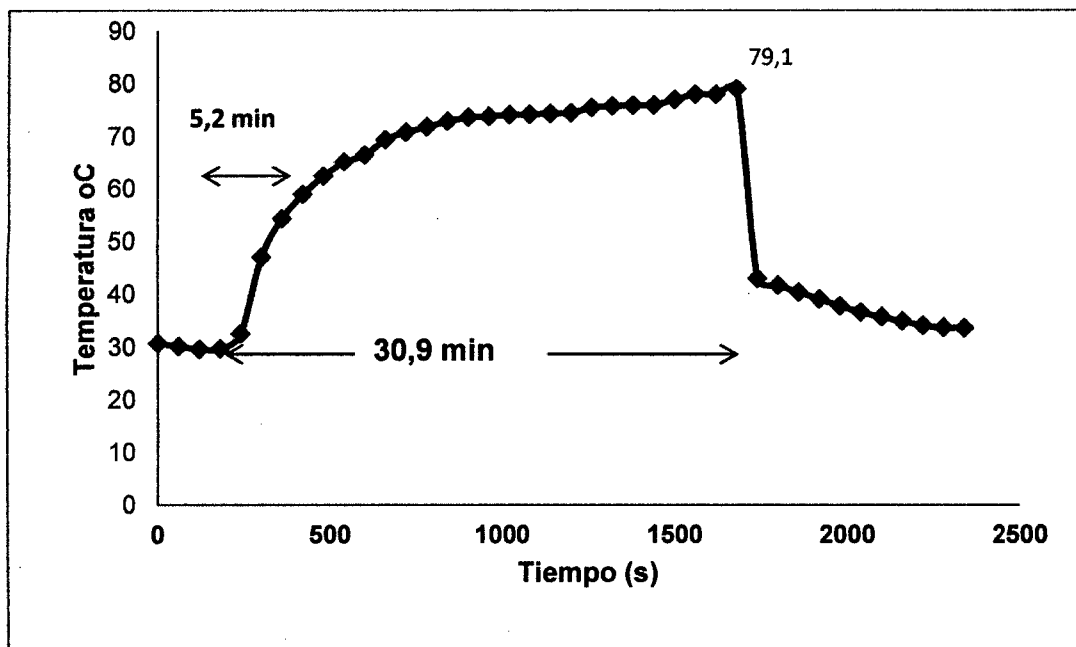
En la Figura 16, se presenta el comportamiento de penetración de calor en la miel de abeja a 80 °C, observándose que a los 30,9 minutos alcanza una temperatura de 79,1 °C mientras que a 5,2 minutos se obtuvo una temperatura de 62,4 °C y solo demoro en obtener una pendiente significativa positiva hasta los 5,6 minutos.

Estos resultados es debido a que la temperatura del baño maría es de 80 °C.

GARCÍA (2009) determino la difusividad térmica de la pulpa de noni (*Morinda citrifolia L.*) obteniendo para 80 °C un  $\alpha = 1,83 \pm 0,1 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ .

MUÑOZ (2002) menciona que la pasta de murta (*Ugni molinae turez*), presenta una difusividad térmica promedio de rango de 80 a 90 °C, un valor de  $1,34 \pm 0,06 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ .

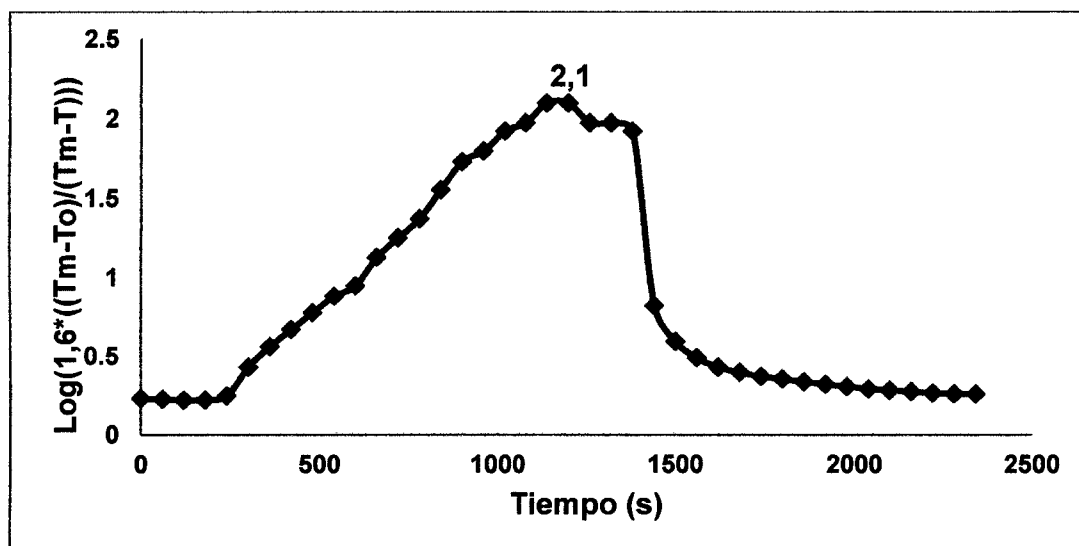
JARA (2012) menciona que la pulpa de yacón presenta una difusividad térmica promedio para 80 °C, un valor de  $1,63 \pm 0,41 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ .



