UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL DE LA AMAZONIA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

TESIS

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES TERMOFÍSICAS DE LA PULPA DE MACAMBO (*Theobroma bicolor)* A DIFERENTES TEMPERATURAS

PRESENTADO POR:

SANDY BALLÓN PALOMINO

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

ASESOR:

ING. CALEB LEANDRO LAGUNA

YARINACOCHA – UCAYALI

PERÚ – 2016

Dedicatoria

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte, mi constante motivación y perfecta compañía durante todo este periodo.

Todos ellos son muy valiosos para mí.

AGRADECIMIENTOS

Con gran esfuerzo y dedicación se culminó con éxito este proyecto, agradezco a Dios por este nuevo triunfo.

A mi familia, quienes suponen los cimientos de mi desarrollo, todos y cada uno de ustedes han sido los promotores de mis sueños, destinando tiempo valioso para darme su apoyo y su aliento para finalizar esta Tesis, gracias por sus aportes invaluables.

Agradecer sinceramente a mi asesor, Ing. Caleb Leandro Laguna, sus conocimientos, orientación y su manera de trabajar han sido fundamentales para mi formación. Él ha inculcado en mí, responsabilidad y exigencia académico.

Al Ing. Williams Roldan Carbajal, especialista en el estudio de Propiedades Termofísicas, a su manera ha sido capaz de ganarse mi lealtad, así como sentirme en deuda con él por todo lo recibido durante el periodo del estudio.

A mi Universidad y cada uno de mis docentes que hicieron este proceso integral de formación profesional, gracias a su aporte hoy se ve reflejado en la culminación de este proyecto.

INDICE GENERAL

Pág.

INDICE DE CUADROS..... vi
INDICE DE FIGURAS..... viii
INTRODUCCIÓN..... x
RESUMEN..... xi
ABSTRACT..... xii

CAPITULO I
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 13
1.1 Descripción de la situación problemática..... 13
1.2 Formulación del problema..... 14
1.3 Objetivos de la investigación..... 14
1.3.1 Objetivo general..... 14
1.3.2 Objetivos específicos..... 14
1.4 Justificación del estudio..... 15
1.5 Limitaciones de la investigación..... 15

CAPITULO II
2. MARCO TEORICO..... 16
2.1 Antecedentes del problema..... 16
2.2 Bases teóricas..... 18
2.2.1 El Macambo..... 18
2.2.2 Propiedades Termofísicas..... 21
a. Difusividad térmica..... 22
b. Conductividad térmica..... 23
c. Calor específico..... 24
2.2.3 Modelos matemáticos de los fenómenos físicos..... 26
2.3 Definición de términos básicos..... 28
2.4 Hipótesis..... 30
2.5 Variables..... 30

CAPITULO III
3. METODOLOGÍA..... 31
3.1 Tipo y nivel de investigación..... 31
3.2 Método de la investigación..... 31
3.2.1 Lugar de ejecución..... 31
3.2.2 Obtención de la pulpa de Macambo..... 31
3.2.3 Características físicas y químicas del fruto y la pulpa de Macambo..... 32
3.2.4 Propiedades térmicas..... 32
a. Difusividad térmica..... 32

b. Calor específico……..... 35
c. Conductividad térmica…….....……..… 37
3.2.5 Comparación de las propiedades termofísicas…… 37
3.2.6 Determinación del modelo matemático……...…… 38
3.3 Diseño de la investigación……..... 38
3.4 Población y muestra…….. 39
3.5 Descripción de técnicas e instrumentos de recolección de datos……... 39

CAPITULO IV
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN……..... 40
4.1 Confiabilidad y validez de instrumentos……..... 40
4.2 Técnicas estadísticas para el procedimiento de la información 41
4.2.1 Análisis de las características físicas y químicas del fruto y pulpa de Macambo..... 41
4.2.2 Determinación de las propiedades termofísicas..... 46
a. Determinación de la difusividad térmica de la pulpa de Macambo a diferentes temperaturas..... 46
b. Determinación del calor especifico de la pulpa de Macambo a diferentes temperaturas..... 62
c. Determinación de la densidad de la pulpa de Macambo a diferentes temperaturas..... 66
d. Cálculo de la conductividad térmica de la pulpa de Macambo a diferentes temperaturas..... 68
4.2.3 Comparación de las propiedades termofísicas..... 69
4.2.4 Determinación del modelo matemático..... 71
4.3 Contrastación de hipótesis……..……... 73

