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 PULPA DE GUANÁBANA (*Annona muricata*), EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA"

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

BARRETO RAMIREZ JHINM A.

PROMOCIÓN: 2012

Tingo María – Perú

2013

BIBLIOTECA CENTRAL - UNAS

Q04
R94
Barreto Ramirez, Jhinm Abel

Determinación de la difusividad térmica en pulpa de guanábana (*Annonamuricata.*) en función de la temperatura. Tingo María 2013

83 páginas; 21 cuadros; 25 figuras.; 54 ref.; 30 cm.
Tesis (Ingeniero en Industrias Alimentarias) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias.

1. CALENTAMIENTO 2. GUANÁBANA 3. TEMPERATURA

4. DIFUSIVIDAD TÉRMICA 5. FÍSICO QUÍMICA 6. DENSIDAD

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 SUSTENCION DE TESIS

Los miembros del jurado que suscriben, reunidos en acto público el 25 de Julio del 2013, a horas 5:00 pm. En la sala de audio visuales de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias – 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 el bach. **BARRETO RAMIREZ JHINM ABEL,** titulada:

"DETERMINACIÓN DE LA DIFUSIVIDAD TÉRMICA EN PULPA DE GUANÁBANA (*Annona muricata*), 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, 11 de setiembre del 2013

Ing. M. Sc. Gunter Daza Rengifo
Presidente

Ing. Jaime Basilio Atencio
Miembro

Ing. Roberto Davila Trujillo
Miembro

Ing. Williams Roldan Carbajal
Asesor

DEDICADO

A DIOS:

Por darme la oportunidad de vida, salud, fortaleza y la fe, por estar siembre en los momentos más difíciles de la vida.

A MIS PADRES:

Teodoro Leonardo

Lupe

Que con su gran amor y 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:

Por el apoyo incondicional y comprensión y por darme ánimos, en la presente investigación.

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva y en especial a la Facultad de Ingeniería en industrias Alimentarias y docentes, que con su exigencia y dedicación contribuyeron con mi formación profesional.
- Al Ing. Williams Vicente Roldan Carbajal, patrocinador del presente trabajo de investigación.
- A mis queridos padres, hermanos por todo su apoyo moral y desinteresado y darme ánimos para seguir superándome en mi formación profesional y como persona.
- A mi amigo Luis Máximo Ruiz Vela que me apoyo en todo momento, en la elaboración del presente trabajo.
- A mis amigos que me apoyaron en todo momento para que culmine con mi carrera profesional.

INDICE GENERAL

Pág.

I INTRODUCCIÓN 01

II REVISIÓN LITERARIA 03

2.1 Antecedentes 03

2.1.1 Antecedentes generales 03

2.1.2 Antecedentes específicos 04

2.2 Cultivo de la guanábana 07

2.2.1 Aspectos generales 07

2.2.2 Aspectos botánicos 08

2.2.3 Usos y mercado 10

2.2.4 Composición química nutricional 11

2.3 Transferencia de calor 11

2.3.1 Mecanismos de transferencia de calor 13

2.3.2 Transferencia de calor en estado no estacionario 16

2.3.3 Método de transferencia de calor en estado no estacionario 17

2.4 Flujo de calor en estado no estacionario 17

2.5 Propiedades termo físicas 21

2.5.1 Conductividad térmica 23

2.5.2 Difusividad térmica 25

2.5.3 Calor específico 27

2.5.4 Color 28

III MATERIALES Y MÉTODOS 29

3.1 Lugar de ejecución 29

3.2 Materia prima 29
3.3 Equipos 29
3.4 Materiales 30
3.5 Reactivos 31
3.6 Métodos de análisis 32
3.6.1 Características químico proximal de la guanábana 32
3.6.2 Características fisicoquímicas de la guanábana 32
3.6.3 Medidas biométricas de la guanábana 32
3.6.4 Variación del color 33
3.6.5 Balance de materia y rendimiento 33
3.6.6 Determinación de la difusividad térmica 33
3.7 Metodología experimental 36
3.7.1 Obtención de la pulpa de guanábana 36
3.7.2 Diseño Experimental 38
3.7.3 Modelo estadístico 39
3.7.4 Determinación de la difusividad térmica 39
IV RESULTADOS Y DISCUSIONES 40
4.1 Medidas biométricas de la guanábana 40
4.2 Características fisiológicas de la guanábana 41
4.3 Caracterización fisicoquímica de la guanábana 43
4.3.1 Firmeza 43
4.3.2 pH 43
4.3.3 Acidez titulable 43
4.3.4 Sólidos solubles 44
4.3.5 Índice de madurez 44

4.3.6 Azúcares totales 44
4.3.7 Humedad 45
4.3.8 Proteína 45
4.3.9 Grasa 45
4.3.10 Fibra cruda 45
4.3.11 Vitamina C 45
4.4 Preparación de la muestra de pulpa de guanábana 47
4.4.1 Rendimiento para la obtención de pulpa de guanábana 49
4.5 Determinación de difusividad térmica de la pulpa de guanábana a diferentes temperaturas 49
4.5.1 Difusividad térmica de la pulpa de guanábana a 60 °C 49
4.5.2 Difusividad térmica de la pulpa de guanábana a 65 °C 52
4.5.3 Difusividad térmica de la pulpa de guanábana a 70 °C 54
4.5.4 Difusividad térmica de la pulpa de guanábana a 75 °C 57
4.5.5 Difusividad térmica de la pulpa de guanábana a 80 °C 59
4.5.6 Difusividad térmica de la pulpa de guanábana a 85 °C 62
4.5.7 Difusividad térmica de la pulpa de guanábana a 90 °C 64
4.6 Análisis de regresión para determinar la difusividad térmica de la pulpa de guanábana función de la temperatura 71
V CONCLUSIONES 74
VI RECOMENDACIONES 75
VII ABSTRACT 76
VIII REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍCAS 77
IX ANEXOS 83

ÌNDICE DE CUADROS

Cuadro **Pág.**

1. Difusividad térmica de algunos frutos y vegetales..... 05
2. Conductividad y difusividad térmica del meollo de caña de azúcar..... 06
3. Difusividad térmica de la pulpa de yacón con una Reducción de agua al 20 % con diferentes incrementos de temperatura..... 07
4. Valor químico nutricional de 100 g de pulpa de guanábana..... 12
5. Valores de las variables Bn y J1(Bn)..... 20
6. Medidas biométricas: diámetro, volumen y peso de guanábana madura..... 40
7. Características fisiológicas de la guanábana..... 42
8. Análisis fisicoquímicos de pulpa de guanábana..... 44
9. Medidas del color de la pulpa de guanábana..... 46
10. Medidas del color de la pulpa de después del tratamiento..... 46
11. Balance de materia y rendimiento para la obtención de la pulpa de guanábana..... 48
12. Tratamientos a diferentes temperaturas..... 49
13. Determinación de difusividad térmica de pulpa de guanábana a 60 °C 50
14. Determinación de difusividad térmica de pulpa de guanábana a 65 °C 52
15. Determinación de difusividad térmica de pulpa de guanábana a 70 °C 55
16. Determinación de difusividad térmica de pulpa de guanábana a 75 °C 57
17. Determinación de difusividad térmica de pulpa de guanábana a 80 °C 60
18. Determinación de difusividad térmica de pulpa de guanábana a 85 °C 62
19. Determinación de difusividad térmica de pulpa de guanábana a 90 °C 64
20. Difusividad térmicas de pulpa de guanábana a diferentes tratamientos 68

21. Difusividad térmica de pulpa de guanábana a diferentes temperaturas 71

22. Penetración de calor a 60 °C..... 84

23. Penetración de calor a 65 °C..... 85

24. Penetración de calor a 70 °C..... 86

25. Penetración de calor a 75 °C..... 87

26. Penetración de calor a 80 °C..... 88

27. Penetración de calor a 85 °C..... 89

28. Penetración de calor a 90 °C..... 90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura **Pág.**

1. Equipo que se utilizó para la obtención del perfil térmico..... 34
2. Flujo de operaciones para la obtención de pulpa de guanábana..... 37
3. Diseño experimental para determinación de la difusividad térmica de la pulpa de guanábana..... 38
4. Curva de penetración de calor a 60 °C..... 50
5. La representación semilogarítmica en función al tiempo t, a 60 °C..... 51
6. Pendiente de la recta de calentamiento a 60 °C..... 51
7. Curva de penetración de calor a 65 °C..... 53
8. La representación semilogarítmica en función al tiempo t, a 65 °C..... 53
9. Pendiente de la recta de calentamiento a 65 °C..... 54
10. Curva de penetración de calor a 70 °C..... 55
11. La representación semilogarítmica en función al tiempo t, a 70 °C..... 56
12. Pendiente de la recta de calentamiento a 70 °C..... 56
13. Curva de penetración de calor a 75 °C..... 58
14. La representación semilogarítmica en función al tiempo t, a 75 °C..... 58
15. Pendiente de la recta de calentamiento a 75 °C..... 59
16. Curva de penetración de calor a 80 °C..... 60
17. La representación semilogarítmica en función al tiempo t, a 80 °C..... 61
18. Pendiente de la recta de calentamiento a 80 °C..... 61
19. Curva de penetración de calor a 85 °C..... 63
20. La representación semilogarítmica en función al tiempo t, a 85 °C..... 63
21. Pendiente de la recta de calentamiento a 85 °C..... 64
22. Curva de penetración de calor a 90 °C..... 65

23. La representación semilogarítmica en función al tiempo t, a 90 °C..... 66

24. Pendiente de la recta de calentamiento a 90 °C..... 66

25. Regresión lineal de la dependencia de la temperatura con respecto a la difusividad térmica de pulpa de guanábana..... 72

RESUMEN

En el procesamiento de la pulpa de guanábana no existen parámetros de transferencia térmica relacionada con la difusividad y conductividad térmica, trayendo como consecuencia la pérdida de sus principales nutrientes de la pulpa por el excesivo tratamiento térmico o la reducción de su vida útil como consecuencia de un procesamiento térmico deficiente, razón por la cual se planteó determinar la difusividad térmica de la pulpa de guanábana en función a la temperatura.

Se emplearon métodos de análisis químico proximal, humedad, proteína, grasa, ceniza, fibra, densidad, AOAC (1995) y color (AVILA y SILVA, 1999). Así como las propiedades termofisicas, difusividad térmica (método de DICKERSON, 1965). Los resultados y discusiones permitieron concluir que existe suficiente evidencia estadística para aceptar que la variable respuesta difusividad térmica tiene dependencia lineal con la variable explicativa temperatura, 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. 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, la ecuación que permite determinar la difusividad térmica de la pulpa de guanábana en función a la temperatura desde 60 a 90 °C es la siguiente:

$$\alpha = 2,121832x10^{-8}T - 9,4062x10^{-8} \qquad R^2 = 0,95899$$

I INTRODUCCIÓN

La guanábana o la fruta del árbol de graviola es un producto considerado medicinal y se está usando para matar las células cancerosas, por tener un efecto 10,000 veces más potente que la quimioterapia. Existen organizaciones interesadas en encontrar una versión sintética, es preciso indicar que no produce los horribles efectos de la quimioterapia y las frutas tienen un sabor muy agradable. Todas sus partes son útiles por considerarse medicinal. Se concluye que el extracto etanólico de hojas de *Annona muricata* mostró tener efecto citotóxico sobre las líneas tumorales de cáncer al pulmón en células grandes (H460); las concentraciones de extracto etanólico utilizadas son más citotóxicas que las concentraciones homólogas de 5-fluorouracilo (5-FU), y para la línea Vero (células epiteliales de riñón de mono verde Africano *Chlorocebus*), la actividad citotóxica de extracto etanólico es superior a la actividad del homólogo de 5-fluorouracilo (QUISPE ÁNGEL *et al.,* 2006).

Al procesar la pulpa de guanábana se carece información que indiquen los parámetros térmicos relacionados con la difusividad térmica y debido a ello trae como consecuencia la pérdida de sus principales nutrientes de la pulpa por el excesivo tratamiento térmico o la reducción de su vida útil como consecuencia de un procesamiento térmico deficiente.

La difusividad es una operación unitaria muy importante en la industria de alimentos. En todos los procesos ocurre una entrada o una remoción de calor, que tiene como consecuencia la modificación de las

características físicas, químicas o de almacenamiento del alimento, para manejar sistemáticamente la transferencia de calor es necesario conocer las propiedades termo físicas de los alimentos, entre las cuales se tienen: el calor especifico, la conductividad térmica, difusividad térmica y densidad, que son datos básicos utilizados en el diseño y simulación de procesos de transferencia de calor en la ingeniería de alimentos (enfriamiento, calentamiento, secado, congelamiento). Debido a la larga diversidad de alimentos con diferencias en composición, textura, variedad, y otros, se necesitan de técnicas rápidas y exactas para lograr medir estas propiedades termo físicas. En general, la composición, la densidad másica y la temperatura son los factores o condiciones de proceso que afectan principalmente estas propiedades térmicas. Por tales razones en el presente trabajo de investigación se planteó los siguientes objetivos:

- Determinar la difusividad térmica de la pulpa de guanábana.
- Estudiar la variación de la difusividad térmica de la pulpa de guanábana en función a la temperatura.

II REVISIÓN LITERARIA

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes generales

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 ± 0,06 x $10^{-7}m^2/s$; rango de 70 a 80 °C, un valor de 1,24 ± 0,07 x $10^{-7}m^2/s$; rango de 80 a 90 °C, un valor promedio de 1,34 ± 0,06 x 10^{-7} m^2/s.

BARBARA *et al.,* (2001) mencionan que la pulpa del meollo de la caña de azúcar una difusividad térmica promedio para: 50 °C, un valor de 1,38 ± 0,1 x 10^{-7} m^2/s; 55 °C, un valor de 1,47± 0,2 x 10^{-7} m^2/s; 60 °C, un valor de 1,53 ± 0,09 x 10^{-7} m^2/s; 65 °C un valor de 1,59± 0,2 x 10^{-7} m^2/s; 70 °C un valor de 1,71± 0,2 x 10^{-7} m^2/s; a 75 °C un valor de 1,80± 0,09 x 10^{-7} m^2/s y a 80 °C un valor de 1,83± 0,1 x 10^{-7} m^2/s.

JARA (2010) menciona que la pulpa de yacón presenta una difusividad térmica promedio para: 50 °C, un valor de 1,30 ±0,26x10^{-7} m^2/s; 60 °C, un valor de 1,36±0,22x10^{-7} m^2/s; 70 °C, un valor de 1,48±0,29x10 m^2/s; 80 °C un valor de 1,63±0,41x 10^{-7} m^2/s.

DRUSAS y SARAVACOS (1985) indican que en pastas de tomate, a 35 °brix se obtuvo una difusividad térmica de 1,42 x 10^{-7} m^2/s. se han realizado también estudios en pastas de pescado con una humedad de 82 %, encontrando un valor de difusividad térmica de 1,42 x $10^{-7}m^2/s$. JIMENEZ y KASAHARA (1991) usaron los mismos métodos en 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 es generalmente más difícil determinar la conductividad o la difusividad térmica que el calor específico (CHOI y OKOS, 1986).

Según SANTI *et al.,* (1979) varios investigadores han desarrollado técnicas para determinar las propiedades termofísicas de los alimentos. DICKERSON (1965) desarrolló una técnica que utiliza un tubo cilíndrico.

Según UNKLESBAY *et al.*, (1992) y BAIK *et al.*, (1999) la difusividad térmica es dependiente de la temperatura se obtiene dividiendo la conductividad térmica y el producto de los calores específicos y densidades.

2.1.2 Antecedentes específicos

Según su importancia y necesidad, diferentes autores han determinado la difusividad térmica en algunos alimentos, los cuales pueden orientar a un rango para la difusividad térmica en pulpa de camú camú, los valores encontrados en literatura se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Difusividad térmica de algunos frutos y vegetales.

Producto	Contenido de agua %	Temperatura °C	Dif. Térmica (m^2/s)
Manzana	85	0 - 30	$1,37 \times 10^{-7}$
Pasta de manzana	37	65	$1,12 \times 10^{-7}$
	80	5	$1,22 \times 10^{-7}$
	80	65	$1,40 \times 10^{-7}$
Plátano	76	5	$1,18 \times 10^{-7}$
	76	65	$1,42 \times 10^{-7}$
Uva	72	-	$1,09 \times 10^{-7}$
	88	-	$1,37 \times 10^{-7}$
Limón	-	40	$1,37 \times 10^{-7}$
Durazno	-	27	$1,37 \times 10^{-7}$
Puré de Papas	78	65	$1,45 \times 10^{-7}$
Frambuesa	92	5	$1,27 \times 10^{-7}$
Remolacha	-	60	$1,26 \times 10^{-7}$
Pasta de tomate	-	26	$1,48 \times 10^{-7}$
Agua	100	30	$1,48 \times 10^{-7}$

Fuente: SINGH y HELDMAN, 1998.

Teniendo en cuenta la necesidad de utilizar materiales que constituyan desechos agroindustriales, como el meollo de la caña de azúcar, el cual constituye un desecho en las fábricas de papel y de tableros a partir del bagazo, surge la necesidad de conocer propiedades como la difusividad térmica. En el Cuadro 2 se muestra la difusividad térmica y conductividad térmica a diferentes temperaturas (BÁRBARA *et al.*, 2001).

JARA (2010) menciona que realizó estudios en la pulpa de yacón a 50, 60, 70 y 80 °C que expresa el comportamiento de la difusividad térmica en función a su temperatura, con un 20 % de reducción en agua donde se

puede afirmar que si la temperatura se incrementa también la difusividad térmica se incrementa.

COARICONA (2008) determinó la difusividad térmica del masato en un rango de humedades de 74,36 a 95 %, para ello se diseñó un equipo en base a la bibliografía. El masato presenta valores de difusividad térmica que van de 1,31 x 10^{-7} m^2/s a 74,36 % de humedad hasta 1,43 x 10^{-7} m^2/s, observándose que aumenta con la humedad.

Cuadro 2. Conductividad y difusividad térmica del meollo de caña de azúcar.

T(°K)	W/m°C	$\alpha * 10^{-7} m^2/s$
303	0,073	1,492
303	0,216	1,768
303	0,278	2,188
303	0,327	1,927
303	0,427	1,623
303	0,470	1,217
333	0,085	1,695
333	0,318	2,501
333	0,518	3,652
333	0,541	2,840
333	0,631	2,420
333	0,740	2,159
363	0,116	2,217
363	0,529	3,480
363	0,785	4,270
363	1,065	3,871
363	1,110	2,817
363	1,426	2,739

Fuente: BÁRBARA *et al.*, (2001).

Cuadro 3. Difusividad térmica de la pulpa de yacón con una reducción de agua al 20 % con diferentes incrementos de temperatura.

Temperatura (°C)	Promedio α (10^{-7} m^2/s)
50	1,15640
60	1,18605
70	1,20750
80	1,57142

Fuente: JARA (2010).

GARCIA (2009) determinó la difusividad térmica de la pulpa de noni (*Morinda citrifolia, L*), en un rango de temperatura de 50 a 80 °C y basándose en diseños presentados en bibliografía, se construyó un equipo para medir la difusividad térmica. La pulpa de noni presento valores de difusividad térmica, para 50 °C de 1,38 ± 0,1 x 10^{-7} m^2/s; para 55 °C de 1,47 ± 0,2 x 10^{-7} m^2/s; para 60 °C 1,53 ± 0,09 x 10^{-7} m^2/s; para 65 °C de 1,59 ± 0,2 x 10^{-7} m^2/s; para 70 °C 1,71 ± 0,2 x 10^{-7} m^2/s; para 75 °C de 1,80 ± 0,09 x 10^{-7} m^2/s y para 80 °C de 1,83 ± 0,1 x 10^{-7} m^2/s.

2.2 Cultivo de la guanábana

2.2.1 Aspectos generales

OLIVIAS *et al.*, (2002) mencionan que el árbol de la guanábana es uno de los primeros que se introdujeron en los trópicos del viejo mundo. Su origen es de las regiones tropicales de Sudamérica. El árbol es ampliamente conocido en los países tropicales por la exquisitez de sus frutos, no se conoce a ciencia cierta la región de origen, probablemente sea de las Antillas de donde se difundió a todos los países tropicales de América y África Occidental. Su textura suave y blanca es muy similar al algodón, además es cremosa y jugosa

y recubre las semillas negras de un tamaño que va desde 1,25 a 2 cm de largo, cada fruta puede tener hasta 200 semillas. Su sabor se caracteriza por ser muy similar al de la chirimoya es sub-ácido. La guanábana se destaca por su bajo contenido en grasas y su completo aporte vitamínico y mineral. También es una moderada fuente de fibra. La pulpa contiene glúcidos de fácil metabolismo, una pequeña porción de proteínas, lípidos y vitamina C en pequeña cantidad y sales minerales especialmente de fosforo y potasio (BLACIO, 2010).

2.2.2 Aspectos botánicos

2.2.2.1 Morfología

El árbol de guanábana es de ramas caídas, bajas y delgadas, y alcanza una altura de 25 o 30 pies (7,5 - 9 m). Las hojas de fuerte olor, algo desagradable son normalmente perennes, alternas, lisas, brillantes, de color verde oscuro en la superficie superior, y más claras por la inferior, oblongas y elípticas de 2 1/2 a 8 pulgadas (6,25 - 20 cm) de largo y 1 a 2 1/2 pulgadas (2,5 - 6,25 cm) de ancho. Las flores son simples y pueden surgir en cualquier lugar en el tronco, ramas o ramillas. Son de corto peciolo, 1 1/2 a 2 pulgadas (4 a 5 cm) de largo, regordetas, y triangular-cónicas, de 3 pétalos externos algo anchos y carnosos de color amarillo-verdoso y tres pétalos más estrechos interiores de color amarillo pálido. El fruto es más o menos ovalado o en forma de corazón, a veces irregular, asimétrico o curvo, debido al desarrollo anormal del fruto por lesiones de insectos. El tamaño varía de 4 a 12 pulgadas (10 - 30 cm) de largo y hasta 6 pulgadas (15 cm) de ancho, y el peso puede estar entre 10 y 15 libras (4,5 - 6,8 kg). La fruta está cubierta con una piel coriácea, delgada, reticulada, no comestible, de la que surgen desde pocas, hasta muchas protuberancias finas curvadas y blandas que semejan espinas.