**Figura 16.** Curva de penetración de calor a 80 °C.

En la Figura 17, se aprecia que el máximo valor de  $\log\left(1,6 \cdot \frac{T_m - T_o}{T_m - T}\right)$

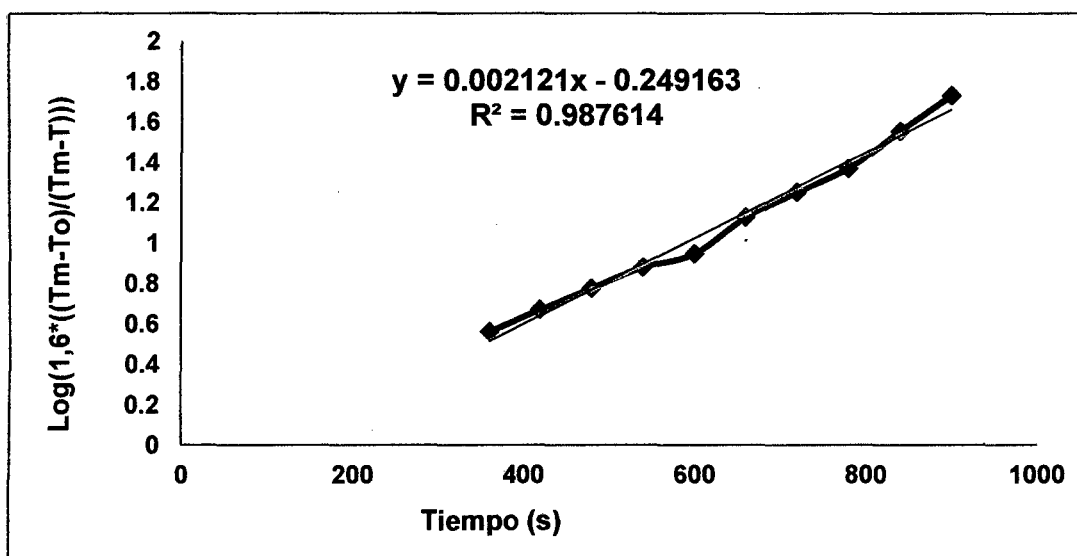
es 2,1 a un tiempo de 30,9 minutos.



**Figura 17.** La representación semilogarítmica en función al tiempo  $t$ , a 80 °C.

En la Figura 18, se muestra el análisis de regresión lineal donde la pendiente de liberalización  $m = \frac{\alpha}{0,398 + r^2}$  es de 0,002121 con un  $R^2 = 0,987614$ .

JARA (2012) menciona que el objetivo principal de la regresión lineal es construir un modelo que permita predecir el valor de la variable dependiente cuando los valores de las variables predictorias toman valores determinados, dentro de los rangos en los cuales el modelo fue calculado.



**Figura 18.** Pendiente de la recta de calentamiento a 80 °C.

En el Cuadro 28 se muestran los tratamientos realizados en el presente trabajo de investigación a 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C y 80 °C, los valores de la difusividad térmica con un valor mínimo de  $1,0013 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  a una temperatura de 40 °C aumentando a un valor máximo de difusividad térmica de  $1,6409 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  a una temperatura de 80 °C, la pendiente de las rectas de calentamiento y el promedio de la pendiente de calentamiento de 0,001198; 0,001271; 0,001361; 0,001571 y 0,001763 respectivamente, también se muestra el promedio de la difusividad térmica de  $1,101 \times 10^{-7}$ ;  $1,168 \times 10^{-7}$ ;  $1,252 \times 10^{-7}$ ;  $1,445 \times 10^{-7}$  y  $1,621 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  respectivamente para cada tratamiento, es decir que a medida que se incrementa la temperatura se incrementa la difusividad térmica.

MUÑOZ (2002); BARBARA *et al.*, (1991); JARA (2012) y GARCÍA

(2009) demostraron que las difusividad aumentan a medida que se incrementa la temperatura de las muestras.

A temperaturas inferiores a 50 °C, la miel se caracteriza por tener dos fases, una disolución sobresaturada, continua y por vidrios (líquido subenfriado) dispersos, conformando un sistema heterogéneo con distintas concentraciones de agua entre la disolución y los vidrios produciéndose desequilibrios en actividad del agua y por tanto en la transferencia de agua entre las fases.

DICKERSON (1969) desarrolló una técnica que utiliza un tubo cilíndrico. Físicamente, la difusividad térmica indica como fluye el calor por el material. Cuanta más alta es la difusividad térmica de una sustancia, más alto es el ritmo de propagación del perfil de temperatura.

Es decir, la difusividad térmica relaciona el flujo de energía con el gradiente de energía.

La variación de la temperatura tiene mayor influencia sobre la capacidad térmica, ocasionando mayores incrementos en dicha propiedad que en la conductividad térmica, lo que trae como consecuencia que la difusividad térmica disminuya con el aumento de la temperatura.