CONCLUSIONES……..... 76
SUGERENCIAS……..... 77
REFERENCIAS…..…. 78

ANEXOS……..... 83
Matriz de correlación……..... 84
Operacionalización de variables..... 85
Instrumentos de investigación……..... 86
Otras evidencias de la investigación…….. 87

INDICE DE CUADROS

		Pág.
Cuadro 01:	Características morfoagronómicas de poblaciones de *Theobroma bicolor*…….....	21
Cuadro 02:	Determinación de la difusividad por análisis de regresión simple.....	27
Cuadro 03:	Diseño experimental para la estimación de la difusividad térmica en soluciones de sacarosa…….....	33
Cuadro 04:	Comparación de las propiedades termofísicas.....	37
Cuadro 05:	Determinación del modelo matemático para las propiedades termofísicas……..	37
Cuadro 06:	Comparación de difusividades térmicas en solución de Sacarosa.....	40
Cuadro 07:	Diámetro axial y ecuatorial del fruto de Macambo….....	42
Cuadro 08:	Porcentaje de cascara, pulpa y semillas del fruto de Macambo.....	43
Cuadro 09:	Análisis físico-químico y proximal de la pulpa de Macambo…….....	45
Cuadro 10:	Tratamientos a diferentes temperaturas…….....	46
Cuadro 11:	Determinación de la difusividad térmica de la pulpa de Macambo a 50 °C……...	46
Cuadro 12:	Determinación de la difusividad térmica de la pulpa de Macambo a 60 °C……...	49
Cuadro 13:	Determinación de la difusividad térmica de la pulpa de Macambo a 70 °C……...	51
Cuadro 14:	Determinación de la difusividad térmica de la pulpa de Macambo a 80°C……	54
Cuadro 15:	Determinación de la difusividad térmica de la pulpa de Macambo a 90 °C……...	56
Cuadro 16:	Promedio de la difusividad térmica a: 50 °C, 60 ˚C, 70 ˚C, 80 °C, y 90 °C…….....	59

Cuadro 17: Coeficiente C del calorímetro para determinar el calor específico de la pulpa de Macambo a temperaturas de: 50 °C, 60 ˚C, 70 ˚C, 80 °C, y 90 °C..... 62
Cuadro 18: Calor específico de la pulpa de Macambo a temperaturas de: 50 °C, 60 ˚C, 70 ˚C, 80 °C, y 90 °C…..... 64
Cuadro 19: Promedio de las densidades de la pulpa de Macambo a temperaturas de: 50 °C, 60 ˚C, 70 ˚C, 80 °C, y 90 °C…..... 66
Cuadro 20: Determinación de la conductividad térmica a temperaturas de: 50 °C, 60 ˚C, 70 ˚C, 80 °C, y 90 °C…..... 67
Cuadro 21: Comparación de las propiedades termofísicas..... 70

INDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 01:	Equipo para la obtención del perfil térmico.....	34
Figura 02:	Curva de penetración de calor a 50 °C.....	47
Figura 03:	Representación semilogarítmica en función al tiempo t, a 50 °C.....	47
Figura 04:	Pendiente de la recta de calentamiento a 50 °C.....	48
Figura 05:	Curva de penetración de calor a 60 °C.....	49
Figura 06:	Representación semilogarítmica en función al tiempo t, a 60 °C.....	50
Figura 07:	Pendiente de la recta de calentamiento a 60 °C.....	50
Figura 08:	Curva de penetración de calor a 70 °C.....	52
Figura 09:	Representación semilogarítmica en función al tiempo t, a 70 °C.....	52
Figura 10:	Pendiente de la recta de calentamiento a 70 °C.....	53
Figura 11:	Curva de penetración de calor a 80 °C.....	54
Figura 12:	Representación semilogarítmica en función al tiempo t, a 80 °C.....	55
Figura 13:	Pendiente de la recta de calentamiento a 80 °C.....	55
Figura 14:	Curva de penetración de calor a 90 °C.....	57
Figura 15:	Representación semilogarítmica en función al tiempo t, a 90 °C.....	57
Figura 16:	Pendiente de la recta de calentamiento a 90 °C.....	58
Figura 17:	Relación entre la difusividad térmica de la pulpa de Macambo y la temperatura.....	70
Figura 18:	Relación entre el calor específico de la pulpa de Macambo y la temperatura.....	71
Figura 19:	Relación entre la densidad de la pulpa de Macambo y la temperatura.....	72
Figura 20:	Relación entre la conductividad térmica de la pulpa de Macambo y la temperatura.....	73
Figura 21:	Frutos de Macambo (Theobroma bicolor).....	87