Estas protuberancias se van haciendo más cortas a medida que la fruta madura. La piel se rompe fácilmente cuando la fruta está madura, es verde oscuro en la fruta inmadura, convirtiéndose a ligeramente amarillento-verde cuando madura, es suave al tacto. Su superficie interior es de color crema y granular y se separa fácilmente de la masa interior de color blanco nieve, fibrosa, jugosa y más o menos segmentada alrededor del núcleo central. El aroma de la pulpa es típico y algo similar a la piña, de sabor ácido subácido y único. La mayoría de los segmentos de la fruta contienen semillas. En cada segmento fértil existe una única semilla ovalada, lisa y dura, de color negro de 1/2 a 3/4 pulgadas (1,25 - 2 cm) de largo, Una fruta puede contener desde unas pocas docenas a 200 o más semillas (BLACIO, 2010).

2.2.2.2 Taxonomía

Según BLACIO (2010) la guanábana, presenta la siguiente información taxonómica.

Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Familia	: Annonaceae
Género	: Annona
Especie	: *A.Muricata*

2.2.2.3 Propiedades de la guanábana

Las propiedades de la guanábana en el tratamiento contra el cáncer han sido muy difundidas. La *Annona muricata*, nombre científico de la guanábana, brinda otros beneficios al organismo, gracias a su rica composición nutricional. Entre otros componentes, el fruto de la guanábana posee vitaminas,

minerales y aminoácidos esenciales, muy importantes para la salud cada 100 g la guanábana aporta: 2 IU de Vitamina A, 28,5 mg de Vitamina C, 0,10 mg de tiamina, 0.06 mg de riboflavina, 1.3 mg de niacina, 11 mg de triptofáno, 8 mg de metionina1 g de proteína, 0,95 g de grasas, 16,5 de carbohidratos, 3,2 g. de fibra, 58 g de cenizas, 10,3 mg de calcio, 26,9 mg de fósforo, 270 mg de potasio, 0,64 mg de hierro, y 60 mg de lisinas (SALAS, 2009).

Deliciosa como fruta o como zumo (jugos) y también se emplea en la elaboración de licores, tartas, helados y mermeladas. Por otra parte, todas las partes de la planta de la guanábana son aprovechables para diferentes funciones. El zumo de la fruta madura es bueno para el hígado y tiene efecto diurético. Al té de hojas de guanábana se le atribuyen propiedades antiespasmódicas, sedativas, antidiabéticas y vasodilatadoras, además de anticancerígenas.

Las semillas se utilizan trituradas pulverizadas, como repelentes de insectos. Su alto contenido de agua es la consecuencia, por lo que esta cantidad representa un aporte de sólo 65 calorías (SALAS, 2009).

2.2.3 Usos y mercado

- **Fruta fresca:** se utiliza para preparar jugos y helados caseros.
- **Fruta procesada:** se utiliza para producir jugos, néctares, pulpas (congeladas, concentradas, deshidratadas), helados, mermeladas y bebidas alcohólicas.
- **Industria farmacéutica y cosmética:** El jugo de la fruta madura se dice que es diurético y un remedio para la hematuria y la uretritis, tomado en ayunas se cree que sirve para aliviar

afecciones del hígado y la lepra. Las frutas inmaduras pulverizadas, son muy astringentes y pueden ser de ayuda en la disentería. Los efectos tranquilizantes y soporíferos de las hojas, de las que gozan de popularidad en las Antillas no han sido sometidos a estudios clínicos convincentes. De esta forma en la guyana Británica se dice que un cocimiento de hojas de la planta puede devolver la sobriedad a un borracho; en Las Antillas Holandesas se colocan las hojas dentro de la almohada para conciliar el sueño y dormir plácidamente, un cocimiento de ellas se usa con el mismo propósito (QUISPE *et al.,* 2006).

2.2.4 Composición química nutricional

En el Cuadro 4, se observa el valor químico proximal de 100 g de pulpa de guanábana.

2.3 Transferencia de calor

Desde 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).

Cuadro 4. Valor químico nutricional de 100 g de pulpa de guanábana.

Componente	Valor
Calorías	61,3 – 53,1 cal
Humedad	82,8 g
Proteína	1,00 g
Grasa	0,7 g
Hidratos de carbono	14, 63 g
Fibra	0,79 g
Ceniza	6,0 g
Calcio	10,3 mg
Fósforo	27,7 mg
Hierro	0,64 mg
Vitamina A (B-caroteno)	0
Ácido Ascórbico	29,6 mg
Aminoácidos	-
Triptófano	11 mg
Metionina	7 mg
Lisina	60 mg

Fuente: VILLACHICA (1996).

Sin embargo, es convencional en el tema de transferencia de calor denotar todos los flujos de energía que surgen debido a una diferencia de temperatura como transferencia de calor. El término de transferencia de calor se llama transferencia de energía térmica (WATSON y HARPER, 1998).

Se puede definir el calor como la energía que es transferida como resultado de una diferencia de temperatura. Por tanto, la transferencia de calor es un fenómeno de transferencia de energía; cualquier incremento del calor causará un movimiento más rápido de las moléculas de un producto, y la energía cinética de las moléculas se incrementa a medida que el calor es absorbido FENNEMA *et al.*, (1981).

2.3.1 Mecanismos de transferencia de calor

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. Sin embargo, son diferentes ya que la forma física de los tres fenómenos y las leyes que los controlan difieren (CENGEL, 1970).

2.3.1.1 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 (SINGH, 1998; HELDMAN, 1998). La conducción de calor es usualmente interpretada como un intercambio molecular de energía cinética. En este concepto, como las moléculas del material son calentadas, ellas se ponen en movimiento y a su vez impactan elásticamente a las moléculas vecinas, y así a través del espesor del material. Esta forma de transferencia de calor describe el flujo de calor de un alimento sólido durante el calentamiento o enfriamiento (IBARZ *et al.*, 1999).

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. La ley de Fourier para la

conducción unidireccional del calor establece que la velocidad instantánea del flujo térmico ΔQ/Δt es igual al producto de tres factores: al área A de la sección considerada y normal al flujo de calor, al gradiente de temperatura -ΔT/Δx, que representa la relación del incremento de temperatura al de longitud en la dirección del flujo, y a la constante de la conductividad térmica λ (en W/mK), que es una propiedad física del material, la expresión matemática de la ley de Fourier es:

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

Esta expresión diferencial es general para la conducción unidireccional, siendo válida para los casos en que el gradiente de temperatura -ΔT/Δx 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 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 (SHARMA *et al.*, 2000).

2.3.1.2 Convección

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. El uso de intercambiadores de calor resulta de gran importancia en el estudio del intercambio de calor entre dos fluidos separados por una pared; De modo que, uno de ellos cede calor al otro enfriándose mientras que el otro fluido se calienta. 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 (POTTER y HOTCHKISS, 1995).

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

El transporte de energía por radiación se diferencia básicamente de los otros dos fenómenos de transporte de energía al no ser 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 que absorbe; el más frío absorbe más que irradia. Aún después de alcanzarse el equilibrio térmico, continúa el proceso. Uno de los cuerpos absorbiendo y el otro irradiando el calor (Mc ADAMS, 1964).

2.3.2 Transferencia de calor en estado no estacionario

Una comprensión clara del mecanismo de transferencia de calor por conducción a través de sólidos homogéneos es esencial para la solución de problemas más complejos; esto se refiere a que, en la mayoría de los problemas que se presentan en la práctica de ingeniería, se ha supuesto que la temperatura de cualquier punto del sólido permanezca constante con el tiempo. Se supone así una transferencia de calor en estado estacionario. Sin embargo, en la realidad en el flujo de calor desde un medio hacia una pared sólida y a través de ésta, se presentan casos en que la temperatura dentro del sólido, además de variar con la posición puede sufrir variaciones también con el tiempo. Tal es el caso de los procesos de congelación y descongelación, en los que es deseable conocer el tiempo necesario para obtener cierta temperatura en un punto determinado de un sólido; o bien, se desea calcular la temperatura de dicho punto al cabo de cierto tiempo. Para poder calcular estos tiempos o temperaturas debe tenerse presente que el proceso se desarrolla en régimen no estacionario o transiente (Mc ADAMS, 1964; IBARZ *et al.*, 1999).

2.3.3 Método de transferencia de calor en estado no estacionario

Los métodos de transferencia de calor en estado no estacionario, para la medición de la conductividad térmica, hacen uso de una fuente lineal de calor o una o más fuentes planas de calor. En ambas categorías el procedimiento usual es aplicar un flujo de calor estable a la muestra, el cual debe estar inicialmente en equilibrio térmico. La ecuación gobernando el incremento de temperatura es expresada como una serie de términos exponenciales, los cuales pueden ser ignorados excepto los valores muy pequeños del tiempo variable. Así evitando el período inicial, la duración depende del material y de las dimensiones de éste, y con ello se puede usar una razonable y simple relación.

Las técnicas empleadas en estos métodos son menos complicadas que en los métodos de estado estacionario. Visto que la mayoría de los materiales de alimentos sujetos a procesamientos térmicos contienen ciertas cantidades de humedad, el problema de la migración de humedad es presentada cuando es usado un método de estado estacionario. Por tanto los métodos de transferencia de calor en estado transiente parecen ser lo más apropiado para el caso de los alimentos.

2.4 Flujo de calor en estado no estacionario

La temperatura que está dada en el alimento durante el procesamiento depende del tiempo de calentamiento o enfriamiento, como también de la posición en el alimento, de esta forma continuamente hay un cambio en la temperatura (FELLOWS, 1988). De esta manera, el equipo utilizado de forma general en el régimen no estacionario de transferencia de calor consiste en un baño de agua con calefacción o enfriamiento y preferentemente con agitación,

en el cual se sumerge un cilindro infinito, aislado en sus extremos con tapas de teflón o de goma, que contiene la muestra por analizar (POULSEN, 1982; JIMENEZ y KASAHARA, 1991). Dos termocuplas ubicadas en el centro y en la superficie del tubo, respectivamente, permiten seguir la variación de temperatura con el tiempo, cuando se somete el cilindro con la muestra a calentamiento a razón constante, desde una condición de equilibrio hasta una temperatura deseada. Por cuanto la muestra adquiere la forma de un cilindro infinito, el calor se propaga sólo en dirección radial por conducción en estado estacionario (JIMENEZ y KASAHARA, 1991).

La conducción de calor en estado no estacionario es la situación más ampliamente encontrada, la cual involucra la acumulación o pérdida de calor dentro del cuerpo y, con ello la distribución de la temperatura cambia con el tiempo. La ecuación diferencial básica, en coordenadas cartesianas, que gobierna la transferencia de calor en cuerpos isotrópicos corresponde a la ecuación de difusión de calor:

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{\lambda}{\rho c_p}\left[\frac{\Delta}{\Delta x}\left(\frac{\Delta T}{\Delta x}\right) + \frac{\Delta}{\Delta y}\left(\frac{\Delta T}{\Delta y}\right) + \frac{\Delta}{\Delta z}\left(\frac{\Delta T}{\Delta z}\right)\right] + q$$

La ecuación puede ser simplificada suponiendo que la conductividad térmica A es independiente de la temperatura. Para la transferencia de calor en una sola dirección, la ecuación se reduce a:

$$\frac{\Delta^2 T}{\Delta x^2} = \frac{B}{\lambda} + \frac{1}{a_T}\frac{\Delta T}{\Delta t}$$

La solución de esta ecuación proporciona información sobre la distribución de la temperatura T(x, y, z) en función del tiempo. Esta expresión describe también una condición física importante, que es la conservación de la

energía,El término Δ/Δx (ΔT/ΔX), por ejemplo, se relaciona con el flujo neto de calor por conducción en el volumen de control para la dirección de la coordenada x. Para obtener la solución, las condiciones límites y condiciones iniciales deben ser formuladas, preferiblemente de una forma en que se simplifiquen las mediciones y cálculos. Las condiciones límites describen el flujo de calor en la superficie del cuerpo y son simplificadas si la temperatura de la superficie se iguala instantáneamente a la temperatura del medio de calentamiento o enfriamiento. Estas condiciones se pueden omitir si se encuentra en contacto íntimo con una placa metálica. Las condiciones iniciales describen la distribución de la temperatura en el cuerpo cuando el experimento ha comenzado, y son más simples cuando la temperatura es igual a lo largo del cuerpo.

Varias son las técnicas matemáticas, las cuales pueden ser usadas para resolver la ecuación diferencial de conducción de calor para los tres cuerpos "elementales": lámina infinita, cilindro infinito y esfera. Existen soluciones gráficas que están dadas, por las cartas de GURNEY - LURIE (DRUSAS y SARAVACOS, 1985). Una de las ecuaciones más ampliamente usadas dando relación entre la temperatura, tiempo, difusividad térmica y geometría de los cuerpos es la desarrollada por Ball y Olson (1957), citado por DRUSAS y SARAVACOS (1985):

$$t = f \log j \left[\frac{T_m - T_0}{T_m - T}\right]$$

La ecuación antes descrita está referida a la función de primera clase de Bessel (LONCIN, 1991):

$$\frac{\Delta T}{\Delta T_0} = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_{0\left(B_{n\frac{r}{r\,max}}\right)}}{B_0 \,.\, J_1(B_n)} . e^{-Bn^2 . F_0}$$

Donde para un cilindro infinito, donde la transferencia de calor se realiza en forma radial, la relación (r/r max) = 0, con lo cual se utilizan los valores dados en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Valores de las variables B_n y J_1 (B_n)

Valores de B_n para J_0 (B_n) = 0		**J1 (Bn)**
B_1	2,4048	0,5191
B_2	5,5201	-0,3404
B_3	8,6537	0,2715
B_4	11,7915	-0,2324
B_5	14,9309	0,2065

Fuente: Bessel (LONCIN, 1991).

Entonces la resolución de la ecuación siguiente con los valores del Cuadro 4, para un cilindro infinito se describe con la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta T}{\Delta T_{max}} = 1{,}6e^{-5.78Fo} - 1{,}06e^{-30{,}47Fo} + 0{,}85e^{-74{,}9Fo} - 0{,}73e^{-1{,}39Fo}$$

Cuando número de Fourier es superior aproximadamente a 0,1, solamente es importante el primer término de la serie en la ecuación siguiente, de forma que se pueden despreciar los demás términos (Mc CABE *et al.*, 1991). Entonces reordenando de otra manera puede ser escrita como:

$$t = 0{,}398 \frac{r^2}{a_T} \log\left[1{,}6 \frac{T_m - T_o}{T_m - T_O}\right]$$

Dónde:

r = Radio interno del cilindro.

T_m = Temperatura del medio externo.

T_0 = Temperatura inicial en el centro.

T = Temperatura del centro en el tiempo t.

La geometría utilizada para los cuerpos del equipo de medición involucra generalmente a la esfera y al cilindro infinito, siendo éstos entre las formas más simples para operar debido a que se puede controlar más fácilmente la transferencia de calor del baño a estos cuerpos que en el caso de una plancha infinita. El cilindro infinito ha sido seleccionado para el presente trabajo por permitir la inserción de termocuplas paralelas al eje del cilindro con temperatura constante. Escogiendo una gran longitud con respecto al radio (una longitud mayor a seis veces el radio) y aislando los extremos del cilindro se logra una buena aproximación del cilindro infinito. Un aparato similar fue desarrollado por Dickerson (1965), citado por POULSEN (1982).

2.5 Propiedades termo físicas

Las propiedades térmicas de los alimentos son de considerable importancia in la ingeniería para los procesadores de alimentos, dado que ellas gobiernan los cambios de temperatura en procesos que involucran la transferencia de calor, procesos tales como, calentamiento, enfriamiento, secado y congelamiento (JIMENEZ y KASAHARA, 1991; PELEG (1983); SINGH y HELDMAN 1998).

Junto con otras características físicas como la densidad, viscosidad, forma y tamaño, ellos son de gran importancia en el diseño de equipos y perfiles de proceso. Se incluyen aquí el calor específico, conductividad térmica, difusividad

térmica, emisividad y conductancia de superficie (PELEG, 1983). Estas propiedades son dependientes de la temperatura, composición química del producto y estructura física (URBICAIN y LOZANO, 1979).

El conocimiento de las propiedades de los alimentos es requerido para predecir, diseñar y optimizar muchos procesos que involucran la transferencia de calor, como por ejemplo el congelamiento, el descongelamiento, la cocción y el secado. Estas propiedades, tales como la conductividad térmica (λ), el calor específico (c_p) y la difusividad térmica (α_T), definida por la relación $\alpha_T = \lambda / c_p \rho$, donde ρ es la densidad, pueden ser determinada por dos vías:

(1) por medición directa.

(2) determinando la composición del alimento y usando una ecuación de predicción y expresando las propiedades térmicas en función de la composición proximal.

Este último es usualmente factible sólo para materiales con un máximo de 3 componentes dominantes (NESVADBA, 1982).

La aplicación de métodos numéricos usando computadores es cada vez más útil para la evaluación de procesos que involucran la transferencia de calor en alimentos. Tales aplicaciones a menudo están limitadas por la disponibilidad de datos de las propiedades térmicas, especialmente valores de conductividad y difusividad térmica (ALVARADO, 1994).

La penetración lenta de calor durante el calentamiento o enfriamiento de pastas puede causar cambios indeseables en la calidad, particularmente si el producto es calentado o enfriado en grandes recipientes. Por consiguiente es importante que la conductividad térmica o la difusividad térmica de estos productos sea conocida con razonable exactitud (DRUSAS y SARAVACOS,

1985). En la literatura se encuentran pocos datos de difusividad térmica de alimentos, encontrándose la determinación de estas propiedades en pastas de tomate, donde a 35 °brix se obtuvo una difusividad térmica de 1,42 x 10^{-7} m^2/s (DRUSAS y SARAVACOS, 1985). Se han realizado también estudios en pastas de pescado con una humedad de 82 %, encontrando un valor de difusividad térmica de 1,42 x 10^{-7} m^2/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 es generalmente más difícil determinar la conductividad o la difusividad térmica que el calor específico (CHOI y OKOS, 1986).

Los datos de conductividad térmica de alimentos como una función del contenido de humedad es una de las primeras propiedades requeridas para modelar procesos de transferencia de masa y energía (LOZANO *et al.,* 1979). Ejemplos típicos en alimentos son, los procesos de secado, re-hidratación, almacenamiento.

2.5.1 Conductividad térmica

La conductividad térmica de un producto es una medida de la velocidad con la que el calor se transmite a través de un espesor de unidad de ese material cuando existe un gradiente de temperatura y está expresada en W/m K (SINGH y HEDLMAN, 1998). Esta propiedad del alimento depende mucho de la porosidad, la estructura y los constituyentes químicos; está principalmente asociada con las propiedades del aire, de la grasa y del agua en

los alimentos. La conductividad térmica de la grasa es más baja que la del agua, al igual que la conductividad térmica del aire; altos niveles de grasa o aire atrapado disminuiría consecuentemente la conductividad térmica de un alimento. Esto tiene un gran impacto en las tasas de calentamiento y enfriamiento, como también en la eficiencia de los procesos (PELEG, 1983).

La conductividad térmica de líquidos puede incrementarse con la presión, pero decrece con un incremento de la concentración de solutos (PELEG, 1983). Para medir esta propiedad en sólidos se han desarrollado numerosas técnicas experimentales muchas de las cuales son válidas para rangos de temperatura y productos alimenticios específicos, las que se pueden agrupar en las de flujo de calor en régimen estacionario y no estacionario. A su vez, la variación de la conductividad térmica experimentada en diferentes alimentos se refiere a las diferencias en su composición; además estas diferencias parecen ser también originadas por la procedencia de los diferentes productos (JIMENEZ y KASAHARA, 1991).

Los métodos para la determinación de la conductividad térmica de materiales biológicos pueden ser divididos en dos grandes categorías: una que requiere de la transferencia de calor en estado estacionario, y aquellos donde predomina la transferencia de calor en estado no estacionario. Estos métodos pueden ser absolutos o comparativos. Uno de los métodos característicos de la transferencia de calor en estado estacionario corresponde al método de placas aisladas calentadas, *Guarded Hot Plate.* Este método se basa en la conducción del flujo de calor a través de dos placas, una placa caliente, donde se ajusta la fuente de calor (para este caso una resistencia eléctrica) y una placa fría. Las placas se colocan en ambos lados de la muestra, para lo cual el flujo de calor

que sale de la fuente de calor (placa caliente), atraviese la muestra que tiene un espesor conocido y continúa hacia la placa fría, donde a través de termocuplas se registra la variación de temperatura que experimenta esta placa en función del tiempo. En el método de estado estacionario, la conductividad térmica (λ) de una muestra de espesor conocido (Δx) puede ser calculada a partir de la medición de la densidad de flujo de calor (Q), si el gradiente de temperatura $(\Delta T/\Delta x)$ es conocido: $Q = \lambda(\Delta T/\Delta x)$ en W/m^2 (AVILA, 1999).

Modelos matemáticos han sido desarrollados por muchos investigadores para predecir las propiedades térmicas de alimentos (CHOI y OKOS, 1986). Sin embargo, su aplicación se limita para algún rango de temperatura y composición de los alimentos. Cuando las propiedades térmicas son necesitadas para varias condiciones de procesos el camino más eficiente y práctico es obtener éstas por modelos experimentales basados en las condiciones de proceso.

Para medir la conductividad térmica los métodos que adquirieron mayor difusión son los métodos estacionarios (AVILA, 1999).

La difusividad térmica es la magnitud que aparece en la ecuación de conducción del calor, y depende proporcionalmente de la conductividad térmica y es inversamente proporcional al calor específico y a la densidad del material (AVILA, 1999).

2.5.2 Difusividad térmica

Esta propiedad es una medida de la cantidad de calor difundida a través de un material en calentamiento o enfriamiento en un lapso de tiempo y está definida como el cociente de la conductividad térmica por el producto de la ρ y el c_p. (MOHSENIN, 1980).

Esta propiedad es una medida de la cantidad calor difundida a través de un material en calentamiento o enfriamiento en un tiempo donde se determina la penetración de calor al alimento Jiménez y Kasahara (1991), citado por CASTILLO Y ROJAS (2005).

Cuando la transferencia de calor ocurre por conducción más que por convección, la difusividad térmica resulta importante. La difusividad térmica está relacionada con la conductividad térmica, densidad y calor específico del producto y determinan la tasa de propagación de calor a través del alimento (MOHSENIN, 1980; FELLOWS, 1988). Los valores de la difusividad térmica para alimentos se encuentran en el rango de 1 a 2 $x10^{-7}$ m^2/s y es directamente proporcional a la temperatura (PELEG, 1983).