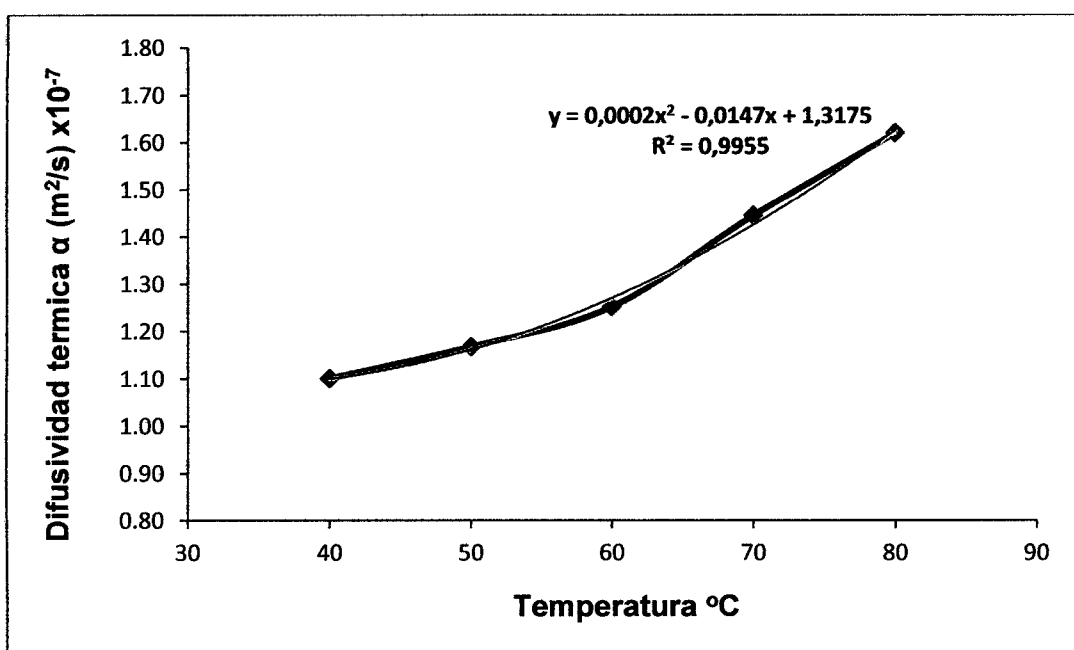
#### **4.4 Análisis de regresión para determinar la difusividad térmica de la miel de abeja función de la temperatura**

Del Cuadro 21, la difusividad térmica de la miel de abeja tiene un valor promedio de  $1,1010 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  a una temperatura de 40 °C y un valor promedio de  $1,6210 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  con una temperatura de 80 °C.

**Cuadro 21.** Difusividad térmica de miel de abeja a diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	Difusividad térmica (m <sup>2</sup> /s)
40	1,1010x10 <sup>-7</sup>
50	1,1680x10 <sup>-7</sup>
60	1,2520x10 <sup>-7</sup>
70	1,4450x10 <sup>-7</sup>
80	1,6210x10 <sup>-7</sup>

En la Figura 19, se aprecia el comportamiento de la difusividad térmica de la miel de abeja en función a la temperatura, indicando una tendencia no lineal.



**Figura 19.** Regresión no lineal de la dependencia de la temperatura con respecto a la difusividad térmica de miel de abeja.

El comportamiento de la variación de la difusividad térmica con la temperatura está restringido por la ecuación:

$$\alpha = 0,0002X^2 - 0,0147X + 1,3175 \quad R^2 = 0,9955$$

$$\alpha = \text{Difusividad termica } \frac{m^2}{s}, \quad T = x = \text{Temperatura } ^\circ C$$

**Cuadro 22.** ANVA de la regresión lineal de la difusividad térmica y la temperatura.

Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	8609	8609177	70,72	7,7086
Residuos	3	486,9	121,735		
Total	4	9609			

Dado que el p valor es igual a 7,70860 en la tabla ANVA lo cual es inferior a 70,72, entonces existe relación altamente significativa entre la difusividad térmica y la temperatura para un nivel de confianza del 95 %.

Es decir que la difusividad térmica depende de la temperatura. Se puede observar que existe diferencia altamente significativa ( $P < 0,01$ ), lo cual indica que existe suficiente evidencia estadística para aceptar que la variable respuesta difusividad térmica tiene dependencia lineal con las variable explicativas temperatura cuyo modelo matemático se detalla a continuación, que el objetivo principal de la regresión lineal es construir un modelo que permita predecir el valor de la variable dependiente cuando los valores de las variables predictorias toman valores determinados, dentro de los rango en los cuales el modelo fue calculado FELIPE (2007).

Como menciona THOMAS (2001) la regresión lineal trata de predecir el problema o estimar la variable respuesta a partir de otra variable llamada predictora o explicativa:

$$\alpha = 0,0002x^2 - 0,0147x + 1,3175 \quad R^2 = 0,9955$$

$$\alpha = \text{Difusividad termica } \frac{m^2}{s}, \quad T = x = \text{Temperatura } ^\circ C$$

$R^2$ : indica que el 99,55 % de la variabilidad de la difusividad térmica es explicado por la variable predictoria temperatura cabe aclarar previamente que la fórmula presentada predice adecuadamente el valor de la conductividad térmica, pero dentro de los rangos de temperatura utilizados en el presente trabajo, para valores fuera de los rangos testeados, será necesario nuevas evaluaciones con la finalidad de conservar la fiabilidad de los resultados.

Según THOMAS *et al.*, (2001) el ajuste es perfecto cuando  $R^2 = 1$ , cuando la línea es horizontal  $R^2 = 0$ , es decir no hay regresión lineal. Por lo tanto, cuando mayor sea el valor de  $R^2$  mejor será el ajuste y más útil la recta de regresión como instrumento de predicción.