Figura 22: Determinación del Porcentaje de cascara y pulpa del fruto de Macambo (*Theobroma bicolor*)..... 87
Figura 23: Determinación del Porcentaje de semillas del fruto de Macambo *(Theobroma bicolor)*..... 88
Figura 24: Sensores térmicos "DATA TRACE"..... 88
Figura 25: Cilindros de acero inoxidable que contienen los sensores térmicos "DATA TRACE"..... 89
Figura 26: Armado del equipo para la obtención del perfil térmico..... 89
Figura 27: Calorimetro..... 90

INTRODUCCIÓN

El Macambo *(Theobroma bicolor)* es un tipo de cacao que se desarrolla en la amazonia peruana, sus frutos son parte de la dieta del poblador amazónico, su pulpa presenta una excelente actividad antioxidante y una importante concentración de compuestos fenólicos, representa un gran potencial para la agroindustria, se proyecta su creciente demanda en el mercado nacional y la posibilidad de industrializar la pulpa para la elaboración de mermeladas, néctares y licores, así como para alimentación de peces en piscigranjas, animales menores silvestres y domésticos.

Las propiedades termofísicas (calor específico, conductividad térmica y difusividad térmica) son necesarias para calcular la rapidez de calentamiento o enfriamiento en procesos o para estimar las cantidades de calor requeridas en los procesos como: escaldado, pasteurización, evaporación, fritura, refrigeración, congelación, esterilización, secado entre otra, en los cuales hay intercambio de energía y masa (Alvis *et al*., 2009). Su conocimiento es necesario para el cálculo y diseño de procesos y equipos y en la calidad del producto; (Rahman, 1995; Singh, 2000). Los modelos matemáticos proporcionan una de las herramientas básicas para describir procesos físicos y para explicar y predecir el comportamiento en condiciones variadas. Un proceso de simulación utiliza avanzados modelos matemáticos para predecir los cambios físicos, químicos o microbiológicos, que han sido ampliamente validados con datos experimentales encontrados en la literatura. Por lo tanto, las predicciones de los procesos de alimentos se consideran altamente confiables (Rahman, 1995).

El objetivo de este trabajo es hacer una contribución a la caracterización del Macambo como materia prima para su procesamiento a escala industrial, donde la transferencia de calor es imprescindible, asimismo obtener el valor de las propiedades termofísicas a fin de que los procesos puedan ser optimizados y automatizados a partir de un punto de vista de ingeniería conforme al modelo propuesto.

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo la determinación de las propiedades termofísicas (difusividad térmica, conductividad térmica y calor específico) de la pulpa de Macambo *(Theobroma bicolor)* a diferentes temperaturas (50, 60, 70, 80 y 90°C). Basándonos en diseños presentados en bibliografía, se encontró que la difusividad térmica de la pulpa de Macambo a 50 °C es de 1,73104 x 10^{-07} m^2/s; a 60 °C es de 1,75503 x 10^{-07} m^2/s; a 70 °C es de 2,07560 x 10^{-07} m^2/s; a 80 °C es de 2,12173 x 10^{-07} m^2/s; y a 90 °C es de 3,46578 x 10^{-07} m^2/s. El calor específico a 50 °C es de 3,5235 kJ/kgK; a 60 °C es de 3,8134 kJ/kgK; a 70 °C es de 4,2060 kJ/kgK; a 80 °C es de 4,6337 kJ/kgK; y a 90 °C es de 5,3664 kJ/kgK. La conductividad térmica a 50 °C es de 0,650731209 W/m °C, a 60 °C es de 0,710335756 W/m °C; a 70 °C es de 0,917553397 W/m °C; a 80 °C es de 1,024689009 W/m °C y a 90 °C es de 1,918123947 W/m °C, observándose que a medida que se incrementa la temperatura, también se incrementan las propiedades termofísicas. Finalmente los modelos matemáticos que gobiernan las propiedades termofísicas de la pulpa de Macambo en función a un rango de temperatura T (s) de 50 °C a 90 °C son: para la difusividad térmica α (m^2/s): $\alpha = 8{,}3444 \times 10^{-12} T^3 - 1{,}583 \times 10^{-9} T^2 + 1{,}0000 \times 10^{-7} T - 1{,}9149 \times 10^{-06}$, para el calor específico Cp (kJ/kgK): $cp = 0{,}0007 \times T^2 - 0{,}47 \times T + 4{,}245$ y para la conductividad térmica k (W/m°C): $k = 0{,}0011 \times T^2 - 0{,}1283 \times T + 4{,}3125$.