Los alimentos que tienen alta difusividad indica que estos son más aptos para transmitir energía por conducción que para almacenarlo, es decir pueden ser calentados o enfriados rápidamente a diferencia de aquellos materiales que tienen baja difusividad que responden lentamente en la penetración de calor. (ALVARADO, 1994).

Como la difusividad térmica es un parámetro que se relaciona con la transferencia de calor, los métodos de determinación de esta propiedad están basados en estado transitorio (no estacionario). En estos métodos la muestra es sometida a un flujo de calor dependiente del tiempo y se mide la temperatura en uno o más puntos en el interior o superior del producto con una fuente de calor puesta dentro o fuera de la muestra. En sistemas sencillos, en los que la geometría y la condición inicial están bien establecidas es posible determinar la difusividad térmica analíticamente. Sin embargo en situaciones más complejas se deben utilizar métodos numéricos, es decir la solución

analíticamente de la ecuación de Fourier con la ayuda de ordenadores y de la técnica desarrollada por Dickerson (1965). En la que utiliza una velocidad de calentamiento constante (ALVARADO Y AGUILERA, 2001). El incremento experimentado en el valor de la difusividad térmica, al aumentar la temperatura del medio de calentamiento, debido al alto contenido de humedad y aceleración en la propagación de calor, por ser el agua el principal medio transferencia de calor Jiménez y Kasahara (1991), citado por COARICONA (2008).

2.5.3 Calor específico

Según MOHSENIN (1980) se refiere al calor específico como la cantidad de energía requerida para aumentar en un grado la temperatura de una unidad de masa. En el proceso de calentamiento y enfriamiento no estacionario sin cambio de fase, el calor específico de un material estable establece la capacidad de absorber o remover calor, según sea el caso.

Muchos trabajos han sido reportados en la determinación del calor específico en alimentos. Los métodos más comunes utilizados para la determinación del calor específico son el método de mezclas, el método modificado de mezclas y el método de calorimetría diferencial de barrido (HWANG y HAYAKAMA, 1979).

La energía calorífica es propagada a través de una sustancia debido a un gradiente de temperatura. El calor específico de una sustancia denota la variación de la temperatura con la cantidad de calor almacenada dentro de la sustancia. El calor especifico depende de la naturaleza del proceso de adicionar calor, en términos de un proceso a presión constante o a un volumen constante (MOHSENIN, 1980).

La capacidad de calor especifico, designada a menudo como el calor especifico, es una medida de la cantidad de energía requerida para elevar la temperatura de una unidad de masa (1 Kg ò 1 K – mol) de una sustancia por 1 unidad de temperatura (1 grado Kelvin). El símbolo usado es c_p. para la cantidad molar. En el sistema internacional de unidades la capacidad de calor especifico se expresa en J / Kg K; (también en J / mol – Kg K).

El calor especifico a diferencia de la conductividad térmica y la difusividad térmica es independiente de la densidad en el producto o alimento al cual se determina (SUDHARINI, 1997).

2.5.4 Color

El color de un producto se puede especificar con tres coordenadas obtenidas con el colorímetro. El sistema que utiliza la escala CIELAB, que define L*, a* y b*, se emplea con mayor frecuencia para medir color en alimentos. L* mide la luminosidad, b* indica el cambio de color de azul a amarillo, y a* indica el cambio de verde a rojo (AVILA Y SILVA, 1999). La diferencia de color total ΔE se calcula mediante la expresión matemática que permite determinar el color (JAYA y DAS, 2003):

$$\Delta E = \sqrt{(L_o - L_p)^2 + (a_o - a_p)^2 + (b_o - b_p)^2}$$

O= Inicial p= Final

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de ejecución

El experimento se realizó en la planta piloto de frutas y hortalizas 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, región Andrés Avelino Cáceres; ubicada a 660 msnm, con una humedad relativa de 84 % y una temperatura promedio anual de 25 °C, en el periodo comprendido abril a diciembre del año 2012.

3.2 Materia prima

Se utilizó el fruto de guanábana (*Annona muricata),* obtenido en la zona de Tingo María 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), GOOGLE EARTH 6.1.0.5001 (2011). La cantidad necesaria para las pruebas, se recepcionó y almaceno descartando las dañadas, las verdes y sobre maduras. Se colocó en bolsas de 1kg para posteriormente realizar el proceso de licuado y elaboración de la pulpa.

3.3 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,

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

- Estufa tipo LP 201/AL con temperatura hasta 200.
- Equipo micro Kjeldahl para la determinación de proteínas.
- Equipo Soxhlet para la determinación de grasa.
- 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 10L, 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.
- Licuadora IMACO modelo BL - 75 220v - 60Hz 350w P.O.212320 made in Perú.
- Refrigeradora marca electrolux modelo FirgidaireFrost free, Canadá.
- Sensores térmicos "DATA TRACE" (con dos sondas).
- Colorímetro “CONICA MINOLTA”.

3.4 Materiales

- Bandejas de acero inoxidable.
- Cuchillos de acero inoxidable.
- Cilindros de acero inoxidable de dimensiones, longitud: 200 mm por diámetro: 30,10 mm.
- Tamices.

- Bolsas de polietileno.
- Mesa de acero inoxidable.
- Crisol.
- 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.

3.5 Reactivos

- Hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 N.
- Indicador de fenolftaleína 1 %.
- Buffer acetato de sodio 0,1 M pH 4,5.
- Buffer acetato de sodio 1M pH 5.
- Ácido sulfúrico.
- Colorante 2-6 diclorofenolindofenol.

3.6 Métodos de análisis

3.6.1 Características químico proximal de la guanábana

- Determinación de humedad: método 12.002 AOAC (1984).
- Proteína (Nx6, 25), AOAC (1997).
- Grasa, método descrito por AOAC (1997).
- Determinación de cenizas, según AOAC (1995) N° 923,03.
- Determinación de fibra, según AOAC (1997) N° 920,86.
- Densidad, método de volumen, según la metodología descrita por LIDE (1998).

3.6.2 Características fisicoquímicas de la guanábana

- Determinación del pH: método 11.032 AOAC (1997).
- Determinación de sólidos solubles: método 932.14C AOAC (1995).
- Acidez titulable: método 942.15 AOAC (1997).
- Determinación de índice de madurez, indicado por AOAC (1997).
- Determinación de sólidos totales, según la metodología descrita por AOAC (1997).
- Determinación de Vitamina C, según la metodología descrita por AOAC (1997).
- Determinación de Azúcares reductores, Según la metodología descrita por AOAC (1997).

3.6.3 Medidas biométricas de la guanábana

Se realizó las medidas biométricas del fruto y pulpa de guanábana:

- Diámetro promedio de 10 muestras de fruto para luego hallar el volumen promedio (se tomó la medida del diámetro con un vernier).
- Masa promedio de 10 frutos de guanábana para lo cual se utilizó una balanza digital.

3.6.4 Variación del color

Se determinara el color de la pulpa, antes y después de haber obtenido la difusividad térmica, para ello se tomó 10 muestras de pulpa y se determinara los valores con un colorímetro digital y selecciono el método usado por ÁVILA Y SILVA (1999).

3.6.5 Balance de materia y rendimiento

Se realizará un balance de materia y rendimiento por operación y proceso para la obtención de pulpa de guanábana.

3.6.6 Determinación de la difusividad térmica

Para el estudio del comportamiento de la difusividad térmica de la pulpa de guanábana se procedió a evaluar la difusividad térmica de la pulpa a 60 °C, 65 °C, 70 °C, 75 °C, 80 °C, 85 °C y 90 °C.

Se llenó pulpa en el cilindro y se colocaran dos sensores de temperatura con la finalidad de registrar y almacenar las temperaturas del centro térmico y del medio de calentamiento, consistiendo en agua de un baño termo regulable con convección natural para registrar la variación de temperatura que experimenta este durante el experimento (Figura 1).

El experimento consiste en la determinación del perfil térmico desde una temperatura inicial de pulpa en el centro de cilindro hasta la temperatura del medio de calentamiento.

Las temperaturas serán registradas y almacenadas por los sensores programados para luego ser procesados.

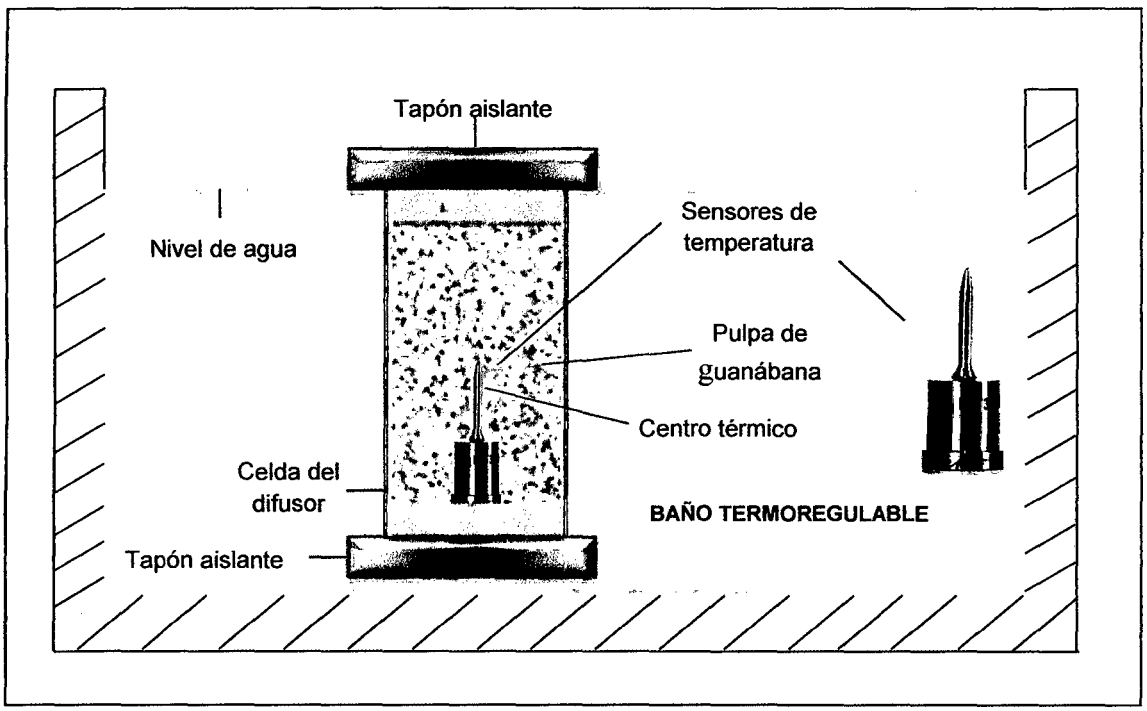

Figura 1. Equipo que se utilizó para la obtención del perfil térmico.

Para la determinación de la difusividad térmica se utilizó el método de transferencia de calor en el estado no estacionario, desarrollado por Dickerson (1665), y modificado por POULSEN (1982). El cual se basa en el uso de un cilindro.

Para ello se utilizó la siguiente fórmula:

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

Dónde:

α = Difusividad térmica (m^2/s).

r = Distancia recorrida por el flujo de calor, equivale al radio del cilindro (m).

t = Tiempo (s).

T_m = Temperatura del medio de calentamiento (baño maría) (°C).

T_0 = Temperatura inicial en el centro de la muestra (°C).

T = Temperatura del centro térmico de la muestra en el instante t (°C).

Reordenando la ecuación 1 se obtiene una ecuación de línea recta.

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

Dónde:

$\left(\frac{T_m - T_0}{T_m - T}\right)$, es la variación de temperatura no conseguida o la fracción de variación total posible de temperatura que queda sin conseguir en un determinado instante.

La representación semilogarítmica corresponde en este caso a una línea recta sin intercepto, esta relación se encuentra en función al tiempo t, y m es la pendiente de la línea recta correspondiente a esta:

$$m = \frac{1}{0{,}398}\;\frac{\alpha}{r^2} \quad \ldots \; 3$$

Dónde: m es la pendiente.

Seguido al ordenamiento y gráfica de los valores, se encuentra la pendiente de la recta de calentamiento, donde la pendiente se iguala al factor de la ecuación, la que está en función de la distancia recorrida y difusividad térmica. Despejando α de la ecuación (3) la expresión permite encontrar la difusividad térmica. $\alpha = 0{,}398\,x\,m\,x\,r^2;\; m^2/s \quad \ldots \; 4$

Con los datos experimentales que se obtenido la difusividad térmica para cada temperatura se buscará una función que explique el comportamiento de difusividad térmica en función de la temperatura para el rango de trabajo 60 - 90 °C.

$$\alpha = f(T) \quad \ldots \; 5$$

3.7 Metodología experimental

3.7.1 Obtención de la pulpa de guanábana

Preparación de la muestra de pulpa de guanábana se realizó de acuerdo al flujograma de operaciones para la determinación de la difusividad (Figura 2), a continuación se explican.

3.7.1.1 Materia prima

Los frutos de la guanábana obtenidos de un mismo lote, se seleccionaran tomando en cuenta las características físicas de la fruta en el estado maduro (cambio de color verde a verde amarillo, olor fuerte penetrante y de consistencia suave con un pH 4, °brix 14.70).

3.7.1.2 Selección

Se seleccionaron los frutos por el tamaño, color homogéneo y descartando la fruta dañada.

3.7.1.3 Pesado

Los frutos de guanábana una vez seleccionados son pesados, para conocer la cantidad inicial de materia prima con la que inicio el proceso (FELLOWS, 1988).

3.7.1.4 Lavado

Los frutos son inmersos en agua potable a temperatura ambiente (27°C) se realizó un remojo agitándose constantemente, para eliminar residuos.

3.7.1.5 Pelado

Se realizó un pelado manual, ya que el tejido cubre a la pulpa es muy fácil de retirar.

3.7.1.6 Cortado y despepitado

Se realizó con un cuchillo de acero inoxidable, las semillas son retiradas manualmente.

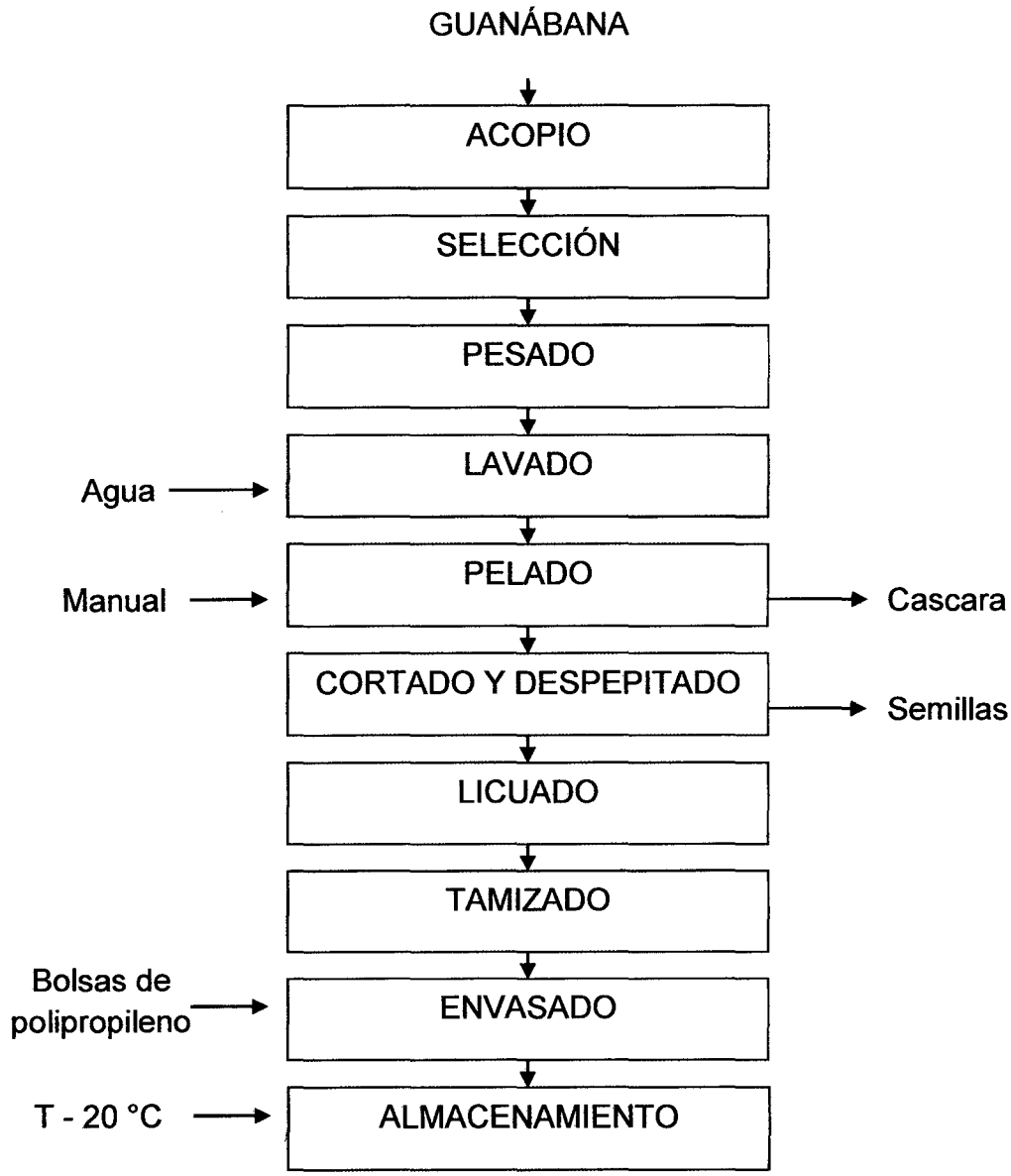

Figura 2. Flujo de operaciones para la obtención de pulpa de guanábana.

3.7.1.7 Licuado

La fruta pelada se licuo con la ayuda de una licuadora domestica para obtener una pulpa más homogénea y facilitar su manejo en el momento de realizar la toma de datos de la difusividad.

3.7.1.8 Tamizado

Se tamizó hasta obtener la pulpa homogénea y manejable.

3.7.1.9 Envasado

Se hizo el envasado en bolsas de polietileno, para impedir el ingreso de agua y otros contaminantes.

3.7.1.10 Almacenamiento

El almacenamiento se dio a temperatura de -20 °C para su conservación para el tiempo que dure la ejecución de la investigación.

3.7.2 Diseño Experimental

En la Figura 3, se muestra el diseño experimental con los diferentes tratamientos aplicados en el presente estudio, correspondiente a siete (7) tratamientos con tres distintas repeticiones.

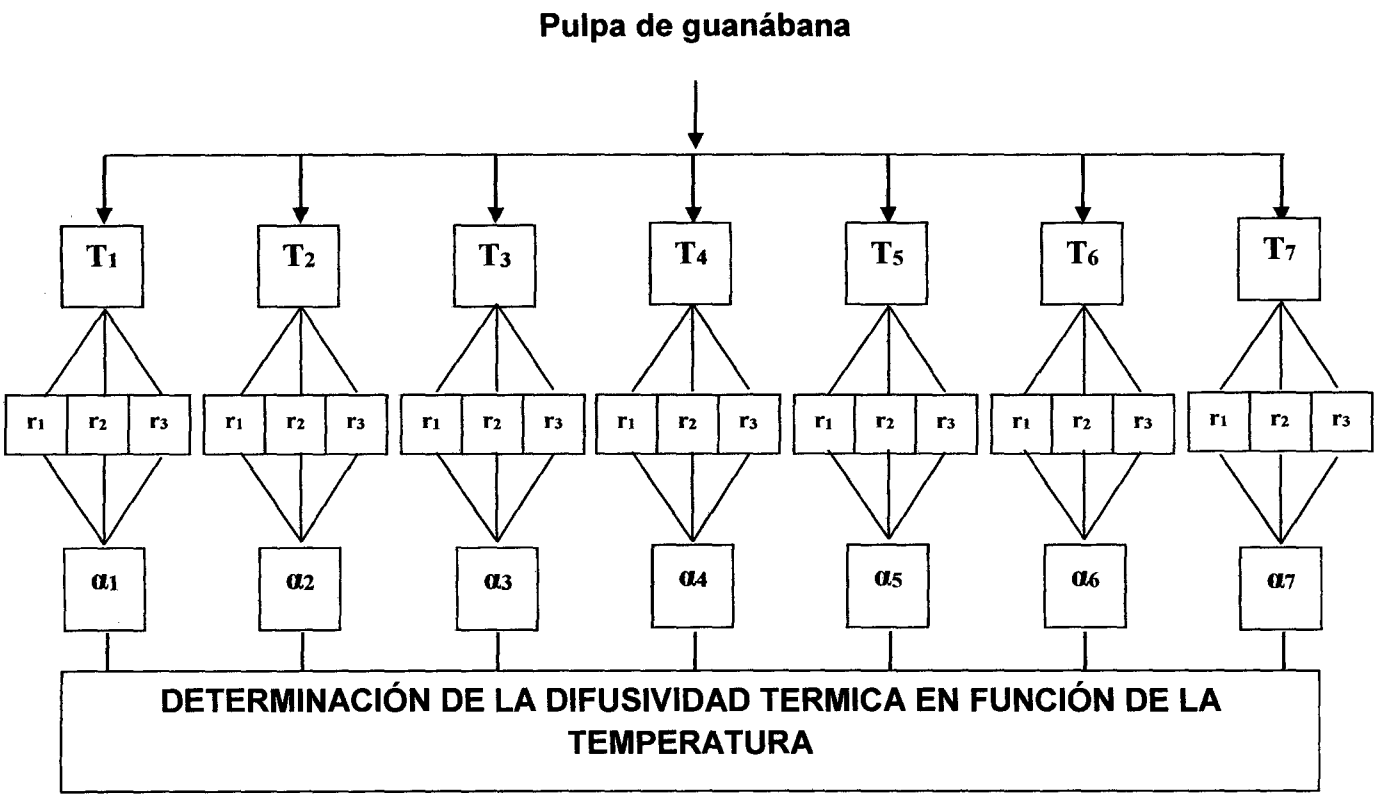

Figura 3. Diseño experimental para determinación de la difusividad térmica de la pulpa de guanábana.

Leyenda:

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

Temperatura del medio de calentamiento a: T_1= 60 °C, T_2= 65 °C, T_3= 70 °C, T_4=75 °C, T_5= 80 °C, T_6= 85 °C y T_7=90 °C.

Repeticiones: r_1, r_2, r_3.

Promedio de difusividad: α_1, α_2, α_3, α_4, α_5, α_6, α_7.