## V CONCLUSIONES

- Las características fisicoquímicas de la miel fueron los siguientes: 17,76 % de humedad; 0,074 % de sólidos insolubles; 82,02 % de sólidos totales; 0,58% de cenizas; 33,98 meq/kg de acidez libre; con pH de 4,2 y los parámetros del color es  $L = 13,95$ ;  $a^* = 2,1$ ;  $b^* = 5,8$ .
- El valor de la difusividad térmica promedio a temperaturas de 40, 50, 60, 70 y 80 °C fueron de  $1,1010 \times 10^{-7}$ ,  $1,1680 \times 10^{-7}$ ,  $1,2520 \times 10^{-7}$ ,  $1,4450 \times 10^{-7}$  y  $1,6210 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  respectivamente.
- La ecuación que permite determinar la difusividad térmica de la miel de abeja en función a la temperatura desde un rango de temperatura desde 40 a 80 °C es la siguiente:

$$\alpha = 0,0002X^2 - 0,0147X + 1,3175 \quad R^2 = 0,9955$$

$$\alpha = \text{Difusividad termica } \frac{\text{m}^2}{\text{s}}, \quad X = T = \text{Temperatura } ^\circ\text{C}$$



## **VI RECOMENDACIONES**

Del trabajo de investigación realizado podemos recomendar lo siguiente:

- Determinar la difusividad térmica de la miel de abeja en función a su composición química.
- Determinar la difusividad térmica de la miel de abeja a partir de la conductividad térmica y la densidad, para compararla con los resultados obtenidos en el presente trabajo.
- Diseñar y construir equipos conociendo las propiedades termo físicas de miel.

## VII ABSTRACT

In Peru, thanks to its mega-biodiversity, there is a large number of native bee species whose potential for the production of honey, pollen and propolis is just beginning to be studied. It is important to know the properties of honey related to stability during storage and thermal processing, such as humidity, water activity, heat capacity, thermal conductivity and diffusivity, phase transition temperatures.

For these reasons it is necessary to determine the rate of heat transfer in the wild honey by the thermal diffusivity at different temperatures to obtain mathematical models in a temperature range. The experiment was conducted in the pilot plant and laboratories: Analysis of Food Engineering, Food and Animal Nutrition of the University national of the forest land, located in the city of Tingo Maria. Was used as raw material wild honey (*Apis mellifera L.*), which will be obtained in the hamlets of Mercedes Locro, Huanganapampa, Venadopampa and Venenillo. Physicochemical analysis determined the thermal diffusivity and 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C and 80 °C.

The physicochemical characteristics of the honey is 17,76% moisture, 0.074% of insoluble solids, 82.02% total solids, 0.58% ash, 33.98 meq / kg free acidity, with pH of 4.2. Color parameters  $L = 13.95$ ,  $a^* = 2.107$ ,  $b^* = 5.8$ .

The results and discussions led to the conclusion that there is enough statistical evidence to accept that the response variable thermal

diffusivity has linear dependence with temperature explanatory variables whose mathematical model described below, the main objective is to build a linear regression model to predict the value of the dependent variable when the values of the variables take values predictorias determined within the model range was calculated.

As mentioned THOMAS (2001) nonlinear regression problem is to predict or estimate the response variable from another variable called predictive or explanatory, the equation for determining the thermal diffusivity of honey according to the temperature from a temperature range from 40 to 80 °C is as follows:

$$\alpha = 0,0002x^2 - 0,0147x + 1,3175 \quad R^2 = 0,9955$$

$$\alpha = \textit{Thermal diffusivity} \frac{m^2}{s}, \quad T = x = \textit{Temperature}$$

## VIII REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ACQUARONE, C., Buera, P., Beatriz, E. (2007). Pattern of Ph and electrical conductivity upon honey dilution as a complementary tool for discriminating geographical origin of honeys. *Food Chemistry* 101, 695-703.
- AL-KHALIFA, A.S., AL-ARIFY, I.A. (1999). Physicochemical characteristics and pollen spectrum of some Saudi honeys. *Food Chemistry* 67, p. 21-25.
- ANUPAMA, D., BHAT, K.K., SAPNA, V.K. (2003). Sensory and physico-chemical properties of commercial samples of honey. *Food Research International* 36: p 183-191.
- A.O.A.C. 1997. Association of Official Analytical Chemists, Official Methods of Analysis, Ed Aslington USA 37:2.
- A.O.A.C. 2000. Association of Official Analytical Chemists, Official Methods of Analysis, Ed Aslington USA 37:2.
- BALANZA, M.E. (2003). Parámetros físicos y químicos de relevancia para La tipificación de la miel producida en la provincia de mendoza (Argentina). Tesis doctoral, 24, 26.
- BARBARA, G; CURBELO, ALFREDO; CEÑEDO, LUIS. (1991). Determinación de la conductividad y la difusividad térmica del meollo de la caña de azúcar. Departamento de física de la universidad de Camaguey. *Tecnología ciencia Ed. (IMIQU)*, 7(1):20-24.
- BELITZ, H.D. Y GROSCH, W. (1997). *Química de los alimentos*. 2ª Ed. Acribia

S.A., Zaragoza. pp: 152-173; 923-955.

BIANCHI, E. 1990. Control de calidad de la miel y la cera. Boletín de servicios agrícolas de la FAO. Roma, Italia. 69 p.

BOLETÍN OFICIAL ESPAÑOL. 2003. Código Alimentario Español. Textos legales 6a. Ed. Madrid.

BOGDANOV, S. (2002). Harmonised Methods of the International Honey Commission: Introduction and General Comments on the Methods, Switzerland. 127:50-51.

BOSCH-REIG, F. Y MATEO, R. (1984). Estudio sobre la conductividad eléctrica y el pH de algunos tipos de mieles monoflorales comerciales españolas (study on electrical conductivity and pH of some types of Spanish monofloral honeys). El campo. Boletín Informativo Agrario, 93, 97-100.