Palabras clave: *propiedades termofísicas, difusividad térmica, calor específico, conductividad térmica.*

ABSTRACT

Research aimed at the determination of thermophysical properties (thermal diffusivity, thermal conductivity and specific heat) Macambo pulp *(Theobroma bicolor)* at different temperatures (50, 60, 70, 80 and 90 °C). It based on designs presented in literature, it was found that the thermal diffusivity Macambo pulp at 50 °C is 1,73104 x 10^{-07} m^2/s; 60 °C is 1,75503 x 10^{-07} m^2/s; 70 °C is de 2,07560 x 10^{-07} m^2/s; 80 °C is 2,12173 x 10^{-07} m^2/s; and at 90 °C is 3,46578 x 10^{-07} m^2/s. The specific heat at 50 °C is 3,5235 kJ/kgK; at 60 °C is 3,8134 kJ/kgK; at 70 °C is 4,2060 kJ/kgK; at 80 °C is 4,6337 kJ/kgK; and at 90 °C is 5,3664 kJ/kgK. The thermal conductivity at 50 °C is 0,650731209 W/m °C, at 60 °C is 0,710335756 W/m °C; at 70 °C is 0,917553397 W/m °C; at 80 °C is 1,024689009 W/m °C and at 90 °C is 1,918123947 W/m °C, showing that as the temperature increases, the thermophysical properties are enhanced. Finally the mathematical models governing the thermophysical properties of the pulp Macambo according to a range of temperature T(s) of 50 °C to 90 ° C: for thermal diffusivity α (m^2 / s): α= 8,3444 x 10^{-12} T^3 – 1,583 x $10^{-9}T^2$ + 1,0000 x 10^{-7} T – 1,9149 x 10^{-06} , for the specific heat Cp (kJ / kg K): cp = 0,0007 x T^2 - 0.47 x T + 4,245 and the thermal conductivity k (W / m °C): k = 0, 0011 x T^2 – 0, 1283 x T+ 4, 3125.

Keywords: *thermophysical properties, thermal diffusivity, specific heat, thermal conductivity.*

CAPITULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la situación problemática

La transferencia de calor es una operación unitaria importante en la Ingeniería Agroindustrial. En todos los procesos térmicos, ocurren una entrada o una remoción de calor, que tiene como consecuencia la modificación de características físicas, químicas o de almacenamiento del producto terminado.

En la actualidad se sabe que la tendencia del procesamiento de frutas es obtener propiedades termofísicas que ayuden como parámetros básicos a conservar, transformar y preservar productos terminados y para ello se utiliza distintos métodos, siendo uno de esos métodos el tratamiento térmico; con la finalidad de prolongar la vida útil del producto alterando lo menos posibles las bondades nutricionales del alimento. (Alvarado y Aguilera, 2001).

En la industrialización de estos frutos se requiere conocer las propiedades termofísicas, las cuales son imprescindibles en los balances de energía, como también en el diseño de procesos o en la selección de equipos de operación.

Para manejar sistemáticamente la transferencia de calor en la transformación de alimentos, es necesario conocer las propiedades termofísicas de los alimentos, entre las cuales se tienen la conductividad, la difusividad térmica y el calor específico, datos que son utilizados en el diseño y simulación de procesos de transferencia de calor en la Ingeniería de alimentos, (enfriamiento, calentamiento, secado, congelamiento). (Fellows, 1988).

Debido a la diversidad de alimentos con diferencias en composición, textura, variedad, y otros, se necesitan de técnicas rápidas y exactas para lograr medir estas propiedades termofísicas. Por esta razón es necesario que se realice una investigación de las propiedades termofísicas de la pulpa de Macambo *(Theobroma bicolor)* en función a la temperatura.

1.2 Formulación del problema

¿El conocimiento de las propiedades termofísicas de la pulpa de Macambo *(Theobroma bicolor)* permitirá predecir la transferencia de calor?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Evaluar las propiedades termofísicas (difusividad térmica, conductividad térmica y calor específico) de la pulpa de Macambo *(Theobroma bicolor)* a diferentes temperaturas (50, 60,70, 80 y 90 °C).