3.7.3 Modelo estadístico

Según CALZADA (1970) el modelo de regresión lineal es la siguiente:

$$Y = \alpha + \beta X_i + \varepsilon_i$$

Dónde:

Y_i = Variable dependiente.

α y β = Son parámetros desconocidos llamados coeficientes de regresión (intercepto y pendiente respectivamente).

X_i = Variable independiente.

ε_i = Error del modelo.

3.7.4 Determinación de la difusividad térmica

La pulpa acondiciono, siguiendo el procedimiento ya descrito, en seguida se programó dos sensores; el primero para registrar la temperatura T_m y el segundo para la temperatura T_0, posteriormente se colocó el segundo sensor en una canastilla dentro del cilindro del DATA TRACE, se agregó 100 g de muestra en el mismo y se hermetizó, utilizando un tapón de teflón, el cilindro hermetizado se colocó al baño maría como se muestran en la Figura 1. Las temperaturas se registraron hasta 30 min, cada 30 s. Este procedimiento se repitió en cada tratamiento según el diseño experimental de la Figura 3.

IV RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Medidas biométricas de la guanábana

En el Cuadro 6 se muestra los resultados de las medidas biométricas efectuadas a los frutos del guanábano; diámetro, volumen y peso y los resultados de las medidas biométricas de la guanábana en el Cuadro 7.

Cuadro 6. Medidas biométricas: diámetro, volumen y peso de la guanábana maduro.

Guanábana	Longitud (cm)	Volumen esférico (cm^3)	Peso (g.)
Maduro	16,17 ± 0,022	625,40 ± 0,160	1 786,12 ± 0,240

Datos expresados en promedio ± SEM, n = 10.

Es una baya colectiva o sincarpo, ampliamente ovoide o elipsoide, verde oscuro de 15 - 35 cm de largo y 10 - 20 cm de ancho, a menudo asimétrico en la base debido a la polinización deficiente, está cubierta por espinas suaves carnosas que miden de 0,3 - 0,5 cm de largo y están volteadas hacia el ápice; la cáscara es delgada y coriácea y la pulpa es blanca, cremosa, carnosa, jugosa y subácida. Los frutos con frecuencia alcanzan un peso de 1,800 kg, o más.

CHICAÍZA *et al.,* (2003) menciona que la guanábana es de forma ovalada semejante a un corazón, ovoide o de forma irregular, esto último debido a un desarrollo inapropiado del carpelo o vacíos producidos por insectos, la fruta alcanza los 10 a 30 cm de longitud, está cubierta por una cáscara de color verde oscuro con varias espinas pequeñas, suaves y carnosas que se

desprenden fácilmente cuando la fruta está madura. La aromática pulpa, con textura similar a la del algodón, es blanca, cremosa, jugosa y suave, recubre totalmente las semillas negras de 1 a 2 cm de largo, cada fruta puede tener hasta 200 semillas, la mayoría de los segmentos no contienen semilla, su sabor ácido subácido ha sido descrito como similar al de la piña y mango. El peso de la fruta va de 1 a 10 kilos, y cuando el fruto está maduro éste se vuelve verde mate y adquiere una consistencia blanda con apariencia verticulada, de sabor agridulce, por lo que no es comestible como fruta fresca, además tiene un número indefinido de espinas blandas, las mismas que se dirigen hacia el ápice, las que se rompen fácilmente cuando el fruto está maduro.

4.2 Características fisiológicas de la guanábana

Para realizar los análisis termo físico de la fruta se seleccionó y clasifico, libre de golpes, picaduras y daños mecánicos, fresca y sin señales de marchitamiento. En el Cuadro 6, se muestra las características de los frutos acopiados para su posterior proceso.

Cuadro 7. Características fisiológicas de la guanábana.

CARACTERÌSTICA	CUALIDAD
PESO	Mínimo 700 g. Máximo 1800 g. El tamaño mediano es el más comercial.
FRESCURA	Fruta fresca con su humedad natural al tacto, sin estar mojada. Con todas las características de un producto recién cosechado. Sin señales de deshidratación.
SANIDAD VEGETAL	Fruta sana, externa como internamente, entera, sin ruptura de la de la epidermis, libre de señales de ataque por plagas y enfermedades, sin magulladuras y defectos fisiológicos. Libre de residuos tóxicos de fumigantes, "golpe de sol" u otras quemaduras, sin manchas de antracnosis. Libre de picaduras de la mosca del mediterráneo.
LIMPIEZA	Fruta limpia, libre de polvo, tierra u otras materias indeseables. Sin residuos de fumigantes visibles.
TEXTURA	Suave, pero consistente y firme, con textura uniforme por toda la superficie de la fruta, sin magulladuras.
COLOR	Externamente desde verde oscuro hasta verde.

4.3 Caracterización fisicoquímica de la guanábana

En el Cuadro 8, se muestra las características fisicoquímicas de la pulpa de la guanábana.

4.3.1 Firmeza

Los valores de textura o firmeza de la guanábana mostraron un amplio rango de variación. LABOREN (1994) obtuvo valores de firmeza de 6,6 - 10 mm, similares a los encontrados.

4.3.2 pH

Las pulpas de guanábana son ligeramente ácidas; los rangos de pH se ubican en el intervalo de 3,9 a 4,3 similar al reportado por MACHADO *et al.*, (1998); para guanábanas en Venezuela. Sin embargo, los valores de pH obtenidos son inferiores a los descritos por UMME *et al.*, (1997) y LABOREN (1994) y superiores a los encontrados por ONIMAWO (2002). El pH además de ser una medida de intensidad del sabor ácido de un producto, es muy importante en el control del desarrollo de poblaciones de microorganismos y en la actividad de sistemas enzimáticos (MEDINA Y PAGANO, 2003).

4.3.3 Acidez titulable

Los valores de acidez titulable 0,40 – 0,60 (g de AC/100 g) de las muestras de guanábana, son comparables a los obtenidos por MACHADO *et al.*, (1998); éstos indican que los frutos cultivados mantienen su grado de acidez en las diferentes épocas del año.

Cuadro 8. Análisis fisicoquímicos de pulpa de guanábana.

Análisis	Min. –Max.	Promedio ± DE
Firmeza (mm)	0,8 – 26,5	8,08 ± 6,25
pH	3,8 – 4,2	4,10 ± 0,00
Acidez titulable (g de AC/100 g)	0,40 – 0,60	0,48 ± 0,01
Sólidos solubles(°brix a 20 °C)	14,00 – 15,20	14,70 ± 0,10
Índice de madurez (°brix/%Ac)	25,20 – 36,80	31,38 ± 1,03
Azúcares totales(g/100 g)	13,80 – 18,00	15,45 ± 1,84
Humedad (%)	78,46 – 80,79	80,07 ± 0,56
Proteína(g/100 g)	0,94 – 1,39	1,13 ± 0,03
Grasa(g/100 g)	0,51 – 0,80	0,68 ± 0,01
Fibra(g/100 g)	0,74 – 0,96	0,86 ± 0,08
Vit. C (mg ácido ascórbic /100 g)	19,35 – 20,84	19,96 ± 0,55

Los valores representan, n=9, DE= Desviación estándar

4.3.4 Sólidos solubles

El contenido promedio encontrados en las muestras analizadas fue de 14,7 °brix a 20 °C, similares al reporte de 15 °brix ONIMAWO (2002). Pero > 11,0 - 11,7 encontrados por UMME *et al.,* (1997) y LABOREN (1994). Según MEDINA Y PAGANO (2003) la diferencia puede deberse a factores climáticos.

4.3.5 Índice de madurez

El índice de madurez reportó 31,38±1,03 (°brix/%Ac) se tomó aceptable dentro del rango reportado por AMUSA *et al.*, (2003).

4.3.6 Azúcares totales

Las azúcares totales promedio para las pulpas de guanábanas fueron 15,45 g/100 g. Los valores encontrados se asimilan con los reportados (15,0 a 17,0 %) por AMUSA *et al.,* (2003). Pero mayores a los descritos para las guanábanas por LABOREN (1994) y VELEZ (1990). Quienes han reportado valores de 8,6 - 13,5 %, y de 13,80 %, respectivamente.

4.3.7 Humedad

El contenido promedio de humedad de la pulpa fue de 80,07 %. Los valores son similares a los reportados por ONIMAWO (2002) y VELEZ (1990).

4.3.8 Proteína

El contenido promedio de proteína encontrado en la pulpa 1,13 g/100 g. Similares a los reportados por AMUSA (2003) y VÉLEZ (1990).

4.3.9 Grasa

Los contenidos de grasa en la guanábana son superiores a los encontrados por VÉLEZ (1990).

4.3.10 Fibra cruda

El promedio de fibra encontrado en las muestras de pulpa de la guanábana fue de 0,86 g/100 g. Este valor se encuentra por debajo del reportado por VÉLEZ (1990).

4.3.11 Vitamina C

El contenido de vitamina C de la muestra de pulpa es muy similar a los valores de 20,9 mg y 22,0 mg/100 g, reportado en Malasia por UMME *et al.*, (1997). En la zona central de Venezuela, se ha reportado un valor de 26 mg/100 g (VÉLEZ 1990). Ligeramente superior al encontrado en esta investigación.

En el Cuadro 9, se muestra los resultados del color y su variación antes y después de haber realizado el análisis de la difusividad térmica de la pulpa de la guanábana.

Cuadro 9. Medida del color de la pulpa de guanábana.

Antes del análisis		
L*	**a***	**b***
69,5939	-0,6536	12,3956
69,0536	-0,7838	12,2768
68,8275	-0,9369	12,2129

Datos expresados en promedio, n = 10

Cuadro 10. Medida del color de la pulpa de guanábana después del ensayo.

L*	**a***	**b***
95,2382	0,0399	5,2337
95,2489	0,0400	5,7898
95,4836	0,0401	5,2339

Datos expresados en promedio, n = 10.

El color de un producto se puede especificar con tres coordenadas obtenidas con el colorímetro. El sistema que utiliza la escala CIELAB, que define L*, a* y b*, es el que se emplea con mayor frecuencia para medir color en alimentos. L* mide la luminosidad, b* indica el cambio de color de azul a amarillo, y a* indica el cambio de verde a rojo (AVILA Y SILVA, 1999).

El espacio del color HUNTER es un espacio de color rectangular de 3 dimensiones, basada en la teoría de colores opuestos. Eje L*, luminosidad 0 es negro y 100 es blanco; eje a* (rojo - verde), los valores positivos son rojos y los valores negativos son verdes, el valor de cero es neutro; el eje b* (azul - amarillo), los valores positivos son azules, los valores negativos son amarillos y 0 es neutro, por lo que se asegura a un rojizo parduzco.

En el Cuadro 10 se observa que los valores de luminosidad L*, se incrementa, lo cual significa que la luminosidad aumenta después de haber determinado la difusividad térmica en la que se ha tratado con penetración de calor. Los resultados de L* indican que la pulpa se ha oscurecido. El valor de a* que es un indicador de la variación del color de verde a rojo aumento y b* disminuyo. Esta variación coincide con lo reportado por ROJAS *et al.*, (2004) en tomate de árbol osmodeshidratado, indicando que los colores se hacen más brillantes y más saturados de color.

4.4 Preparación de la muestra de pulpa de guanábana

El trabajo se realizó de acuerdo al flujograma de operaciones para la determinación de la difusividad (Figura 2).

Cuadro 11. Balance de materia y rendimiento para la obtención de la pulpa de guanábana.

Operación	Entra	Cantidad(g)	Adiciona(g)	Sale	Cantidad (g)	Continua (g)	RxO (%)	RxP(%)
Recepción	Fruto	7650	0	0		7650	100,00	100,00
Selección	Fruto	7650	0	Impurezas	180	7470	97,65	97,65
Clasificación	Fruto	7470	0	Pintón	450	7020	93,98	91,76
Lavado	Agua	7020	10000	Agua	10000	7020	100,00	91,76
Pelado	Fruto	7020	0	Cascara	1404	5616	80,00	73,41
Cortado	Sin cascara	5616	0	0	0	5616	100,00	73,41
Despepitado	Sin cascara	5616	0	Pepas	280	5336	95,01	69,75
Licuado	Pulpa	5336	0	0	80	5256	98,50	68,71
Tamizado	Pulpa	5256	0	Fibras	50	5206	99,05	68,05
Envasado	Pulpa	5206	0	0	9	5197	99,83	67,93
Congelado	Pulpa	5197	0	0	0	5197	100,00	67,93

Los valores representan el promedio de cada uno de las operaciones, los datos provienen del experimento (n=3). RXO = Rendimiento por Operación.

RXP = Rendimiento por proceso.

4.4.1 Rendimiento para la obtención de pulpa de guanábana

En el Cuadro 11, la pulpa de la guanábana presenta un rendimiento de 67,93 %, según RODRIGUEZ *et al.,* (2007). El rendimiento de la pulpa de la guanábana es de 79,87 %, El porcentaje de pulpa y el peso del fruto son inversamente proporcionales al número de semillas, es decir a mayor número de semillas menor será la proporción de la pulpa.

4.5 Determinación de difusividad térmica de la pulpa de guanábana a diferentes temperaturas

En el Cuadro 12, se muestra los diferentes tratamientos a diferentes temperaturas.

Cuadro 12. Tratamientos a diferentes temperaturas.

Trat 1	Trat 2	Trat 3	Trat 4	Trat 5	Trat 6	Trat 7
60°C	65°C	70°C	75°C	80°C	85°C	90°C

4.5.1 Difusividad térmica de la pulpa de guanábana a 60 °C

En el Cuadro 13, se muestra las variables y constantes para determinar la difusividad térmica de la pulpa de guanábana a 60 °C.

Donde el promedio de la pendiente $m = \frac{\propto}{0,398*r^2}$ y de la difusividad térmica es 0,00114 y 1,0478x10^{-7} m^2/s respectivamente.

Cuadro 13. Determinación de difusividad térmica de pulpa de guanábana a 60 °C.

Temperatura °C	Pendiente	R^2	Promedio de pendiente	Difusividad térmica (m^2/s)	Promedio Difusividad térmica (m^2/s)
60	0,00114568	0,98914075	0,00114	1,0535E-07	1,0478E-07
	0,00110355	0,98634281		1,0148E-07	
	0,00116921	0,99007423		1,0751E-07	

En el Figura 4, se presenta el comportamiento de penetración de calor en pulpa de guanábana 60 °C, observándose que a los 29,1 minutos alcanza una temperatura de 59,2 °C mientras que a 10,6 minutos se obtuvo una temperatura de 56,1 °C, m y solo demoro en obtener una pendiente significativa positiva hasta los 10 segundos. Estos resultados es debido a que la temperatura del baño maría es de 60 °C temperatura relativamente baja.

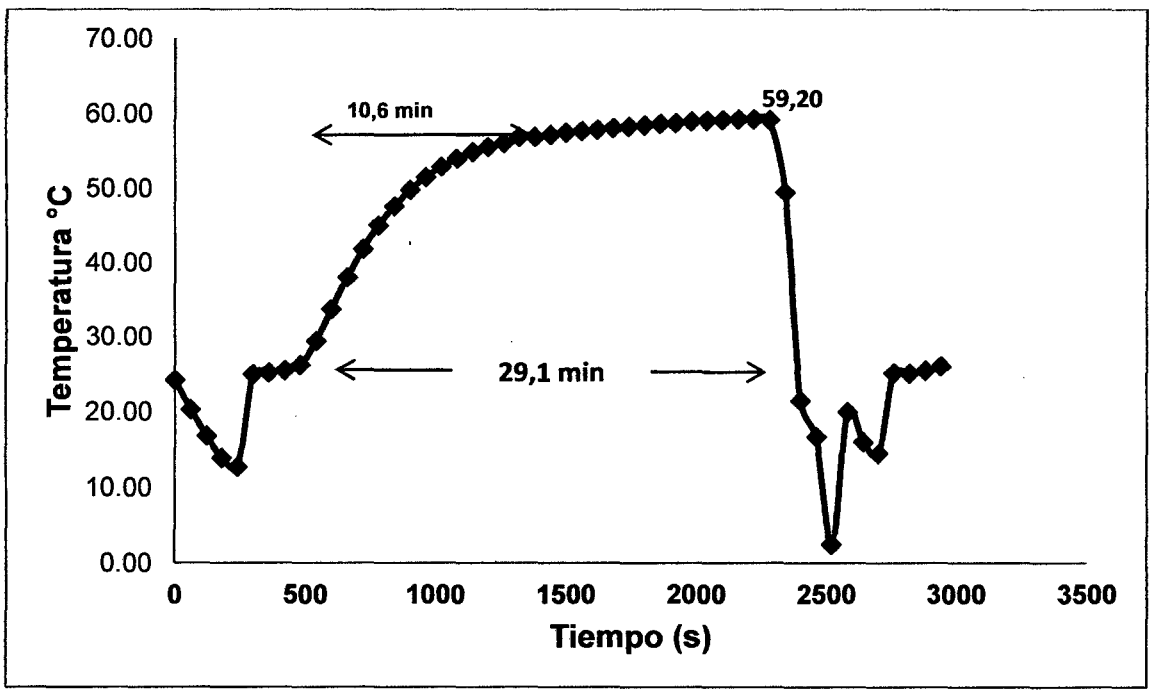

Figura 4. Curva de penetración de calor a 60 °C.

En la Figura 5, 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 29,1 minutos.

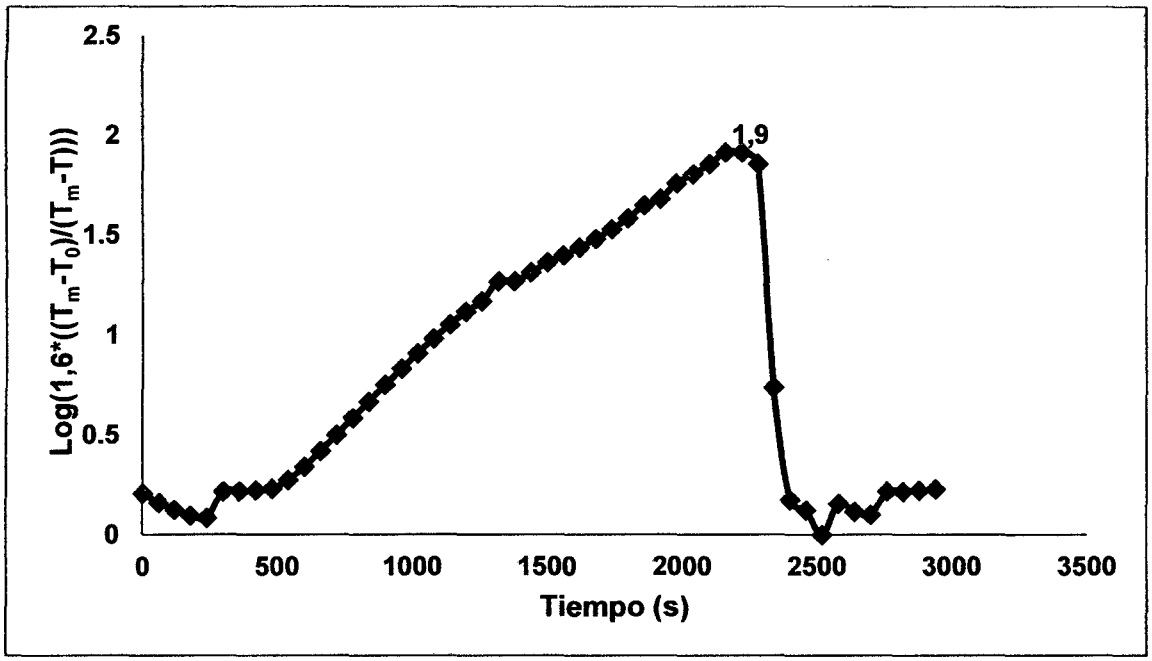

Figura 5. La representación semilogarítmica en función al tiempo t, a 60 °C.

En la Figura 6, se muestra el análisis de regresión lineal donde la pendiente de la linealización $m = \frac{\propto}{0{,}398 * r^2}$ es de 0,001146 con un R^2 igual a 0,989141.

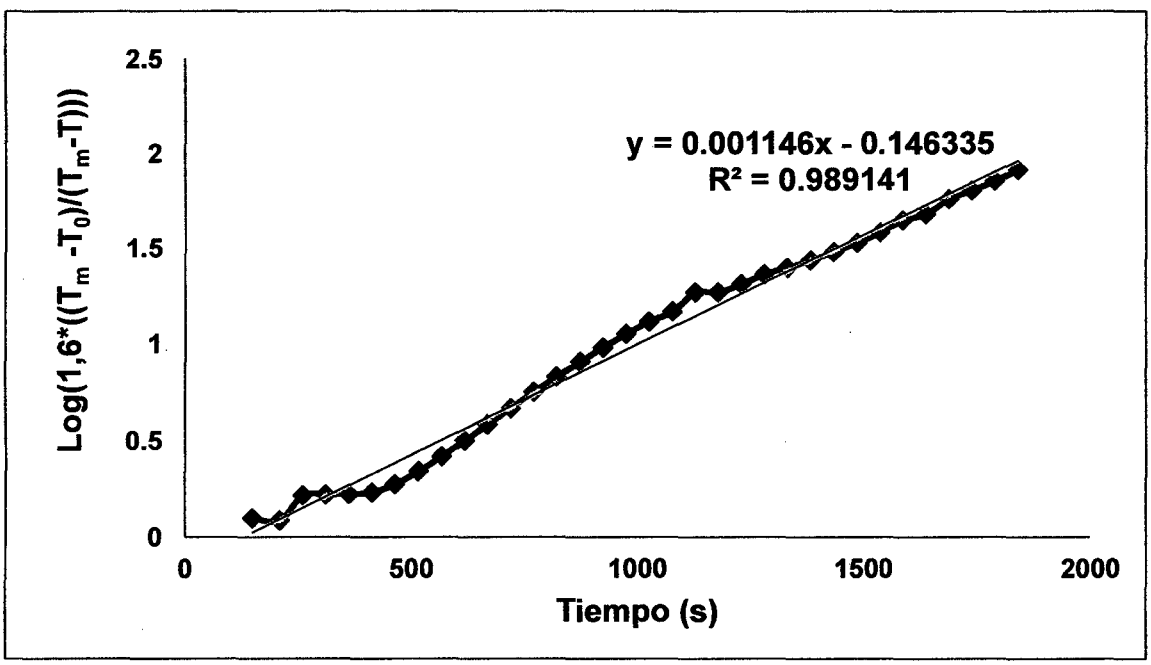

Figura 6. Pendiente de la recta de calentamiento a 60 °C.