CAVIA, M.M., Fernández-Muiño, M.A., Gómez-Alonso, E., Montes-Pérez, M.J., Huidobro, J.F., Sancho, M.T. (2002). Evolution of fructose and glucose in honey over one year: influence of induced granulation. Food chemistry 78, 157-161.

CIELAB (1976). Committee TC.1.3.CIE. Proposal for study of color spaces and color difference equations (1974). Journal of Opt. Soc.Am. (64), 896-897.

CHOI, Y.; OKOS, M., 1986. Effect of temperature and composition on the thermal properties of foods In: LE MAGUER, M., 1986. Food engineering and process applications. Elsevier applied science publisher. London. 613 p.

COMISIÓN VERACRUZANA DE COMERCIALIZACION AGROPECUARIA.

2004. Perfil de miel de abeja. (Communication). Reporte preparado por COVECA. México. 7 p.
- CRANE, E. 1990. Bees and beekeeping: Science, practice and world resources. Ithaca, New York. USA. 614 p.
- DICKERSON, R. W. JR. (1969). Thermal properties of foods. 4th ed., vol.2 (Tressler, D.; Van Arsdel; Copley, M. J. Eds), pp 26-5. AVI. Publi. Co., Westport. Connecticut.
- DOWNEY, G., HUSSEY, K., KELLY, J.D., WALSHE, T.F. Y MARTIN, P.G. (2005). Preliminary contribution to the characterisation of artisanal honey produced on the island of Ireland by palynological and physico-chemical data. Food chemistry 91: 347-354.
- DRUSAS, A. E., and SARAVACOS G.D., 1985. Thermal conductivity of tomato paste. J. Food Eng. 4: 157 -168.
- FAO-WHO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS / HEALTH WORLD ORGANIZATION (FAO/WHO). 2001. Codex Alimentarius. Texto abreviado. Roma, Italia. 459 p.
- FELIPE DE M. 2007. Análisis Estadístico con "R". Sección de extensión universitaria y proyección social. [En línea]: (<http://tarwi.lamolina.edu.pe/~fmendiburu/07 julio 2012>).
- FERT G. 2004. Apis Mellifera entre los incas. [En línea]: (<http://www.apiculture.com/fert/07 julio 2012>).
- FINOLA, M.S., LASAGNO, M.C., MARIOLI, J.M. (2007). Microbiological and chemical characterization of honeys from central Argentina. Food Chemistry 100: 1649-1653.
- FRÍAS, I., HARDISSON, A., CORRALES, R., MUÑOZ, V. (1991). Color y

contenido mineral en mieles de consumo frecuente en Santa Cruz de Tenerife. Alimentación, Equipos y Tecnología, mayo, 93-98.

GARCÍA, E. 2009. Determinación de la difusividad térmica en pulpa de noni (*Morinda citrifolia*, L.) en función de la temperatura. Tesis. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú.

HARO, A. 2004. Elaboración de una mezcla de miel crema de abeja (*Apis mellifera* L.) con harina de piñones de *Araucaria araucana* ((Mol) K. Koch). Tesis para optar al grado de licenciado en ingeniería en alimentos. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 71p.

HUIDOBRO, J.F.; SIMAL, J.; (1984). Mieles de Galicia. El campo, 93,86.

IBARZ, A.; BARBOSA – CANOVAS, G. 1999. Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos. Technomic publishing company, INC. Pennsylvania, USA. 880 p.

ICMSF (2001). Ecología microbiana de los productos alimentarios. Microorganismos de los alimentos. Ed. Acribia S.A., Zaragoza.

JARA, R. 2012. Determinación de la conductividad térmica de la pulpa del yacón (*smallanthus sonchifolius*) en función de la humedad y la temperatura. Tesis. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú.

JIMENEZ G. Y KASAHARA I., 1991. Propiedades termo físicas de la pasta de merluza en función del contenido de humedad. Alimentos 16, Nº 3: 15-22.

LÓPEZ, S.E. (1998). Estudio para la caracterización de mieles artesanales de Gran Canaria. Tesis Doctoral.

- MARTÍNEZ, T. (2006) Diagnóstico de la actividad apícola y de la crianza de abejas en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - Dirección de cadenas productivas Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA. Bogotá, Colombia.
- MC ADAMS, W., 1964. Transmisión de calor. MC Graw-Hill Book Company, INC. 557 p.
- MC CABE, W.; SMITH, R.; HARRIOT, P. 1991. Operaciones básicas de Ingeniería Química. MC Graw-Hill, Inc. Madrid. España. 1112 p.
- MILLÁN, R., TUDELA, L., ESTUPIÑAN, S., CASTELO, M. Y SAN JUÁN, E. (1995). Contribución al cálculo de la actividad de agua en la miel: modelo de predicción de aw en mieles de las Palmas. Alimentaria, 268, 77-79.
- MUÑOZ J. C. 2002. Determinación de la difusividad térmica en pasta de murta (*Ugni molinae turez*), en función de la temperatura.
- NORMA MEXICANA, NMX-F-036.1997. Alimentos-miel-especificaciones y métodos de prueba.
- OUCHEMOUKH, S., LOUAILECHE, H. Y SCHWEITZER, P. (2007). Physicochemical characteristics and pollen spectrum of some Algerian honeys. Food Control, 18, 52-58.
- PÉREZ-ARQUILLUÉ, C., BENITO, M.<sup>a</sup>.F.J. (1990). Manejo y alteraciones de la miel. En: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Publicaciones de Extensión Agraria. Madrid. pp: 2-4.
- POULSEN, P., K., 1982. Thermal Diffusivity of Foods Measured by Simple Equipment. J. Food Eng. 1: 115 -122.
- POZAS, C. 2000. Diseño de Tres Mezclas de Miel de Chiloé, Enriquecidas con



Polen, para Consumo Humano y su Caracterización Física, Química y Organoléptica. Tesis Lic. en Alim. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 82 p.