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades termofísicas (difusividad térmica, conductividad térmica y calor específico) a las temperaturas de: 50, 60,70, 80 y 90 °C.
- Comparar los valores de las propiedades termofísicas (difusividad térmica, conductividad térmica y calor específico) para cada temperatura en estudio.
- Determinar el modelo matemático de las propiedades termofísicas (difusividad térmica, conductividad térmica y calor específico) en función a la temperatura.

1.4 Justificación del estudio

El presente trabajo de investigación se justifica porque:

- No existen investigaciones realizadas sobre la determinación de las propiedades termofísicas de la pulpa del Macambo *(Theobroma bicolor).*

- El trabajo de investigación contribuirá a la caracterización termofísica de la pulpa de Macambo *(Theobroma bicolor)* como materia prima, con la finalidad de tener datos de ingeniería que permita optimizar los procesos de transformación, reducir los costos en el proceso de transformación y así desarrollar productos con una mínima perdida de sus componentes nutricionales. Además servirá para el diseño de procesos y equipos industriales apropiados con la finalidad de lograr un consumo reducido de energía.

1.5 Limitaciones de la investigación

En el desarrollo de la investigación se presentaron las siguientes limitaciones:

- La falta de laboratorios y equipos de medición.
- La disponibilidad del fruto maduro según las diferentes temporadas estacionales.
- Disposición del uso de los laboratorios.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

Giraldo-Gómez *et al., (*2010), en su trabajo de investigación titulado; Propiedades termofísicas del jugo concentrado de lulo *(Solanum quitoense Lam*) a temperaturas por encima del punto de congelación, menciona que el calor específico del jugo concentrado de lulo medido a siete contenidos de agua en un rango de 0,55 a 0,90 (w/w) a las temperaturas de 4,0; 10,3; 19,8; 28,8; 40,40; 54,6; 65,6 y 78,6 °C, donde los datos fueron correlacionados por una función lineal de temperatura y contenido de agua dada por la ecuación $Cp = 1464,88 – 483,82X_w – 0,7T$, con un coeficiente de determinación R^2 de 0,9974; la correlación obtenida fue semejante a la presentada por Telis - Romero *et al.,* (1998) para jugo de naranja.

García (2009), en su trabajo de investigación titulado; Determinación de la difusividad térmica en pulpa de Noni (*morinda citrifolia* L.), menciona la difusividad térmica de la pulpa de Noni, 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 x10^{-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.

Moraga (2008), en su trabajo de investigación titulado; Determinación del calor específico de Murta (*Ugni molinae* Turcz) y Arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) en un rango de temperatura entre 20 °C y 80 °C por el Método de la Calorimetría Diferencial de Barrido, menciona que el calor específico de la Murta, presentó un calor especifico promedio en un rango de 20 °C a 80 °C un

valor de 3,798 ± 0,133 kJ/kg.K con una humedad de 76,24 % y Arándano presentó un calor específico promedio en el mismo rango de temperatura un valor de 3,820 ± 0,118 kJ/kg K con una humedad de 76,65 %. Reporta que el calor específico de la Murta en función de la temperatura en un rango de temperaturas entre 20 °C < T < 80 °C puede ser calculado con una ecuación cuadrática cp = 3,4632+5,6698x10-3xT+1,8333x 10-5xT^2 para el ecotipo de Murta 19 -1y cp = 3,5299+4,6984x10-3xT+1,9682x 10-5xT^2 para el ecotipo de Murta 27-1. Dado que el calor específico de los ecotipos fluctúa con respecto al contenido de humedad, se calculó para el rango de temperatura analizado un valor promedio del calor específico de 3,798 ± 0,133 kJ/kg.K para el ecotipo 19-1 con un contenido de humedad del 76,24 % y el valor promedio de 3,820 ± 0,118 kJ/kg.K para el ecotipo 27-1 con un contenido de humedad del 76,65 %.

Coaricona (2008), en su trabajo de investigación titulado; Simulación del comportamiento de la difusividad térmica del masato (masa de yuca fermentada diluida), en función al porcentaje de humedad. 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 presentó 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, aumentando con la humedad.

Muniz *et al.,* (2006) en su trabajo de investigación titulado; Caracterización termofísica de la pulpa de Bacuri (*Platonia insignis* Mart.), estudiaron las propiedades termofísicas de la pulpa de Bacuri con diferentes concentraciones de sólidos solubles: 5, 7.5, 10, 12.5, 15, 17.5 y 20 ºBrix. La difusividad térmica fue obtenido utilizando el método del cilindro infinito, el calor específico fue determinado por el método de mistura, la masa especifica por el método del picnómetro y la conductividad térmica fue a partir de los resultados experimentales de la masa específica y calor específico.