4.5.2 Difusividad térmica de la pulpa de guanábana a 65 °C

En el Cuadro 12, se muestra las variables y constantes para determinar la difusividad térmica de la pulpa de guanábana 65 °C, donde el promedio de la pendiente $m = \frac{\propto}{0{,}398 * r^2}$ y de la difusividad térmica es 0,0014875 y 1,3678x10^{-7} m^2/s respectivamente, mostrándose también el R^2 (cuadrado del coeficiente del momento de correlación del producto de PERSON), de 0,9923; 0,9951 y 0,9902 respectivamente para las tres repeticiones.

Cuadro 14. Determinación de difusividad térmica de pulpa de guanábana a 65 °C.

Temperatura °C	Pendiente	R^2	Promedio de pendiente	Difusividad térmica (m^2/s)	Promedio Difusividad térmica (m^2/s)
	0,00161689	0,99235766		1,4868E-07	
65	0,00149278	0,99515858	0,0014875	1,3727E-07	1,3678E-07
	0,00135270	0,99019517		1,2439E-07	

En el Figura 7, se presenta el comportamiento de penetración de calor en pulpa de la guanábana a 65 °C , observándose que a los 29 minutos alcanza una temperatura de 64,7 °C mientras que a 10,01 minutos se obtuvo una temperatura de 60,52 °C, m y solo demoro en obtener una pendiente significativa positiva hasta los 9 segundos. Estos resultados es debido a que la temperatura del baño maría es de 65 °C.

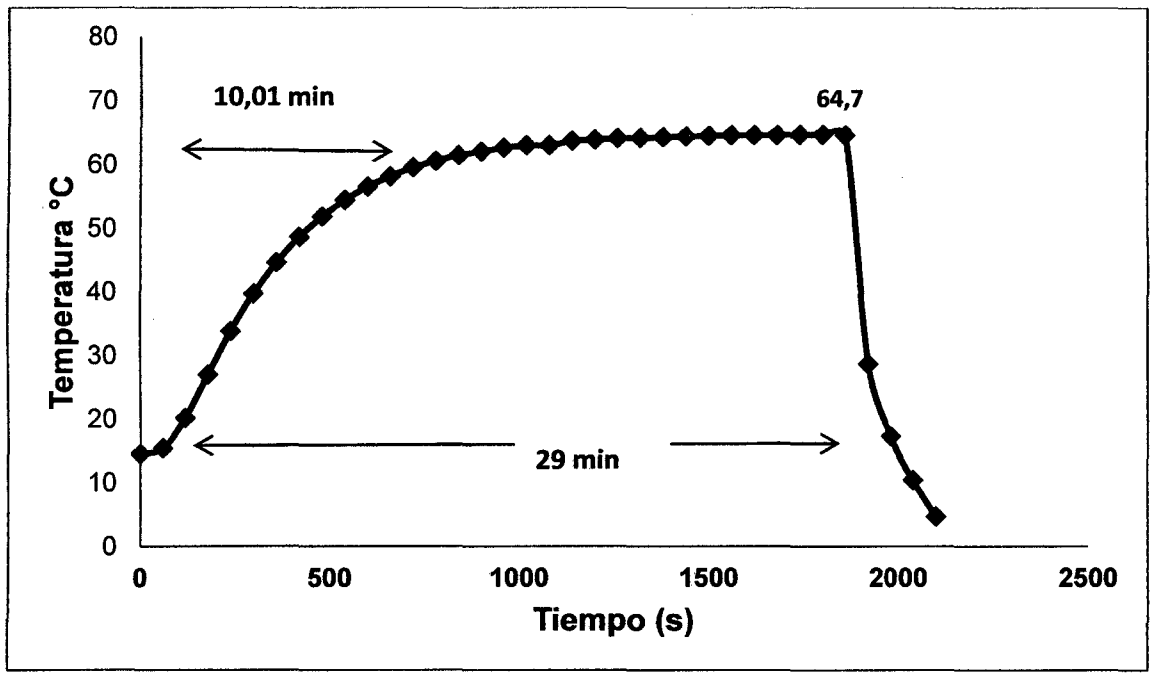

Figura 7. Curva de penetración de calor a 65 °C.

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.

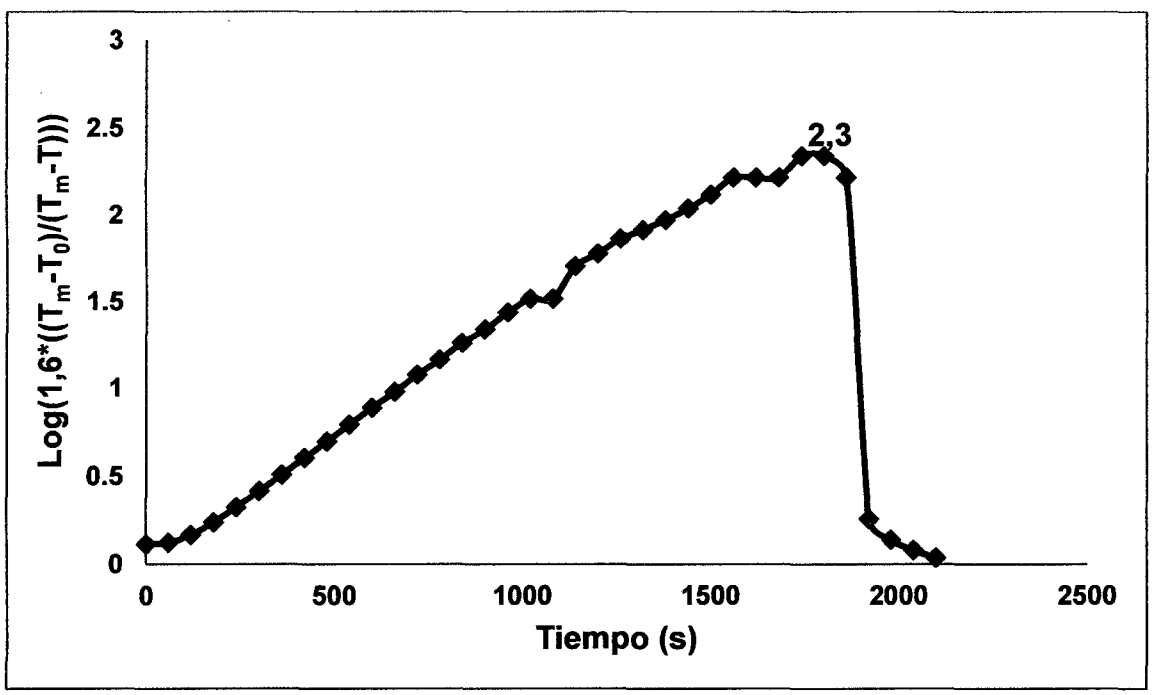

Figura 8. La representación semilogarítmica en función al tiempo t, a 65 °C.

En la Figura 8, se muestra el análisis de regresión lineal, pendiente de la linealización $m = \frac{\propto}{0{,}398 * r^2}$ es de 0,001617 con un R^2 igual a 0,992358.

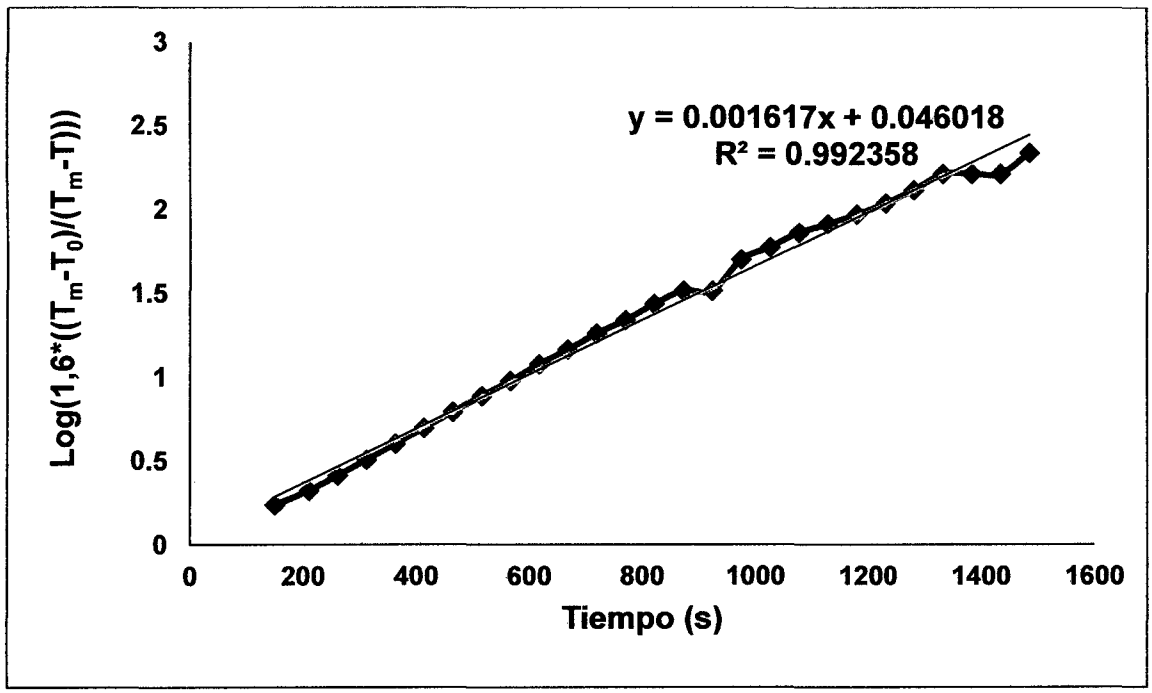

Figura 9. Pendiente de la recta de calentamiento a 65 °C.

4.5.3 Difusividad térmica de la pulpa de guanábana a 70 °C

En el Cuadro 15, se muestra las variables y constantes para determinar la difusividad térmica de la pulpa de guanábana a 70 °C, donde el promedio de la pendiente $m = \frac{\propto}{0{,}398 * r^2}$ y de la difusividad térmica es 0,0018894 y $1{,}7373 \times 10^{-7}$ m^2/s, mostrándose también el R^2 (cuadrado del coeficiente del momento de correlación del producto de PERSON), de 0,997934; 0,9993352 y 0,987079 respectivamente para las tres repeticiones.

Cuadro 15. Determinación de difusividad térmica de pulpa de guanábana a 70 °C.

Temperatura °C	Pendiente	R^2	Promedio de pendiente	Difusividad térmica (m^2/s)	Promedio Difusividad térmica (m^2/s)
70	0,00190511	0,99793468	0,0018894	1,7518E-07	1,7373E-07
	0,00186636	0,99335299		1,7162E-07	
	0,00189660	0,98707921		1,7440E-07	

En el Figura 10, se presenta el comportamiento de penetración de calor en pulpa de guanábana a 70 °C, observándose que a los 31,7 minutos alcanza una temperatura de 60,8 °C mientras que a 9,1 minutos se obtuvo una temperatura de 62,2 °C, se debe a que la temperatura del baño maría es 70 °C.

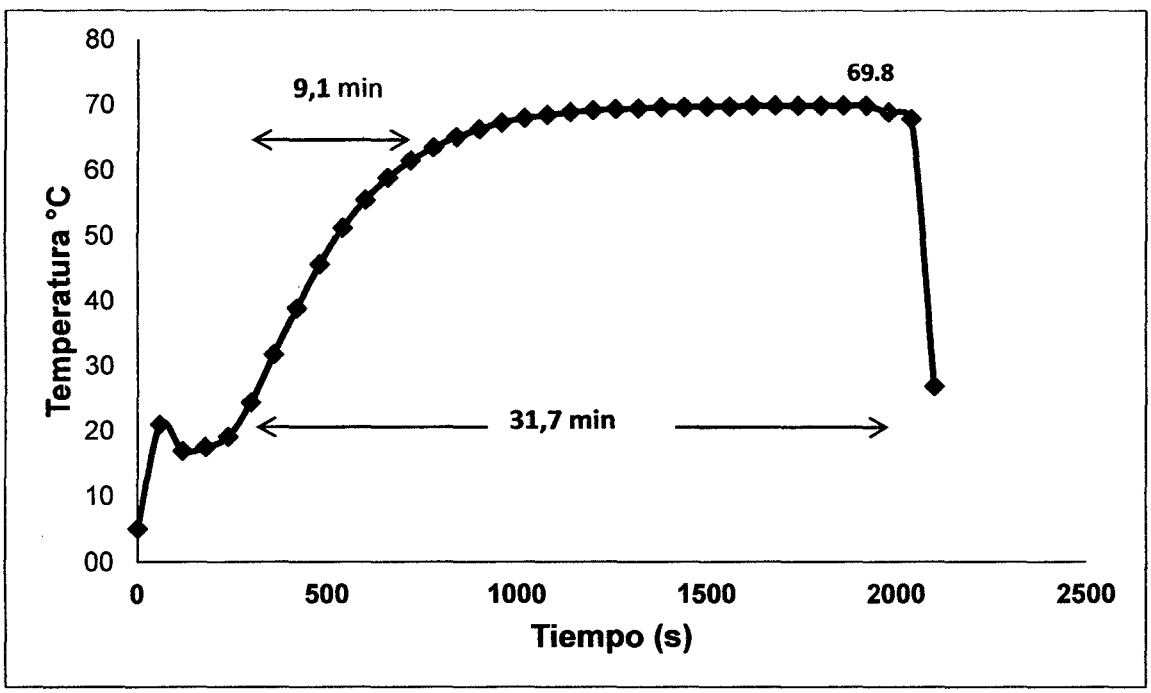

Figura 10. Curva de penetración de calor a 70 °C.

En la Figura 11, se aprecia que el máximo valor de $\log(1{,}6 * \frac{T_m - T_o}{T_m - T})$ es 2,56 a un tiempo de 31,7 minutos.

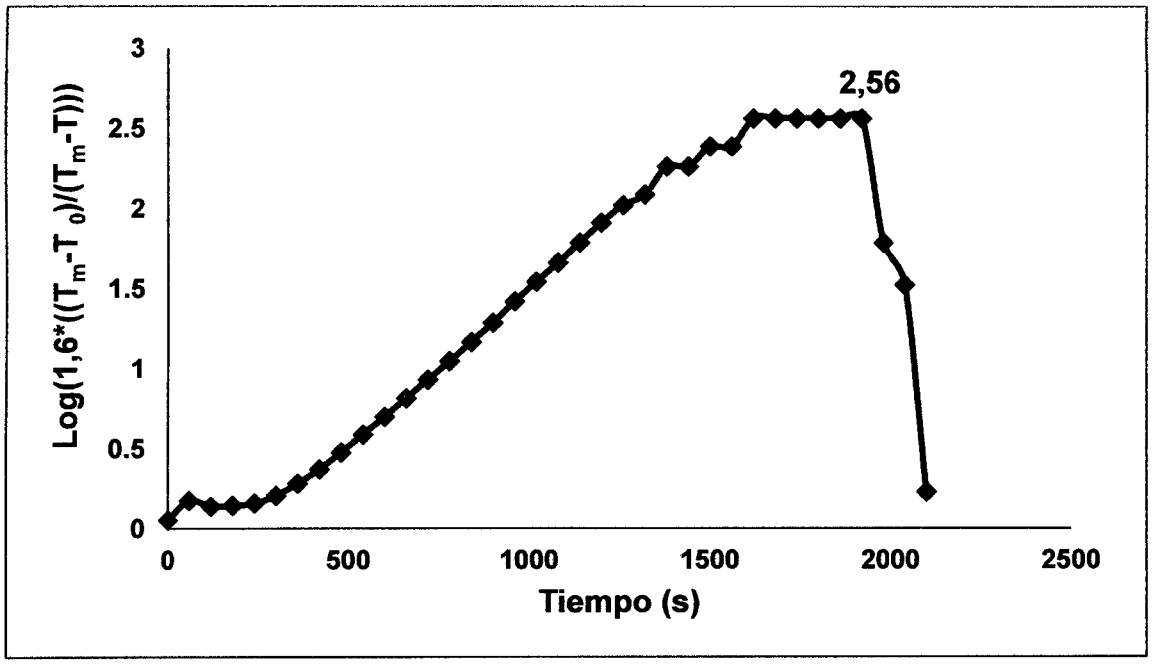

Figura 11. La representación semilogarítmica en función al tiempo t, a 70 °C.

En la Figura 12, se muestra el análisis de regresión lineal donde la pendiente de linealización $m = \frac{\propto}{0{,}398 * r^2}$ es de 0,001905 con un R^2= 0,997935.

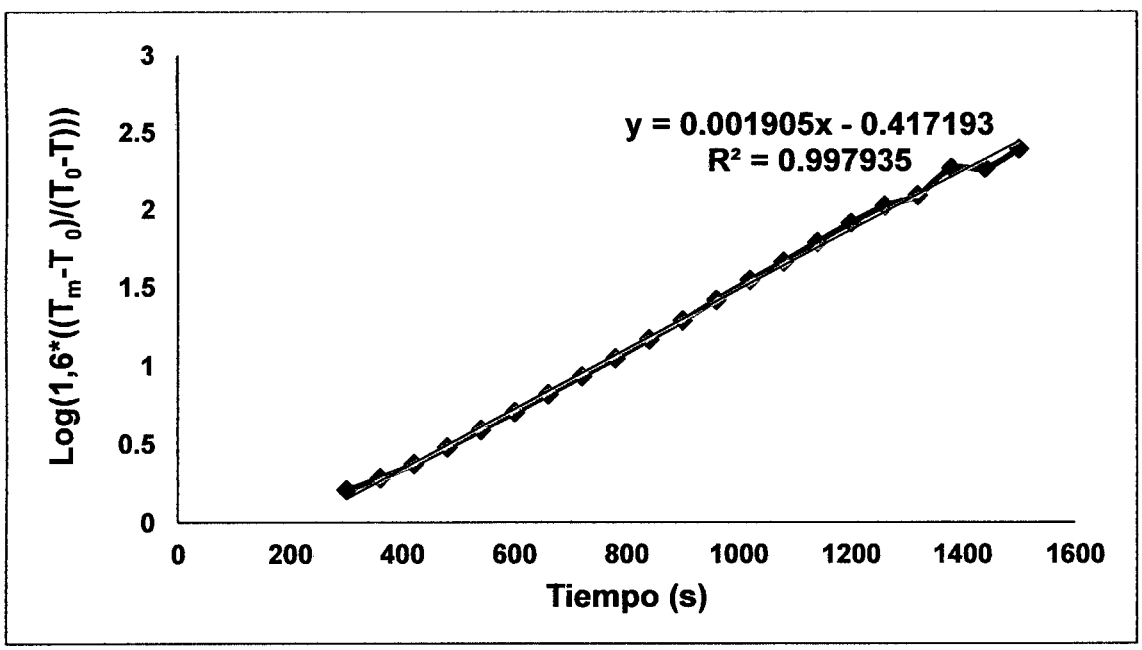

Figura 12. Pendiente de la recta de calentamiento a 70 °C.

4.5.4 Difusividad térmica de la pulpa de guanábana a 75 °C

En el Cuadro 16, se muestra las variables y constantes para determinar la difusividad térmica de la pulpa de la guanábana a 75 °C, donde el promedio de la pendiente $m = \frac{\propto}{0{,}398 * r^2}$ y de la difusividad térmica es 0,0020050 y 1,84437x10^{-7} m^2/s, mostrándose también el R^2 (cuadrado del coeficiente del momento de correlación del producto de PERSON), de 0,96251; 0,98356 y 0,95350 respectivamente para las tres repeticiones.

Cuadro 16. Determinación de difusividad de pulpa de guanábana a 75 °C.

Temperatura °C	Pendiente	R^2	Promedio de pendiente	Difusividad térmica (m^2/s)	Promedio Difusividad térmica (m^2/s)
75	0,00196067	0,96251535	0,0020050	1,8029E-07	1,8437E-07
	0,00214406	0,98356277		1,9715E-07	
	0,00191038	0,95350616		1,7567E-07	

En el Figura 13, se presenta el comportamiento de penetración de calor en pulpa de guanábana a 75 °C, observándose que a los 25 minutos alcanza una temperatura de 74,5 °C mientras que a 7 minutos se obtuvo una temperatura de 59,6 °C, obteniéndose una pendiente significativa positiva hasta los 7 minutos. Estos resultados es debido a que la temperatura del baño maría es de 75 °C.

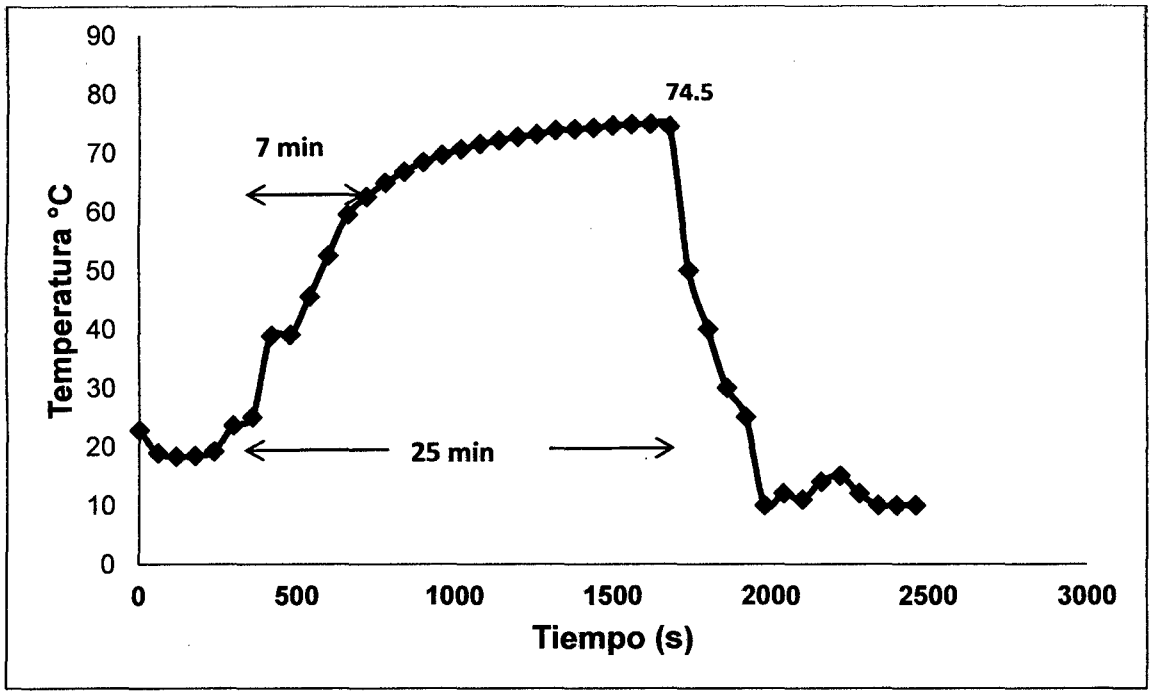

Figura 13. Curva de penetración de calor a 75 °C.