PROFECO. 2001. Calidad de miel de abeja, revista del consumidor N° 287. [En Línea]: ([http://www.Profeco.gob.mx/revista/pdf/est\\_01/miel.pdf/29](http://www.Profeco.gob.mx/revista/pdf/est_01/miel.pdf/29) noviembre 2012).

RAMÍREZ C., M.A.; GONZÁLEZ N., S.A. y SAURI D., E. 2000. Efecto del tratamiento térmico temporal de la miel sobre la variación de su calidad durante el almacenamiento. *Apiacta*; 35 (4), 162-170.

RIOLOBOS, S. (1988). Anotaciones sobre la composición de las mieles de Villuerca-Ibores (Extremadura) para los parámetros de la norma de la miel. III congreso Nacional de Apicultura. Diputación Provincial de Guadalajara, 263-265.

SÁNCHEZ, D. Y PUJOLA, M. (1996). Mieles andaluzas, extremeñas y gallegas: composición mineral. *Vida Apícola*, 78, 56-60. Sánchez, D. Y Pujola, M. (1996). Mieles andaluzas, extremeñas y gallegas: composición mineral. *Vida Apícola*, 78, 56-60.

SANCHO, M.T., MUNIATEGUI, S., HUIDOBRO, J.F. Y SIMAL, J. (1991). Mieles del País Vasco I: pH y tipos de acidez. *Anales de la Bromatología*, XLIII-1, 77-86.

SAN JUÁN, E., ESTUPIÑÁN, S, MILLÁN, R., CASTELO, M., PENEDO, J.C. Y CARDONA, A. (1997). Contribution to the quality evaluation and the water activity prediction of the Palma Island honey. *Journal of Food Quality*, 20, 225-234.

SANZ, B. Y TRIGUERO, A. (1970). Composición química y espectro polínico

- de mieles españoles. *Anales de Bromatología*, XXII, 377-406.
- SANZ, S., GRADILLAS, G., JIMENO, F., PÉREZ, C. Y JUÁN, T. (1995). Fermentation problem in Spanish North-Coast Honey. *Journal of Food Protection*, 58 (5), 515-518.
- SERRA, J. Y CAÑAS, S. (1988). Caratteristiche fisico-chimiche, composizione e spettro pollinico del miele di eucalipto (*Eucalyptus spp.*) prodotto in Spagna. *Apicoltura*, 4, 59-81.
- SERRA, J. Y VENTURA, F. (1993). Physico-chemical properties, composition and pollen spectrum of french lavender (*Lavandulla stoechas, L*) honey produced in Spain. *Lebensm Unters Forsch*, 196, 511-517.
- SHARMA, S.; MULVANEY, S.; RIZVI, S., 2000. *Food Process Engineering. Theory and Laboratory Experiments.* a John Wiley and Sons, INC., Publication. Canada. 342 p.
- SINGH, P.; HELDMAN, D., 1998. *Introducción a la Ingeniería de los Alimentos.* Editorial Acribia, S.A. Zaragoza. España. 544 p.
- SNOWDON, J.A. Y CLIVER, D.O., 1996. Review article. Microorganisms in honey. *Int. J. Food Microbiology*. 31, 1-26.
- SOPADE, P. A., BHANDARI, B., HALLEY, P., D'ARCY, B., DOEBLER, C., CAFFIN, N. 2001. Glass transition in Australian honeys. *Food Australia*, 53(9), 399–404.
- SOTO, C. 2008. Estudio de mieles monoflorales a través de análisis palinológico, físico, químico y sensorial. Tesis Licenciado en Agronomía. Universidad Austral de Chile. Valdivia. Facultad de Ciencias Agrarias. pp 6 – 19.
- THOMAS, M., LITTLE, M., HILLS, J. 2001. *Métodos estadísticos para la*

investigación en la agricultura. Ed TRILLAS. 2da ed. México 87 p.

TOSI, E.A., Ré, E., Lucero, H., Bulacio, L., (2004). Effect of honey high-temperature short-time heating on parameters related to quality, crystallisation phenomena and fungal inhibition. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* 37 (6), 669-678.

UNKLESBAY, N., UNKLESBAY, K., HSIEH, K., SANDIK. (1992). Thermophysical Properties of Extruded Beef/Corn Flour Blends, Volume 57, No. 6, 1282-1284.

VALEGA, O. 2009. "Todo sobre la Miel". *El Mundo de la Apicultura, Apícola Don Guillermo. Documento [En Línea]:* ([http://www.culturaapicola.com.ar/apuntes/miel/131\\_Todo\\_sobre\\_miel.pdf](http://www.culturaapicola.com.ar/apuntes/miel/131_Todo_sobre_miel.pdf)/27 Agosto 2012).

WATSON E., HARPER J., 1987. *Elements of food engineering.* Publishers by van Nostrand Reinhold Company N.Y. p. 308.