En la Figura 14, se aprecia que el máximo valor de $\log(1{,}6 * \frac{T_m - T_o}{T_m - T})$ es 2,9 a un tiempo de 25 minutos.

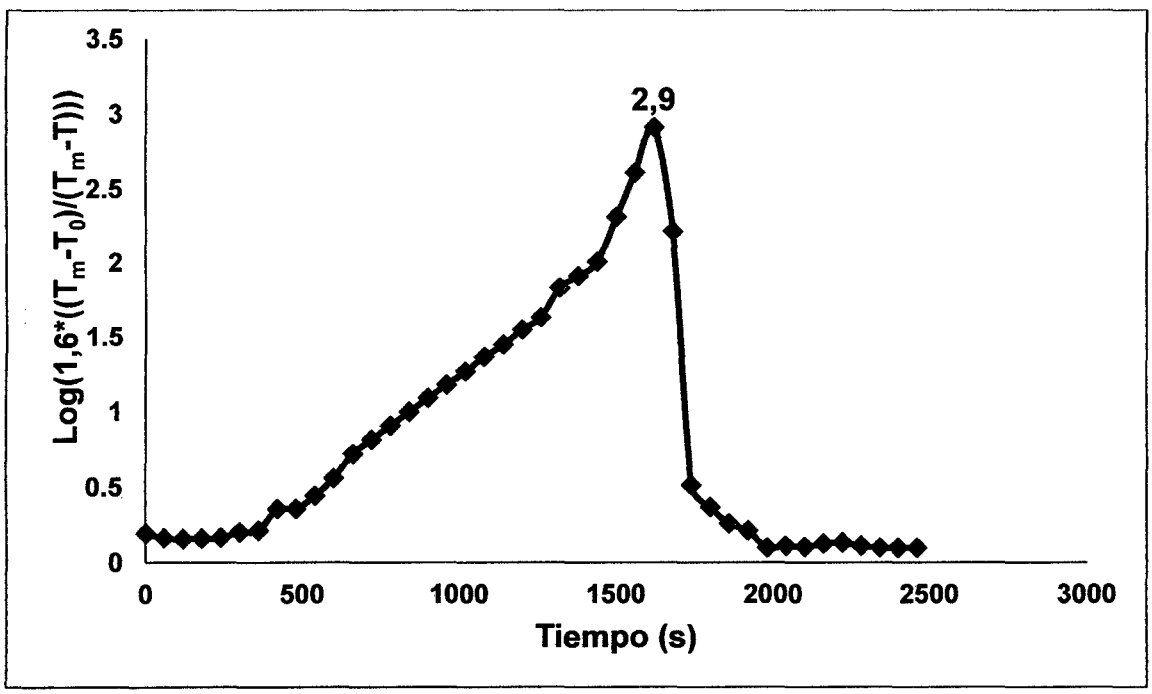

Figura 14. La representación semilogarítmica en función al tiempo t, a 75 °C.

En la Figura 15, se muestra el análisis de regresión lineal donde la pendiente de linealizacion $m = \frac{\propto}{0,398*r^2}$ es de 0,001961 con un R^2 = 0,9625.

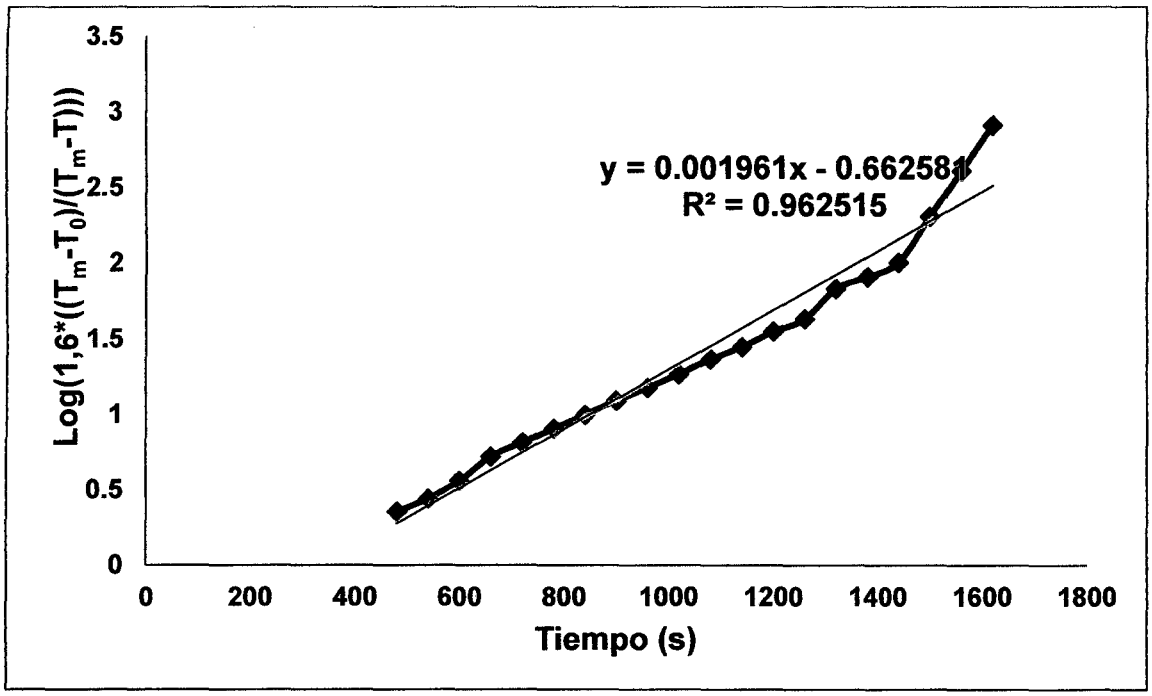

Figura 15. Pendiente de la recta de calentamiento a 75 °C.

4.5.5 Difusividad térmica de la pulpa de guanábana a 80 °C

En el Cuadro 17, se muestra las variables y constantes para determinar la difusividad térmica de la pulpa de la guanábana a 80 °C, donde el promedio de la pendiente $m = \frac{\propto}{0,398*r^2}$ y de la difusividad térmica es 0,00214 y 1,9658x10^{-7} m^2/s, mostrándose también el R^2 (cuadrado del coeficiente del momento de correlación del producto de PERSON), de 0,9867; 0,9849 y 0,9843 respectivamente para las tres repeticiones.

Cuadro 17. Determinación de difusividad de pulpa de guanábana a 80 °C.

Temperatura °C	Pendiente	R^2	Promedio de pendiente	Difusividad térmica (m^2/s)	Promedio Difusividad térmica (m^2/s)
80	0,00218188	0,98670281	0,00214	2,0063E-07	1,9658E-07
	0,00222169	0,98498022		2,0429E-07	
	0,00200984	0,98432377		1,8481E-07	

En el Figura 16, se presenta el comportamiento de penetración de calor en pulpa de la guanábana a 80 °C , observándose que a los 23 minutos alcanza una temperatura de 79,9 °C mientras que a 6,9 minutos se obtuvo una temperatura de 73 °C, m y solo demoro en obtener una pendiente significativa positiva hasta los 6,9 minutos. Estos resultados es debido a que la temperatura del baño maría es de 80 °C.

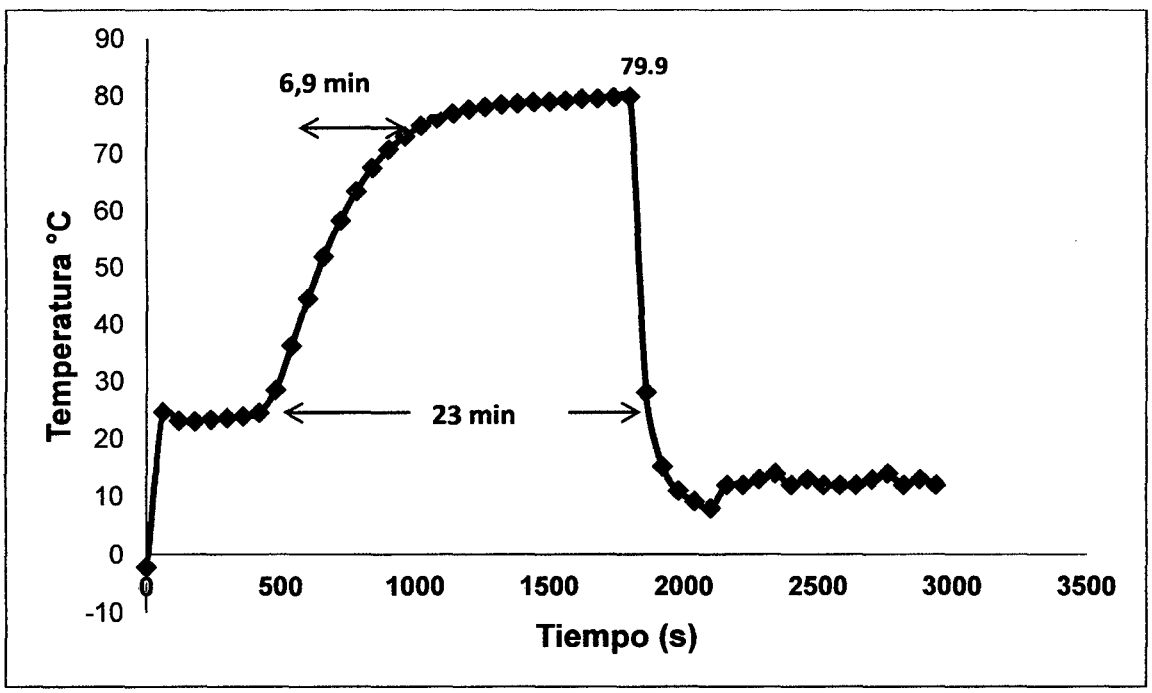

Figura 16. Curva de penetración de calor a 80 °C.

En la Figura 17, se aprecia que el máximo valor de $\log(1{,}6 * \frac{T_m - T_o}{T_m - T})$ es 2,95 a un tiempo de 23 minutos.

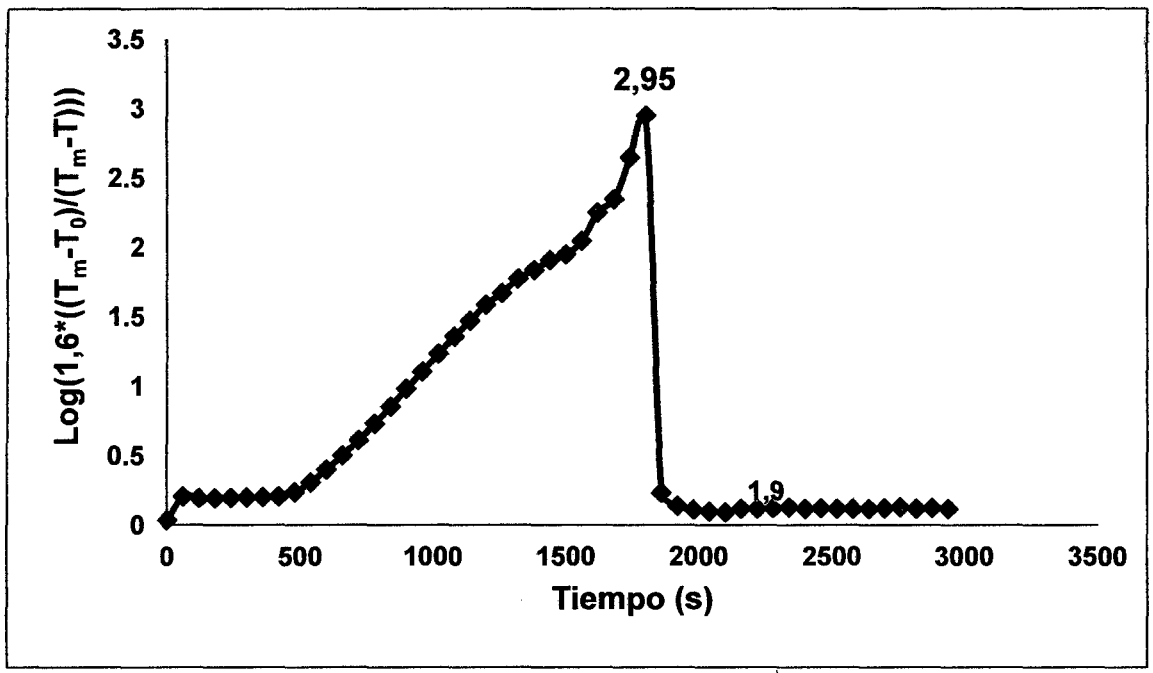

Figura 17. La representación semilogarítmica en función al tiempo t, a 80 °C.

En la Figura 18, se muestra el análisis de regresión lineal donde la pendiente de liberalización $m = \frac{\propto}{0{,}398 * r^2}$ es de 0,002182 con un R^2 = 0,9867.

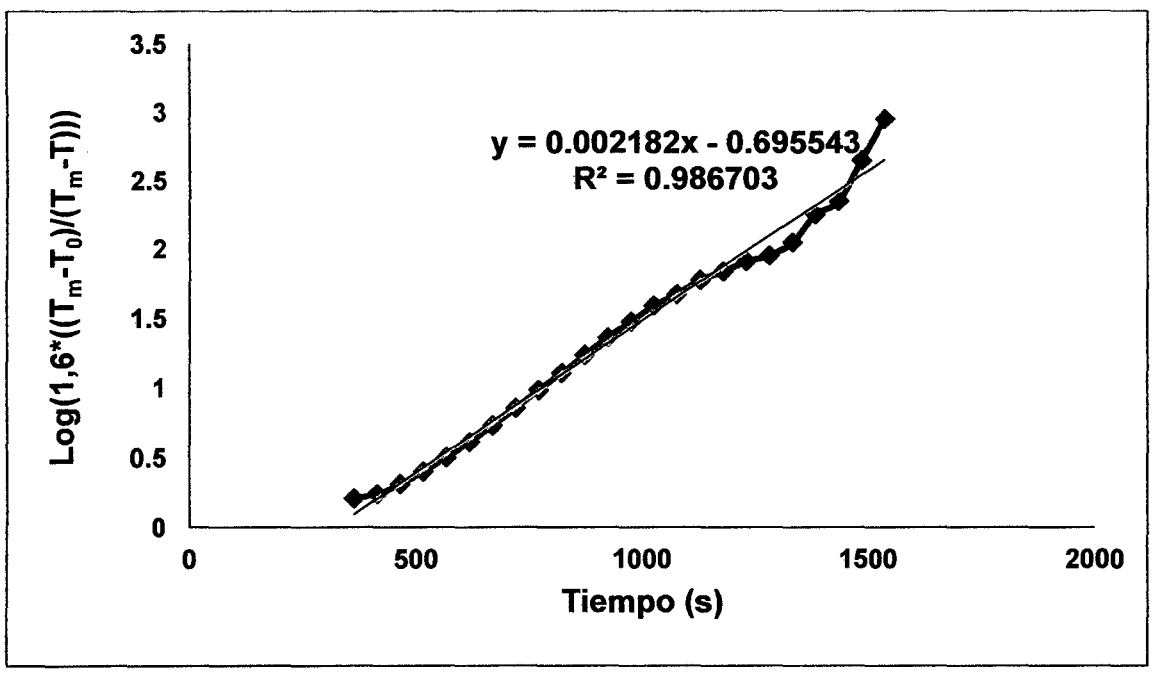

Figura 18. Pendiente de la recta de calentamiento a 80 °C.

4.5.6 Difusividad térmica de la pulpa de guanábana a 85 °C

En el Cuadro 18, se muestra las variables y constantes para determinar la difusividad térmica de la pulpa de la guanábana a 85 °C, donde el promedio de la pendiente $m = \frac{\propto}{0{,}398 * r^2}$ y de la difusividad térmica es 0,00234 y 2,1549x10^{-7} m^2/s, mostrándose también el R^2 (cuadrado del coeficiente del momento de correlación del producto de PERSON), de 0,9533; 0,99780 y 0,95332 respectivamente para las tres repeticiones.

Cuadro 18. Determinación de difusividad de pulpa de guanábana a 85 °C.

Temperatura °C	Pendiente	R^2	Promedio de pendiente	Difusividad térmica (m^2/s)	Promedio Difusividad térmica (m^2/s)
85	0,00226061	0,95332526	0,00234	2,0787E-07	2,1549E-07
	0,00250921	0,97803653		2,3073E-07	
	0,00226061	0,95332526		2,0787E-07	

En el Figura 19, se presenta el comportamiento de penetración de calor en pulpa de guanábana a 85 °C, observándose que a los 21 minutos alcanza una temperatura de 84,8 °C, mientras que a 6,5 minutos se obtuvo una temperatura de 66,7 °C, obteniéndose una pendiente significativa positiva hasta los 6,5 minutos. Estos resultados es debido a que la temperatura del baño maría es de 85 °C.

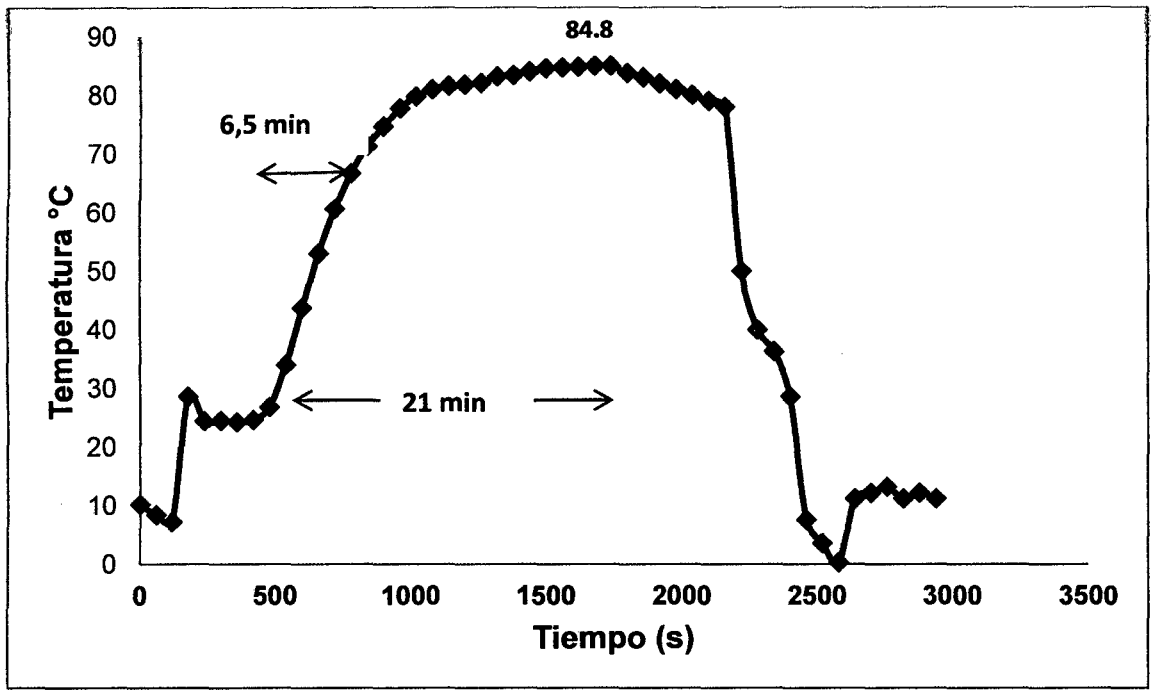

Figura 19. Curva de penetración de calor a 85 °C.

En la Figura 20, se aprecia que el máximo valor de $\log(1{,}6 * \frac{T_m - T_o}{T_m - T})$ es 3,9 a un tiempo de 21 minutos.

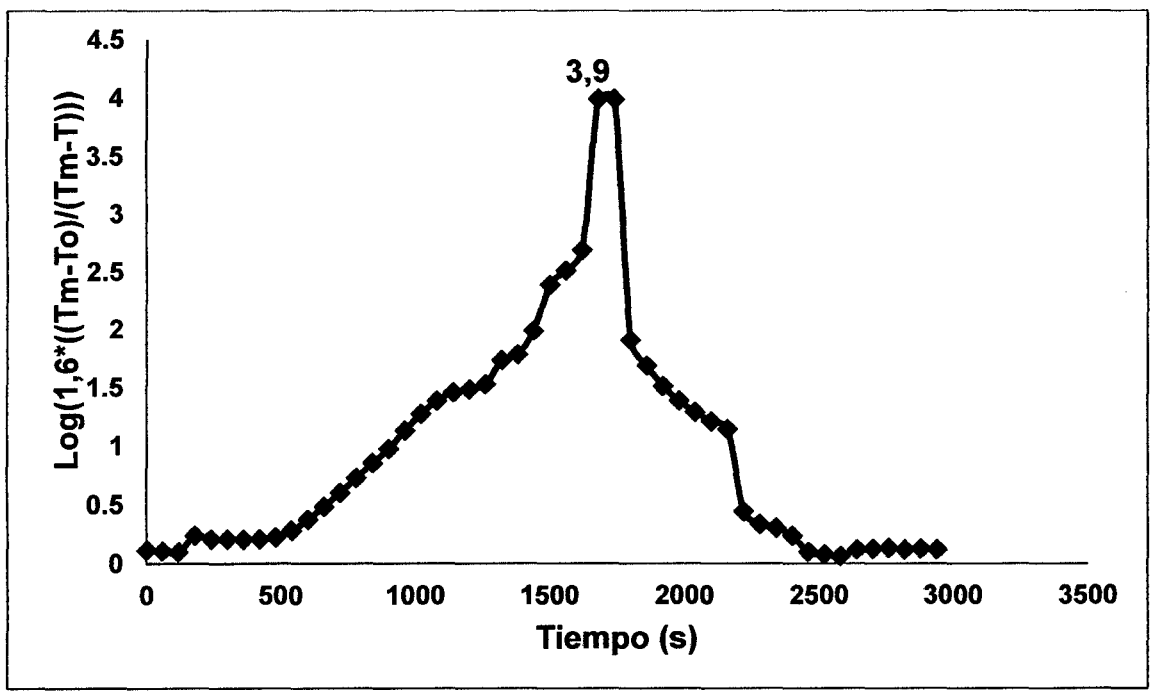

Figura 20. La representación semilogarítmica en función al tiempo t, a 85 °C.