**IX ANEXO**

**Anexo 1: Análisis de penetración de calor.**

**Cuadro 23. Penetración de calor a 40 °C.**

Tiempo (s)	Temperatura °C	$\log(1,6 + \frac{(T_m - T_o)}{(T_m - T)})$
0	33,4	0,570345578
60	33,4	0,570345578
120	33,8	0,595529124
180	34,5	0,643452676
240	35,2	0,697328057
300	35,9	0,758846095
360	36,5	0,819543936
420	37,1	0,89012501
480	37,6	0,959205929
540	38	1,023663918
600	38,4	1,099384632
660	38,7	1,166331422
720	39	1,245512668
780	39,3	1,342422681
840	39,5	1,421603927
900	39,7	1,51851394
960	39,9	1,643452676
1020	40,1	1,819543936
1080	40,2	1,944482672
1140	40,3	2,120573931
1200	40,3	2,120573931
1260	39	1,245512668
1500	30	0,400414628
1560	30	0,400414628
1620	30	0,400414628
1680	30	0,400414628
1740	29	0,360906087
1800	25	0,231272229
1860	25	0,231272229
1920	23	0,178565878
1980	22	0,154432198
2040	18,7	0,083147433

**Cuadro 24.** Penetración de calor a 50 °C.

Tiempo (s)	Temperatura °C	$\log(1,6 * \frac{(T_m - T_o)}{(T_m - T)})$
0	28,7	0,219436741
60	28,7	0,219436741
120	28,8	0,221669622
180	28,8	0,221669622
240	29,2	0,230717751
300	30,4	0,25905135
360	32	0,299956338
420	33,4	0,339209637
480	35,3	0,398881642
540	37,2	0,468078667
600	38,6	0,527200119
660	39,8	0,585192066
720	40,8	0,640239632
780	41,8	0,703291378
840	42,6	0,761283325
900	43,3	0,819275272
960	43,9	0,876002897
1020	44,5	0,941269628
1080	45	1,004321374
1140	45,5	1,078107588
1200	46	1,167048671
1260	46,3	1,230717751
1320	46,3	1,230717751
1380	46,8	1,363343316
1440	47	1,430290106
1500	47,6	1,731320102
1560	47,9	2,032350097
1620	48	2,208441356

**Cuadro 25.** Penetración de calor a 60 °C.

Tiempo (s)	Temperatura °C	$\log(1,6 * \frac{(T_m - T_o)}{(T_m - T)})$
0	31,4	0,314393957
60	32,6	0,335244096
120	35,1	0,382189808
180	39,7	0,484587819
240	43,4	0,589095014
300	45,8	0,6734159
360	47,8	0,758846095
420	49,1	0,825006831
480	50,1	0,883784832
540	50,8	0,930242233
600	51	0,944482672
660	52	1,023663918
720	52,8	1,099384632
780	53,3	1,154432198
840	53,7	1,204119983
900	54,1	1,260235925
960	54,4	1,307660575
1020	54,6	1,342422681
1080	55,3	1,492185001
1140	55,1	1,443880322
1200	55	1,421603927
1260	55,1	1,443880322
1320	55,2	1,467361417
1380	55,3	1,492185001
1440	55,5	1,546542663
1500	55,7	1,60869057
1560	55,8	1,643452676
1620	55,8	1,643452676
1680	55,9	1,681241237
1740	56,1	1,768391413
1800	56,3	1,877535883

Cuadro 26. Penetración de calor a 70 °C.

Tiempo (s)	Temperatura °C	$\log(1,6 * \frac{(T_m - T_o)}{(T_m - T)})$
0	31,1	0,286482887
60	40,3	0,423510124
120	47,1	0,562689299
180	50,8	0,662625767
240	53,8	0,764883361
300	55,9	0,854173977
360	57,9	0,960629308
420	59	1,03263197
480	59,9	1,101958461
540	61,1	1,215901813
600	61,9	1,312811826
660	62,5	1,402988457
720	62,5	1,402988457
780	63,3	1,562689299
840	63,1	1,516931809
900	63,5	1,613841822
960	63	1,49574251
1020	63,1	1,516931809
1080	63,3	1,562689299
1140	63,3	1,562689299
1200	63,5	1,613841822
1260	63,5	1,613841822
1320	63,4	1,587512883
1380	63,5	1,613841822
1440	63,5	1,613841822
1500	63,4	1,587512883
1560	63,5	1,613841822
1620	64,4	1,972863765
1680	64,1	1,817961805
1740	64,1	1,817961805
1800	61,8	1,299447865



**Cuadro 27.** Penetración de calor a 80 °C.

Tiempo (s)	Temperatura °C	$\log(1,6 * \frac{(T_m - T_o)}{(T_m - T)})$
0	30,7	0,229814114
60	30,1	0,2239715
120	29,6	0,219161988
180	29,7	0,220119639
240	32,5	0,247828911
300	47	0,429059809
360	54,3	0,560247495
420	58,9	0,669391965
480	62,4	0,775847295
540	65,1	0,880582646
600	66,5	0,946798915
660	69,4	1,128029814
720	70,8	1,25296855
780	71,8	1,371067862
840	72,9	1,553998546
900	73,6	1,730089805
960	73,8	1,797036595
1020	74,1	1,921975331
1080	74,2	1,973127854
1140	74,4	2,09806659
1200	74,4	2,09806659
1260	74,2	1,973127854
1320	74,2	1,973127854
1380	74,1	1,921975331
1440	63,6	0,819312989
1500	55,8	0,592916612
1560	50,6	0,488828014
1620	47	0,429059809
1680	44,8	0,396210898
1740	43	0,371067862
1800	41,7	0,353773607