En la Figura 21, se muestra el análisis de regresión lineal donde la pendiente de linealizacion $m = \frac{\propto}{0{,}398*r^2}$ es de 0,002098 con un R^2 = 0,9761.

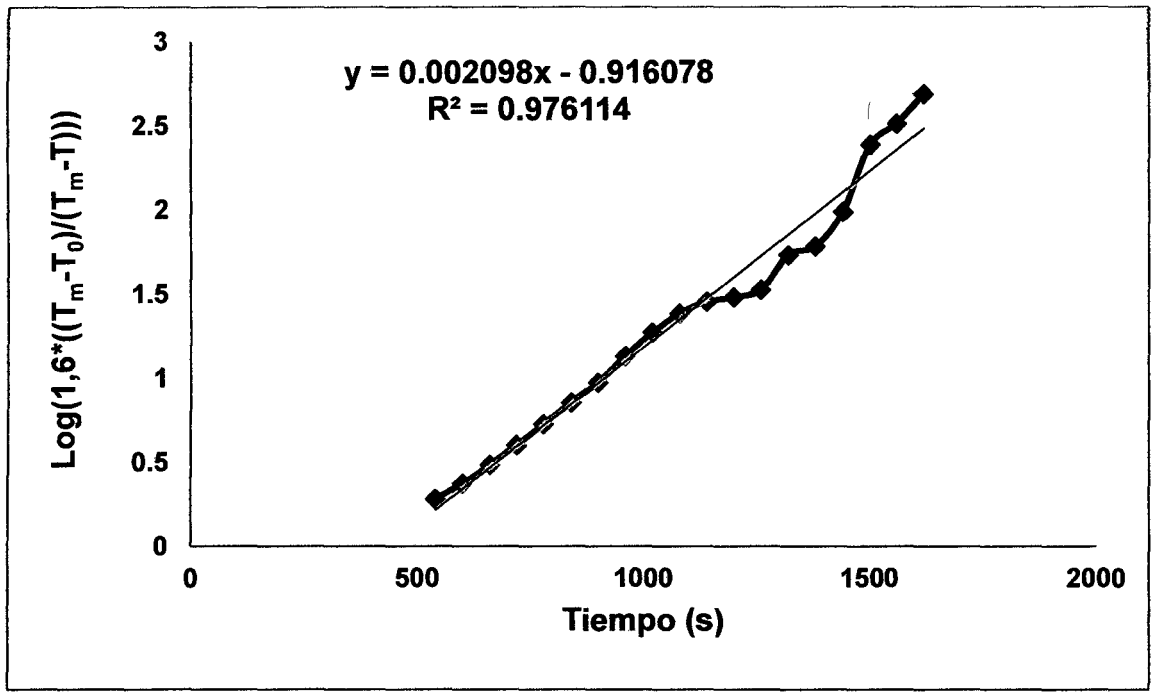

Figura 21. Pendiente de la recta de calentamiento a 85 °C.

4.5.7 Difusividad térmica de la pulpa de guanábana a 90 °C

En el Cuadro 19, se muestra las variables y constantes para determinar la difusividad térmica de la pulpa de la guanábana a 90 °C, donde el promedio de la pendiente $m = \frac{\propto}{0{,}398*r^2}$ y de la difusividad térmica es 0,0026771 y 2,4617x10^{-7} m^2/s, mostrándose también el R^2 (cuadrado del coeficiente del momento de correlación del producto de PERSON), de 0,95153; 0,954948 y 0,95158 respectivamente para las tres repeticiones.

Cuadro 19. Determinación de difusividad de pulpa de guanábana a 90 °C.

Temperatura °C	Pendiente	R^2	Promedio de pendiente	Difusividad térmica (m^2/s)	Promedio Difusividad térmica (m^2/s)
	0,00244124	0,95153881		2,2448E-07	
90	0,00314872	0,95494888	0,0026771	2,8954E-07	2,4617E-07
	0,00244124	0,95153881		2,2448E-07	

En el Figura 22, se presenta el comportamiento de penetración de calor en pulpa de la guanábana a 90 °C , observándose que a los 12 minutos alcanza una temperatura de 89,8 °C, mientras que a 6,1 minutos se obtuvo una temperatura de 83 °C, m y solo demoro en obtener una pendiente significativa positiva hasta los 6,1 minutos. Estos resultados es debido a que la temperatura del baño maría es de 90 °C.

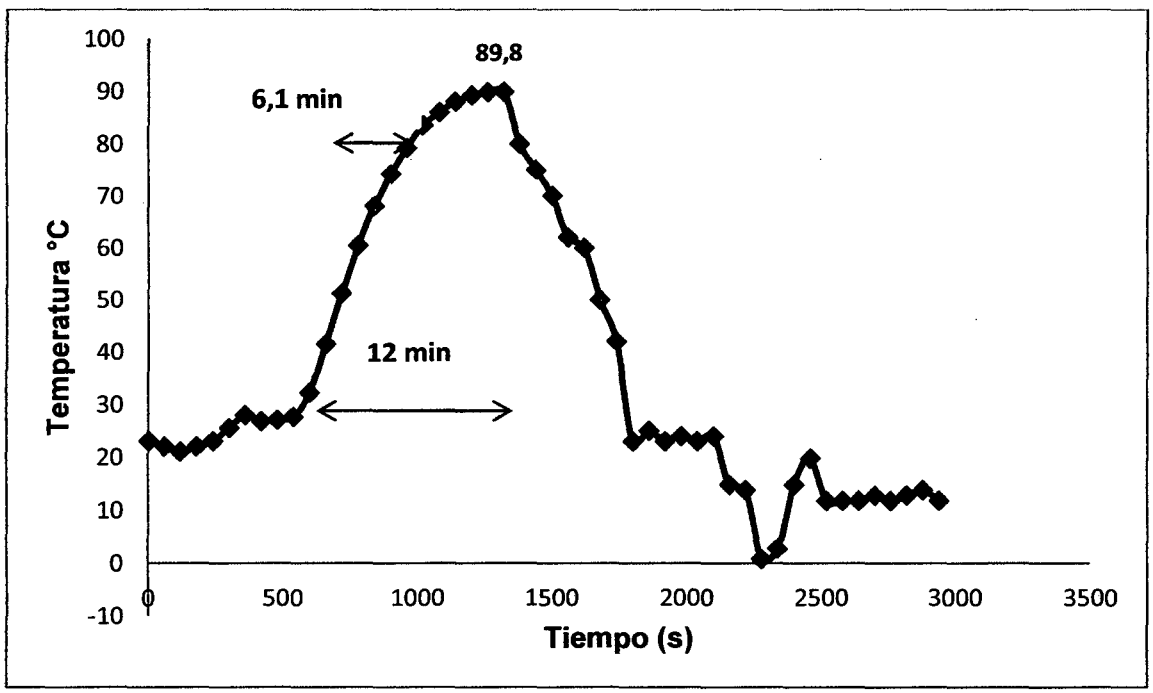

Figura 22. Curva de penetración de calor a 90 °C.

En la Figura 23, se aprecia que el máximo valor de $\log(1{,}6 * \frac{T_m - T_o}{T_m - T})$ es 3,02 a un tiempo de 12 minutos.

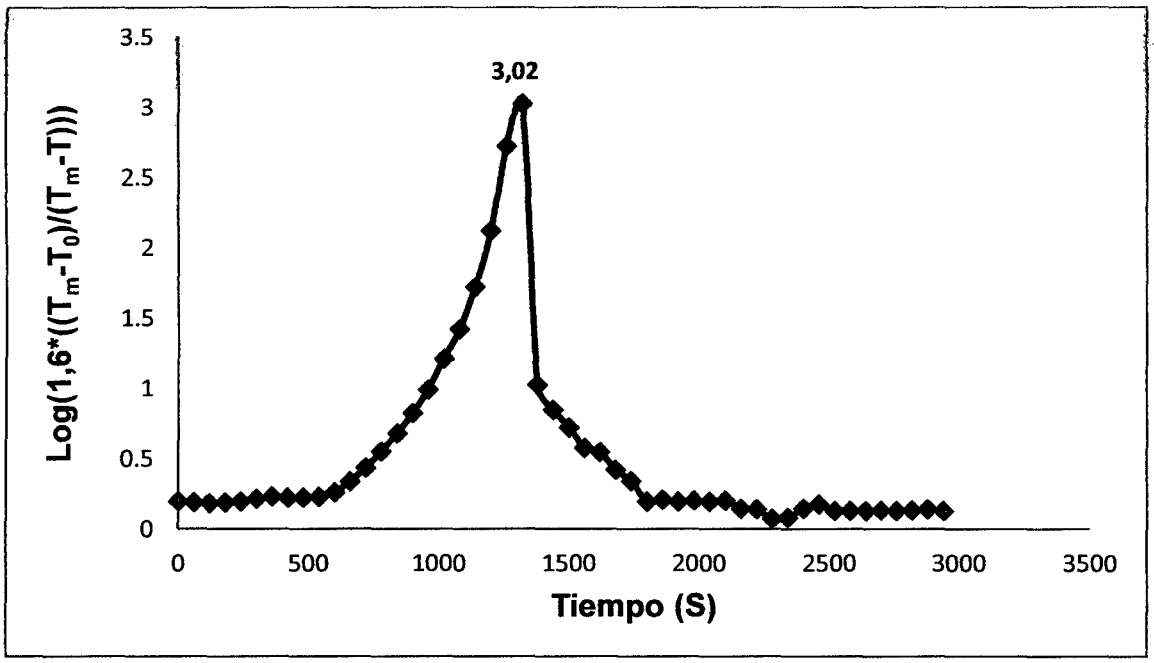

Figura 23. La representación semilogarítmica en función al tiempo t, a 90 °C.

En la Figura 24, se muestra el análisis de regresión lineal donde la pendiente de linealización $m = \frac{\propto}{0{,}398 * r^2}$ es de 0,002441 con un R^2 = 0,9515.

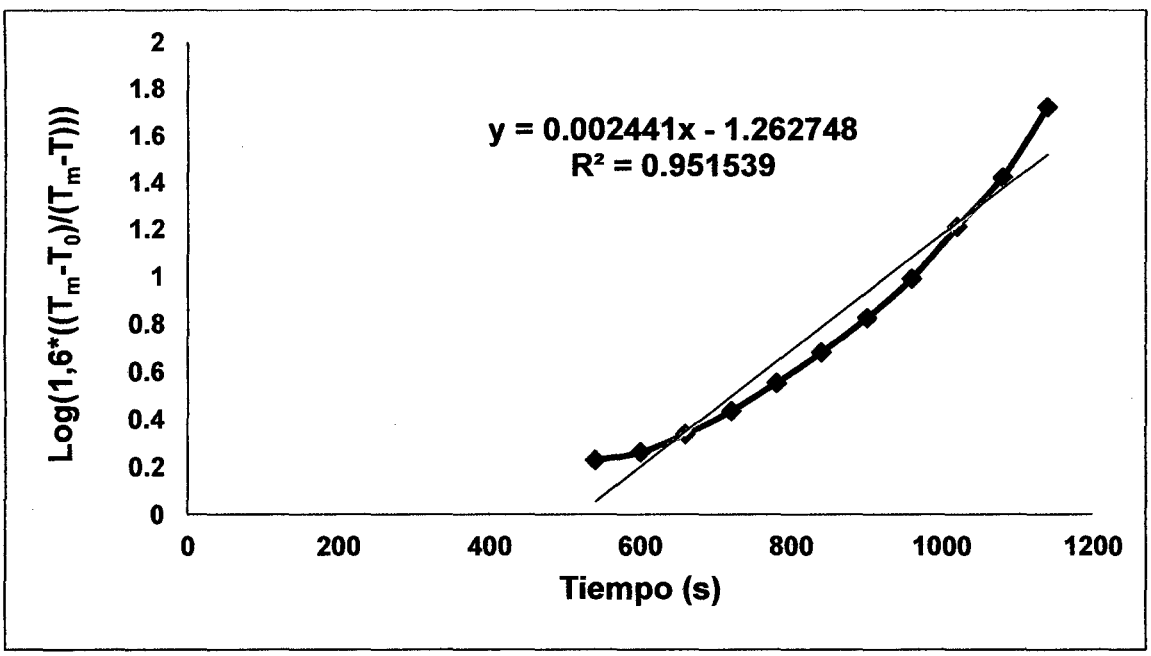

Figura 24. Pendiente de la recta de calentamiento a 90 °C.

En el Cuadro 20, se muestra los tratamientos realizados en el presente trabajo de investigación a 60 °C, 65 °C, 70 °C, 75 °C, 80 °C, 85 °C y 90 °C, la pendiente de las rectas de calentamiento y el promedio de la pendiente de calentamiento de 0,00504; 0,0402; 0,00378 y 0,00237 respectivamente para cada tratamiento, también se muestra el promedio de la difusividad térmica de $4,6314x10^{-07}$; $3,6996x10^{-07}$; $2,9088x10^{-07}$ y 2,1762 x 10^{-07}, respectivamente para cada tratamiento.

Cuadro 20. Difusividad térmicas de pulpa de guanábana a diferentes tratamientos.

Temperatura °C	Pendiente	R^2	Promedio de pendiente	Difusividad térmica $x10^{-7}(m^2/s)$	Promedio Difusividad térmica $x10^{-7}(m^2/s)$
60	0,001146	0,989141	0,001139	1,0535	1,0478 $x10^{-7}$±0,0306 $x10^{-9}$
	0,001104	0,986343		1,0148	
	0,001169	0,990074		1,0751	
65	0,001617	0,992358	0,0014875	1,4868	1,3678 $x10^{-7}$±0,1215 $x10^{-9}$
	0,001493	0,995159		1,3727	
	0,001353	0,990195		1,2439	
70	0,001905	0,997935	0,0018894	1,7518	1,7373 $x10^{-7}$±0,0187 $x10^{-9}$
	0,001866	0,993353		1,7162	
	0,001897	0,987079		1,7440	
75	0,001961	0,962515	0,0020050	1,8029	1,8437 $x10^{-7}$±0,1131 $x10^{-9}$
	0,002144	0,983563		1,9715	
	0,001910	0,953506		1,7567	
80	0,002182	0,986703	0,0021378	2,0063	1,9658 $x10^{-7}$±0,1035 $x10^{-9}$
	0,002222	0,984980		2,0429	
	0,002010	0,984324		1,8481	
85	0,002098	0,976114	0,0022894	1,9296	2,1052 $x10^{-7}$±0,1903 $x10^{-9}$
	0,002509	0,978037		2,3073	
	0,002261	0,953325		2,0787	
90	0,002441	0,951539	0,0026771	2,2448	2,4617 $x10^{-7}$±0,3756 $x10^{-9}$
	0,003149	0,904949		2,8954	
	0,002441	0,951539		2,2448	

En el Cuadro 20 se muestran los valores de la difusividad térmica con un valor mínimo de 1,0478 $x10^{-7}$±0,0306 $x10^{-9}$ m^2/s a una temperatura de 60 °C aumentando a un valor máximo de difusividad térmica (2,4617 $x10^{-7}$±0,3756 $x10^{-9}$ m^2/s) a una temperatura de 90 °C, es decir que a medida que se incrementa la temperatura se incrementa la difusividad térmica. 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 ± 0,06 x $10^{-7}m^2/s$; rango de 70 a 80 °C, un valor de 1,24 ± 0,07 x $10^{-7}m^2/s$; rango de 80 a 90 °C, un valor promedio de 1,34 ± 0,06 x 10^{-7} m^2/s. BARBARA *et al.,* (2001) menciona que la pulpa del meollo de la caña de azúcar una difusividad térmica promedio para: 50 °C, un valor de 1,38 ± 0,1 x 10^{-7} m^2/s; 55 °C, un valor de 1,47± 0,2 x 10^{-7} m^2/s; 60 °C, un valor de 1,53 ± 0,09 x 10^{-7} m^2/s; 65 °C un valor de 1,59± 0,2 x 10^{-7} m^2/s; 70 °C un valor de 1,71± 0,2 x 10^{-7} m^2/s; a 75 °C un valor de 1,80± 0,09 x 10^{-7} m^2/s y a 80 °C un valor de 1,83± 0,1 x 10^{-7} m^2/s. JARA (2010) menciona que la pulpa de Yacón presenta una difusividad térmica promedio para: 50 °C, un valor de 1,30 ±0,26x10^{-7} m^2/s; 60 °C, un valor de 1,36±0,22x10^{-7} m^2/s; 70 °C, un valor de 1,48±0,29x10 m^2/s; 80 °C un valor de 1,63±0,41x 10^{-7} m^2/s. Tanto MUÑOZ (2002), BARBARA *et al.,* (2001) y JARA (2010) demostraron que las difusividad aumenta a medida que se incrementa la temperatura de las muestras.

Según DRUSAS y SARAVACOS (1985) en pastas de tomate, donde a 35 °brix se obtuvo una difusividad térmica de 1,42 x 10^{-7} m^2/s, se han realizado también estudios en pastas de pescado con una humedad de 82 %, encontrando un valor de difusividad térmica de 1,42 x $10^{-7}m^2/s$ (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 es generalmente más difícil determinar la conductividad o la difusividad térmica que el calor específico (CHOI y OKOS, 1986).

Según BAIK *et al.*, (1999) varios investigadores han desarrollado técnicas para determinar las propiedades termofísicas de los alimentos. DICKERSON (1965) desarrolló una técnica que utiliza un tubo cilíndrico.

Según UNKLESBAY *et al.*, (1992) y BAIK *et al.*, (1999) la difusividad térmica es dependiente de la temperatura se obtiene dividiendo la conductividad térmica y el producto de los calores específicos y densidades. 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. GARCIA (2009) determinó la difusividad térmica de la pulpa de noni (*Morinda citrifolia, L*), en un rango de temperatura de 50 a 80 °C se obtuvo la difusividad térmica de la pulpa de noni valores de difusividad térmica, para 50 °C de 1,38 ± 0,1 x 10^{-07} m^2/s; para 55 °C de 1,47 ± 0,2 x 10^{-07} m^2/s; para 60 °C 1,53 ± 0,09 x 10^{-07} m^2/s; para 65 °C de 1,59 ± 0,2 x 10^{-07} m^2/s; para 70 °C 1,71 ± 0,2 x 10^{-07} m^2/s; para 75 °C de 1,80 ± 0,09 x 10^{-07} m^2/s y para 80 °C de 1,83 ± 0,1 x 10^{-07} m^2/s lo cual también muestra un aumento de la difusividad térmica a medida que se incrementa la temperatura.

4.6 Análisis de regresión para determinar la difusividad térmica de la pulpa de guanábana función de la temperatura

Del Cuadro 21, se puede observar que el resultado de la difusividad térmica de la pulpa de guanábana tiene un valor mínimo de $1,04780x10^{-7}$ m^2/s a una temperatura de 60 °C y un valor máximo de $2,46167\ x10^{-7}$ m^2/s con una temperatura de 90 °C. También va incrementando la difusividad térmica a medida que se incrementa la temperatura.

Cuadro 21. Difusividad térmica de la pulpa de guanábana a diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	Difusividad térmica (m^2/s)
65	$1,36777x10^{-07}$
70	$1,73734x10^{-07}$
75	$1,84371x10^{-07}$
80	$1,96579x10^{-07}$
85	$2,10520x10^{-07}$
90	$2,46167x10^{-07}$

En la Figura 25, se aprecia el comportamiento de la difusividad térmica de la pulpa de la guanábana en función a la temperatura, donde se detalla que amerita a una tendencia lineal.

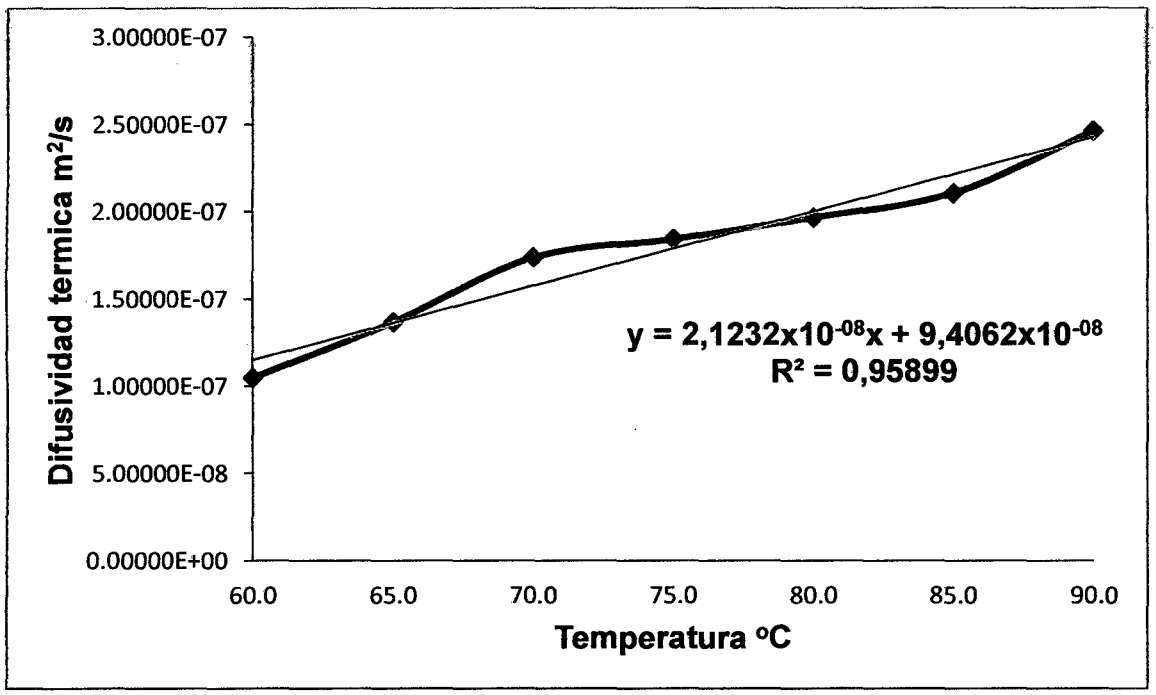

Figura 25. Regresión lineal de la dependencia de la temperatura con respecto a la difusividad térmica de pulpa de guanábana.

La difusividad térmica tiene dependencia lineal con la variable explicativa 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 en los cuales el modelo fue calculado. 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:

$$\alpha = 2,121832x10^{-8}T - 9,4062x10^{-8} \qquad R^2 = 0,95899$$

$\alpha = Difusividad\ termica \quad m^2/s \quad T = temperatura$ °C

- **9,4062x10^{-08}:** Término independiente (intercepto), representa el valor de la difusividad térmica de la pulpa de guanábana cuando asumimos temperatura de cero. Así como menciona THOMAS (2001) que el intercepto es

el valor estimado de la variable respuesta cuando las variables independientes sean cero. CALZADA (1970) menciona que la línea de regresión corta al eje de ordenadas y a una distancia del origen cero de este eje igual a "a"

$2{,}121832x10^{-08}$: Coeficiente de la regresión para la variable temperatura, quiere decir que la difusividad térmica aumenta $2{,}121832x10^{-08}$ por cada incremento en una unidad de la temperatura. Como lo menciona THOMAS (2001) y ROJAS *et al.*, (2004) es el cambio que incrementa en una unidad la variable independiente.

T : temperatura.

R^2: indica que el 95,8998 % de la variabilidad de la difusividad térmica es explicado por la variable predictoria de temperatura, es preciso indicar que la fórmula presentada predice adecuadamente el valor de la difusividad térmica, pero dentro de los rangos de temperatura utilizados en el presente trabajo, para valores fuera de los rangos planteados, 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

Los resultados y discusiones correspondientes nos permiten inferir las siguientes conclusiones:

- Es factible determinar la difusividad térmica de la pulpa de guanábana por el método de DICKERSON.
- Difusividad térmica en función de temperatura aumenta.
- El modelo matemático para evaluar la difusividad térmica fue a partir de la fórmula de transferencia de calor en el estado no estacionario.
- La ecuación que permite determinar la difusividad térmica de la pulpa de guanábana en función a la temperatura desde un rango de 60 a 90 °C fue la siguiente:

$$\alpha = 2,121832x10^{-8}T - 9,4062x10^{-8} \qquad R^2 = 0,95899$$

Dónde:

α : Difusividad térmica

T : Temperatura

VI RECOMENDACIONES

Del trabajo de investigación realizado podemos recomendar lo siguiente:

- Determinar la difusividad térmica de la pulpa de la guanábana en función a su composición química.
- Determinar la difusividad térmica de la pulpa de guanábana a partir de la conductividad térmica y la densidad, para compararla con los resultados obtenidos en el presente trabajo.

VII ABSTRACT

In the pulp processing Soursop no thermal transfer parameters related to the thermal conductivity and diffusivity, consequently resulting in the loss of major nutrients pulp by the excessive heat treatment or the reduction of its useful life as a result of thermal processing deficient reason raised determines the thermal diffusivity Soursop pulp according to temperature.

Methods were used proximate analysis, moisture, protein, fat, ash, fiber, density AOAC (1995) and color (AVILA and SILVA, 1999). Just as the thermophysical properties, thermal diffusivity (method DICKERSON, 1965). 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 on temperature explanatory variable, the primary goal of linear regression is to build a model to predict the value of the dependent variable when predictorias variable values take certain values. As mentioned THOMAS (2001) linear regression is the problem predict or estimate the response variable from another variable called predictive or explanatory, the equation for determining the thermal diffusivity Soursop pulp according to temperature from 60 to 90 °C is as follows:

$$\alpha = 2,121832x10^{-8}T - 9,4062x10^{-8} \qquad R^2 = 0,95899$$

VIII REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍCAS

AOAC 1995. Association of Oficial Analytical Chemists, Oficial Methods of Analysis, Ed Aslington USA 37:2.

AOAC 1984. Association of Oficial Analytical Chemists, Oficial Methods of Analysis, Ed Aslington USA 37:2.

AOAC 1997. Association of Oficial Analytical Chemists, Oficial Methods of Analysis, Ed Aslington USA 37:2.

ALVARADO, J. D. y J. M. 2001. AGUILERA, Métodos para medir propiedades físicas en Industrias de alimentos, Editorial Acribia S. A., Zaragoza, España.

ALVARADO, J. de D. Propiedades físicas de frutas: IV. Difusividad y conductividad térmica efectiva de pulpas. Latin American Applied Research, Bahía Blanca, v.24, p.41-47, 1994.

AMUSA, N., O. ASHAYE, M. OLADAPO Y O. KAFARU. 2003. Pre-harvest deterioration of Soursop (*Annona muricata*) at Ibadan Southwestern Nigeria and its effect on nutrient composition. African J. B. *2*: 23–25.

AVILA, I. M., SILVA, C. L. 1999. Modelling kinetics of thermal degradation of colour in peach puree. *Journal of Food Engineering 39*, 161-166.

BARBARA, G; CURBELO, ALFREDO; CEÑEDO, LUIS. 2001. Determinación de la conductividad y la difusividad térmica del meollo de la caña de azúcar. Departamento de física de la Universidad de Camaguey. Tecnologia Ciencia Ed.(IMIQ), 7(1):20-24

BAIK, O., SABLANI, S., MARCOTTE, M., CASTAIGNE. F. 1999. Modeling the Thermal Properties of a Cup Cake During Baking. Vol. p 64, 295-299.

BLACIO S. 2010. Proyecto de prefactibilidad para la exportación de pulpa de guanábana al mercado alemán en el periodo 2008 al 2018. Tesis de Grado. Universidad Tecnologica equioccial. Ecuador.

CALZADA B. J. 1970. Métodos estadísticos. Editorial Juridica S.A. Lima-Perú

CENGEL, Y. 2007. "Transferencia de Calor y Masa". Tercera Edición. Iztapalapa - México D.F. p. 163 - 182.

CHICAÍZA QUINALOA Gladys Lorena, PUCHA PARRA Mónica Patricia, URIGÜEN AGUIRRE Patricia Alexandra 2003. PROYECTO PARA LA PRODUCCIÓN Y EXPORTACIÓN DE LA GUANÁBANA EN LA HACIENDA "MARÍA DOLORES" DEL CANTÓN, INSTITUTO DE CIENCIAS HUMANISTICAS Y ECONOMICAS (ICHE).Tesis. EL GUABO - PROVINCIA DE EL ORO Guayaquil, Ecuador.

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. 613p.

COARICONA, F. 2008. Simulación del comportamiento de la difusividad térmica del masato (masa de yuca fermentada diluida), en función al porcentaje de humedad. Tesis para optar el grado de ingeniero en industrias alimentarias. UNAS. Tingo María – Peru.

RODRIGUEZ G, Coronado J., Nava R,,Sulbaran B., y Cabrera L. 2007. Caracterización fisicoquímica de la pulpa de guanábana (Annona Muricata) cultivada en el Occidente de Venezuela. Centro de

Investigaciones biológicas Vol 41 N° 2, Maracaibo. Venezuela.

DICKERSON, R. 1965. Thermal properties of food chapt 2 in the freezing preservatión of foods 4 th.ed.

DRUSAS, A. E., and SARAVACOS G.D., 1985. Thermal Conductivity of Tomato Paste. J. Food Eng. 4: 157 -168.

FELLOWS, P., 1988. Processing Technology, Principles and Practice. Ellis Horwood series in Food and Technology. P. 41-61.

FENNEMA O., KAREL M., LUND D. 1981. Principles of food science, Vol II Physical of foot Preservation, Marcel Dekker, inc. N.Y. p. 474.

GARCÍA, V. E. M. 2008. Determinación de la difusividad térmica de la pulpa de Noni (*Morinda citrifolia, L*). Tesis Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria de la Selva. T. M. Perú.

HWANG, M., HAYAKAWA, K. 1979. A Specific Heat Calorimeter for Foods. J. Food Sci. 44:435-438.

IBARZ, A.; BARBOSA – CANOVAS, G. 1999. Operaciones unitarias en la Ingeniería de Alimentos. Technomic Publihing Company, INC. Pennsylvania, USA. 880 p.

JARA ACUÑA, ROLANDO, 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

JAYA, S., & Das, H. 2003. A vacuum drying model for mango pulp. *Drying Technology, 21*(7), 1215-1234.

JIMENEZ G. Y KASAHARA I., 1991. Propiedades Termofísicas de la Pulpa de Merluza en Función del Contenido de Humedad. Nº 3: 15-22.

LABOREN, G. 1994. Resultados preliminares en el estudio de la calidad del *fruto del guanábano. FONAIAP. Divulga 45: 53–55.*

LONCIN, M. 1991. Génie Industriel Alimentaire. Aspects Fondamentaux. Masson. p.50 - 51, 276 – 277

LIDE, D. 1998. Handbook of Chemistry and Physics. CRC PRESS LLC. Capítulo 6, Pag. 4.

LOZANO, J.; URBICAIN, M.; ROTSTEIN, E., 1979. Thermal conductivity of apples As a function of moisture content. J. Food Sci. 44: 198-199.

MACHADO, C., R. MARTÍNEZ, M. MARÍN, D. ESPARZA Y M. SÁNCHEZ. 1998. Influencia del tipo de propagación sobre la producción y calidad de los frutos de guanábana *(Annona muricata* L.*)* creciendo en el Centro Frutícola del estado Zulia. Informe. Investigación Agropecuaria. Universidad del Zulia. Facultad de Agronomía. Departamento de estadística, Maracaibo, 26 p.

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.

MEDINA, M. Y F. PAGANO. 2003. Caracterización de la pulpa de la guayaba (*Psidium guajava* L.) tipo "Criolla Roja". Rev. Fac. Agron. 20: 72–86 p.

MOHSENIN, N. M. 1980. Thermal properties of food and agricultural materials. Gordon and Breach Science Publishers, New York, 407 p.

MUÑOZ J. C. 2002. Determinación de la difusividad térmica en pasta de murta (*Ugni molinae turez*), en función de la temperatura.

NESVADBA, P., 1982. Methods for the Measurements of Thermal Conductivity and Diffusivity of Foodstuffs. J. Food Eng. 1: 93 -113 p.

OLIVIAS C., C. A. Evaluación de la Productividad del camu camu (*Myrciaria dubia H.B.K.)*, en Loreto. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Facultad de Agronomía. Iquitos. Perú.

ONIMAWO, I. 2002. Proximate composition and selected physicochemical properties of the seed, pulp and oil of soursop (*Annona muricata*). Plant Foods Hum. Nutr. 57: 165–171 p.

PELEG, M., 1983. Physical Properties of Food. AVI Pubhising Company, INC. Westport, Connecticut. p. 13 –16.

POULSEN, P., K., 1982. Thermal Diffusivity of Foods Measured by Simple Equipment. J. Food Eng. 1: 115 -122 p.

POTTER, N. y HOTCHKISS, J., 1995. Food Science, 5^{Th} edition. International Thomson Publishing. N.Y. p. 146.

QUISPE ANGEL, ZAVALA DAVID, POSSO MARGARITA, ROJAS JOSÉ, VAISBERG Abraham. 2006. Efecto citotóxico de *Annona muricata* (guanábana) en cultivo de líneas celulares de adenocarcinoma gástrico y pulmonar. Revista Sociedad Científica de San Marcos. Perú

ROJAS, A. M., ARANGO, L. A., & PINZÓN, M. I. (2004). Evolución del color, la pérdida de agua y la ganancia de solutos durante la cinética de osmodeshidratación de tomate de árbol. Manizales: C.D.T.F., CORPOICA, Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Universidad de Caldas.

SALAS DE LA T. N., (2009). Proceso para obtener bebida nutracéutica a partir de *myrciaria dubia* (camu camu), Rev. Per. Quím. Ing. Quím. Vol. 12 N.º 2, 2009. p. 34-41

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.

SUDHARINI, R.1997. Measurement of Thermal Properties of Seafood. Tesis Master of Science. USA. State University -Virginia. 83 p.

THOMAS, M., LITTLE, M., HILLS, J. 2001. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Ed TRILLAS. 2da ed. México 87 p.

UMME, A., B. SABIH, Y. SALMAH, A. JUNAINAH Y B. JAMILAH. 1997. Characteristics of Soursop natural puree and determination of optimum conditions for pasteurization. Food Chem. 58: 119–124.

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

VELEZ, F. Y G. DE VELEZ. 1990. Plantas alimenticias de Venezuela. Soc. Ciencias Naturales La Salle, Caracas, p. 109–110.

VILLACHICA, H. (1996). Frutales y Hortalizas Promisorias de la Amazonía. Tratado de Cooperación Amazónica [En línea]: (http://www.siamazonia.org.pe/ 23 de Nov.2012).

WATSON E., HARPER J., 1998. Elements of food engineering. Publishers by van Nostrand Reinhold Company N.Y. p. 308.

IX ANEXOS

ANEXO 1:

Cuadro 22. Penetración de calor a 60 °C

Tiempo (s)	Temperatura °C	$\log(1{,}6 * \frac{(T_m - T_o)}{(T_m - T)}$	Tiempo (s)	Temperatura °C	$\log(1{,}6 * \frac{(T_m - T_o)}{(T_m - T)})$
0	24,20	0,20653946	1500	57,50	1,36248247
60	20,30	0,16163198	1560	57,70	1,39869465
120	16,80	0,12493874	1620	57,90	1,43820319
180	13,90	0,09672156	1680	58,10	1,48166888
240	12,70	0,08556134	1740	58,30	1,52997356
300	25,00	0,21635444	1800	58,50	1,58433122
360	25,20	0,21884324	1860	58,71	1,64983277
420	25,50	0,22260339	1920	58,80	1,68124124
480	26,20	0,23150578	1980	59,00	1,76042248
540	29,40	0,27470106	2040	59,10	1,80617997
600	33,70	0,34046673	2100	59,20	1,8573325
660	38,00	0,4179998	2160	59,30	1,91532444
720	41,80	0,5003511	2220	59,30	1,91532444
780	45,00	0,58433122	2280	59,20	1,8573325
840	47,60	0,6670008	2340	49,50	0,73923318
900	49,80	0,75182231	2400	21,50	0,17496175
960	51,50	0,83100356	2460	16,70	0,12393459
1020	52,90	0,90916413	2520	2,50	0,00075464
1080	54,00	0,98227123	2580	20,00	0,15836249
1260	56,10	1,16935788	2760	25,20	0,21884324
1380	56,90	1,26906079	2880	25,50	0,22260339
1440	57,20	1,31326445	2940	26,10	0,23022279

ANEXO 2:

Cuadro 23. Penetración de calor a 65 °C.

Tiempo (s)	Temperatura °C	$\log(1{,}6 * \frac{(T_m - T_o)}{(T_m - T)}$	Tiempo (s)	Temperatura °C	$\log(1{,}6 * \frac{(T_m - T_o)}{(T_m - T)}$
0	14,5	0,113612461	1080	63	1,515873844
60	15,4	0,121422163	1140	63,7	1,702960487
120	20,2	0,165625825	1200	63,9	1,775511154
180	27	0,237120243	1260	64,1	1,86266133
240	33,8	0,322749245	1320	64,2	1,913813852
300	39,7	0,413783318	1380	64,3	1,971805799
360	44,6	0,507273672	1440	64,4	2,038752589
420	48,6	0,602059991	1500	64,5	2,117933835
480	51,8	0,696329908	1560	64,6	2,214843848
540	54,4	0,791597974	1620	64,6	2,214843848
600	56,5	0,887484914	1680	64,6	2,214843848
660	58,1	0,978054749	1740	64,7	2,339782585
720	59,5	1,07654115	1800	64,7	2,339782585
780	60,5	1,163691326	1860	64,6	2,214843848
840	61,4	1,260601339	1920	28,7	0,256997214
900	62	1,339782585	1980	17,3	0,13838546
960	62,6	1,436692598	2040	10,4	0,079711197
1020	63	1,515873844	2100	4,7	0,036586527

Anexo 3:

Cuadro 24. Penetración de calor a 70 °C.

Tiempo (s)	Temperatura °C	$\log(1{,}6 * \frac{(T_m - T_o)}{(T_m - T)}$	Tiempo (s)	Temperatura °C	$\log(1{,}6 * \frac{(T_m - T_o)}{(T_m - T)}$
0	5,0	0,053964458	1080	68,4	1,662757832
60	20,9	0,175796322	1140	68,8	1,787696568
120	16,8	0,140966182	1200	69,1	1,912635305
180	17,4	0,14589207	1260	69,3	2,021779774
240	19	0,159307638	1320	69,4	2,088726564
300	24,3	0,206961614	1380	69,6	2,264817823
360	31,7	0,28367904	1440	69,6	2,264817823
420	38,8	0,37272322	1500	69,7	2,38975656
480	45,6	0,479487988	1560	69,7	2,38975656
540	51,1	0,59041601	1620	69,8	2,565847819
600	55,4	0,702524959	1680	69,8	2,565847819
660	58,8	0,817659792	1740	69,8	2,565847819
720	61,4	0,932379363	1800	69,8	2,565847819
780	63,4	1,047333879	1860	69,8	2,565847819
840	65	1,16790781	1920	69,8	2,565847819
900	66,2	1,287094218	1980	68,8	1,787696568
960	67,2	1,419719783	2040	67,8	1,524455134
1020	67,9	1,54465852	2100	26,8	0,231394068

ANEXO 4:

Cuadro 25. Penetración de calor a 75 °C.

Tiempo (s)	Temperatura °C	$\log(1{,}6 * \frac{(T_m - T_o)}{(T_m - T)}$	Tiempo (s)	Temperatura °C	$\log(1{,}6 * \frac{(T_m - T_o)}{(T_m - T)}$
0	22,8	0,194019656	1080	71,5	1,367622114
60	18,9	0,162727297	1140	72,1	1,449292161
120	18,3	0,1581071	1200	72,7	1,549962323
180	18,4	0,158873728	1260	73,1	1,632936558
240	19,2	0,16505596	1320	73,8	1,832508913
300	23,6	0,20072704	1380	74	1,911690159
360	25	0,212720154	1440	74,2	2,008600172
420	38,9	0,354182957	1500	74,6	2,309630167
480	39	0,355387658	1560	74,8	2,610660163
540	45,5	0,441868143	1620	74,9	2,911690159
600	52,5	0,559507641	1680	74,5	2,212720154
660	59,5	0,721358461	1740	50	0,51375015
720	62,5	0,814780146	1800	40	0,367622114
780	64,9	0,907368785	1860	30	0,258477645
840	66,8	0,997876306	1920	25	0,212720154
900	68,4	1,092146223	1980	10	0,098776802
960	69,6	1,179296399	2040	12	0,112349609
1020	70,6	1,268237482	2100	11	0,105510185

ANEXO 5:

Cuadro 26. Penetración de calor a 80 °C.

Tiempo (s)	Temperatura °C	$\log(1{,}6 * \frac{(T_m - T_o)}{(T_m - T)}$	Tiempo (s)	Temperatura °C	$\log(1{,}6 * \frac{(T_m - T_o)}{(T_m - T)}$
0	-2,2	0,037436192	1080	76,1	1,361243403
60	24,6	0,208798245	1140	77	1,475186755
120	23,1	0,197195743	1200	77,7	1,590580174
180	23	0,196433154	1260	78,1	1,673554409
240	23,3	0,198724951	1320	78,5	1,776216751
300	23,6	0,201028906	1380	78,7	1,838364657
360	23,9	0,203345148	1440	78,9	1,910915325
420	24,5	0,208015027	1500	79	1,95230801
480	28,4	0,239658308	1560	79,2	2,049218023
540	36,2	0,310833899	1620	79,5	2,253338005
600	44,5	0,402079657	1680	79,6	2,350248018
660	51,9	0,50360169	1740	79,8	2,651278014
720	58,2	0,613851516	1800	79,9	2,95230801
780	63,4	0,732199922	1860	28,1	0,237140652
840	67,5	0,855397997	1920	15,2	0,140733004
900	70,7	0,983825061	1980	11	0,113458919
960	73	1,10720997	2040	9,2	0,102274752
1020	74,8	1,236304666	2100	8	0,094975513

ANEXO 6:

Cuadro 27. Penetración de calor a 85 °C.

Tiempo (s)	Temperatura °C	$\log(1{,}6 * \frac{(T_m - T_o)}{(T_m - T)}$	Tiempo (s)	Temperatura °C	$\log(1{,}6 * \frac{(T_m - T_o)}{(T_m - T)}$
0	10,19	0,115490163	1200	81,79	1,482944785
60	8,39	0,105164355	1260	82,1	1,52705182
120	7,19	0,098414402	1320	83,2	1,734177313
180	28,59	0,238093718	1380	83,4	1,785329835
240	24,39	0,206905534	1440	84	1,989449818
300	24,49	0,207622665	1500	84,6	2,387389826
360	24,19	0,205474814	1560	84,7	2,512328563
420	24,59	0,208340982	1620	84,8	2,688419822
480	26,79	0,224452218	1680	84,99	3,989449818
540	33,99	0,281794494	1740	84,99	3,989449818
600	43,69	0,373394623	1800	83,8	1,910268572
660	52,99	0,484164144	1860	83	1,688419822
720	60,59	0,601882038	1920	82	1,512328563
780	66,69	0,726761473	1980	81	1,387389826
840	71,39	0,855591692	2040	80	1,290479813
900	74,69	0,976191152	2100	79	1,211298567
960	77,79	1,131514553	2160	78	1,144351778
1020	79,79	1,272612094	2220	50	0,445381773
1080	80,99	1,386305445	2280	40	0,336237304
1140	81,59	1,456695439	2340	36,29	0,301831688

Anexo 7:

Cuadro 28. Penetración de calor a 90 °C.

Tiempo (s)	Temperatura °C	$\log(1{,}6 * \frac{(T_m - T_o)}{(T_m - T)}$	Tiempo (s)	Temperatura °C	$\log(1{,}6 * \frac{(T_m - T_o)}{(T_m - T)}$
0	25,8	0,21612889	1020	83,5	1,210750562
60	25,9	0,216805889	1080	86	1,421603927
120	25,8	0,21612889	1140	88	1,722633923
180	26	0,217483944	1200	89,2	2,120573931
240	25,9	0,216805889	1260	89,8	2,722633923
300	26,1	0,21816306	1320	89,8	2,722633923
360	27,9	0,230572318	1380	89,8	2,722633923
420	26,8	0,22294684	1440	89,8	2,722633923
480	27	0,224323369	1500	70	0,722633923
540	27,6	0,228479329	1560	65	0,62572391
600	32,2	0,26173608	1620	50	0,421603927
660	41,5	0,33792218	1680	40	0,324693914
720	51,2	0,434832193	1740	36	0,291270158
780	60,4	0,552372207	1800	25	0,210750562
840	68	0,681241237	1860	25	0,210750562
900	74,2	0,825006831	1920	23	0,197589115
960	79,2	0,990240163	1980	24	0,204119983
1020	83,5	1,210750562	2040	23	0,197589115
1080	86	1,421603927	2100	24	0,204119983