**Anexo 2:** Difusividad térmicas a diferentes temperaturas.

**Cuadro 28.** Calculo de las difusividades térmicas de miel de abeja silvestre a diferentes tratamientos.

Temperatura (°C)	Pendiente	Desviación estándar de la pendiente	R <sup>2</sup>	Promedio de pendiente	Difusividad térmica (m <sup>2</sup> /s)	Promedio Difusividad térmica (m <sup>2</sup> /s)	Desviación estándar de la difusividad
40	1,250E-03		0,991		1,1497E-07		
	1,254E-03	9,413E-05	0,978	1,198E-03	1,1527E-07	1,101E-07	8,656E-09
	1,089E-03		0,983		1,0013E-07		
50	1,270E-03		0,959		1,1676E-07		
	1,278E-03	7,374E-06	0,979	1,271E-03	1,1756E-07	1,168E-07	6,780E-10
	1,264E-03		0,953		1,1621E-07		
60	1,315E-03		0,984		1,2088E-07		
	1,398E-03	4,261E-05	0,993	1,361E-03	1,2853E-07	1,252E-07	3,918E-09
	1,372E-03		0,987		1,2617E-07		
70	1,567E-03		0,990		1,4407E-07		
	1,569E-03	6,176E-06	0,984	1,571E-03	1,4427E-07	1,445E-07	5,679E-10
	1,578E-03		0,954		1,4514E-07		
80	1,754E-03		0,987		1,6132E-07		
	1,785E-03	1,924E-05	0,985	1,763E-03	1,6409E-07	1,621E-07	1,769E-09
	1,749E-03		0,984		1,6080E-07		

**Anexo 3: Resultados del análisis fisicoquímicos.****Cuadro 29. Análisis de actividad de agua**

Muestra	Valor	Datos estadísticos	Valor
1	17,7991		
2	18,3572		
3	17,0000		
4	17,4500	Desviación estándar	0,4625767
5	18,3990	Valor mínimo	17,00
6	18,1800	Valor máximo	18,40
7	17,8000	Promedio	17,76
8	17,4000	Coefficiente de variabilidad	2,60267147
9	17,9600		
10	17,3862		

**Cuadro 30. Análisis de sólidos insolubles.**

Muestra	Valor	Datos estadísticos	Valor
1	0,0785		
2	0,0758		
3	0,0768		
4	0,0732	Desviación estándar	0,00275729
5	0,0734	Valor mínimo	0,0712
6	0,0724	Valor máximo	0,0798
7	0,0748	Promedio	0,07494
8	0,0735	Coefficiente de variabilidad	3,67933461
9	0,0712		
10	0,0798		

**Cuadro 31. Análisis de sólidos totales.**

Muestra	Valor	Datos estadísticos	Valor
1	81,980		
2	82,450		
3	81,590		
4	82,560	Desviación estándar	0,46115796
5	81,470	Valor mínimo	81,47
6	82,400	Valor máximo	82,56
7	81,500	Promedio	82,02
8	82,300	Coefficiente de variabilidad	0,56225063
9	82,450		
10	81,500		

**Cuadro 32.** Análisis de cenizas.

Muestra	Valor	Datos estadísticos	Valor
1	0,48360		
2	0,63500		
3	0,52800		
4	0,46200	Desviación estándar	0,07280678
5	0,62300	Valor mínimo	0,462
6	0,58600	Valor máximo	0,658
7	0,65800	Promedio	0,58746
8	0,65200	Coefficiente de variabilidad	12,3934871
9	0,58900		
10	0,65800		

**Cuadro 33.** Análisis de acidez libre.

Muestra	Valor	Datos estadísticos	Valor
1	30,58		
2	30,45		
3	35,42		
4	35,56	Desviación estándar	2,43683219
5	32,45	Valor mínimo	30,45
6	31,58	Valor máximo	36,58
7	35,72	Promedio	33,982
8	36,36	Coefficiente de variabilidad	7,17094988
9	36,58		
10	35,12		

**Cuadro 34.** Análisis de pH.

Muestra	Valor	Datos estadísticos	Valor
1	4,25		
2	4,45		
3	4,25		
4	4,15	Desviación estándar	0,10112698
5	4,35	Valor mínimo	4,12
6	4,25	Valor máximo	4,45
7	4,23	Promedio	4,266
8	4,23	Coefficiente de variabilidad	2,37053406
9	4,12		
10	4,38		

**Cuadro 35.** Análisis del color valor de L.

Muestra	Valor	Datos estadísticos	Valor
1	10,25		
2	11,25		
3	17,58		
4	12,56	Desviación estándar	2,3959373
5	14,58	Valor mínimo	10,25
6	16,89	Valor máximo	17,58
7	13,54	Promedio	13,956
8	14,87	Coefficiente de variabilidad	17,1677938
9	12,36		
10	15,68		

**Cuadro 36.** Análisis del color valor de a.

Muestra	Valor	Datos estadísticos	Valor
1	1,25		
2	2,25		
3	1,23		
4	2,36	Desviación estándar	0,63041521
5	2,58	Valor mínimo	1,23
6	2,35	Valor máximo	2,94
7	1,68	Promedio	2,107
8	1,58	Coefficiente de variabilidad	29,9200383
9	2,85		
10	2,94		

**Cuadro 37.** Análisis del color valor de b.

Muestra	Valor	Datos estadísticos	Valor
1	4,58		
2	5,68		
3	4,58		
4	6,65	Desviación estándar	0,98243518
5	6,54	Valor mínimo	4,58
6	5,78	Valor máximo	7,14
7	6,57	Promedio	5,867
8	4,58	Coefficiente de variabilidad	16,7451028
9	6,57		
10	7,14		