Araújo *et al.,* (2004) en su trabajo de investigación titulado; Propiedades termofísicas de pulpa de Cupuacu (*Theobroma grandiforum*) con diferentes concentraciones de sólidos. Estudiaron las propiedades termofísicas de la pulpa de Cupuacu con diferentes concentraciones de sólidos: integral 12 ºBrix, 9 ºBrix y con eliminación parcial de sólidos insolubles (penetrado); determinando en cada muestra las propiedades termofísicas. La difusividad

térmica fue determinada con un equipo semejante al utilizado por Dickerson (1965).

Lima *et al.,* (2003) en su trabajo de investigación titulado; Propiedades termofísicas de pulpa de Umbu (*Spondias tuberosa)*, realizaron estudios de las propiedades termofísicas de la pulpa de Umbu con diferentes concentraciones de sólidos solubles totales de 10, 20, y 30 ºBrix, determinando en cada muestra la difusividad térmica. La difusividad térmica fue determinada por el método del cilindro infinito propuesto por Dickerson (1965) y la conductividad térmica por la relación de sus propiedades con la masa específica, calor específico.

Muñoz (2002), en su trabajo de investigación titulado; Determinación de la difusividad térmica en pasta de Murta (*Ugni molinae turcz*), en función de la temperatura, dio por conveniente llevar la medición a precisión si la transferencia de calor se da principalmente por conducción. Visto que para el método es posible la ocurrencia de transferencia de calor también por convección, la difusividad térmica en el tratamiento a 60 °C, mostró un promedio de 1,15 x 107- m^2/s, con un mínimo de 1,10 x 10-7 m^2/s y un máximo de 1,26 x 10-7 m^2/s. Este promedio resultó ser el más bajo de todos los tratamientos como se esperaba, además se ve que a menor temperatura de trabajo también es menor la velocidad de transferencia de calor.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 El Macambo

Staller y Carrasco (2010), menciona que el *Theobroma bicolor*, denominado también Pataxte, Patashte, Macambo o Bacau , especie cercana al cacao fue muy empleada en la América precolombina para preparar una bebida denominada *Pataxte* , bebida de cacao típica de los pueblos mayas. Las características de tamaño son algo diferentes a las de otras especies del género *Theobroma*. Es ligeramente de tallo más alto, frutos más grandes y las flores poseen colores más vivos. Es considerada un cacao de inferior calidad.

González y Torres (2010), lo reporta como especie cultivada y que los frutos son comestibles. La pulpa que cubre a las semillas se consume crudo al

natural y tiene un sabor agridulce; se emplea en la fabricación de bebidas refrescantes y helados; las semillas cocidas a la brasa son muy agradables y similar al de las habas cocidas. Es muy común en Iquitos, Perú, la venta de las semillas, ensartadas en alambres (brocheta) asadas a la brasa. En América Central se le cultiva por las semillas, que al mezclar con azúcar y achiote se preparan dulces.

Sotero *et al.,* (2011) menciona que las semillas de Cacao *(Theobroma cacao),* Cacahuillo *(Herrenianitida),* Copoazú (*Theobroma grandiflorum*) y la pulpa de Macambo (*Theobroma bicolor*) presentan una excelente actividad antioxidante y una importante concentración de compuestos fenólicos.

García, *et al.,* (2002) realizó la caracterización química y evaluación de la actividad antioxidante del Macambo, reportando que el valor nutricional de este fruto está considerado con el tenor de lípidos 32,95 %, proteínas 13,30 % y fibras (fibras alimenticias insolubles y solubles FAI-FAS) 9,90 % y 2,30 % respectivamente, complejos importantes porque ejercen efectos fisiológicos directos a través del tracto intestinal.

Según Melgarejo, *et al.,* (2006), la clasificación taxonómica del Macambo es:

Reino : Plantae
Subreino : Tracheobionta
División : Magnoliophyta
Clase : Magnoliopsida
Subclase : Caryophyllidae
Orden : Malvales
Familia : Esterculiaceae
Género : Theobroma
Especie : bicolor
Nombre científico : *Theobroma bicolor*
Nombre Común : Macambo (Perú), Cacau do Perú (Brasil), Bacao o Maraco (Colombia), Patashte (Ingles)

El Macambo, es un árbol que al estado natural en el bosque puede alcanzar hasta 25 a 30 m de altura y 20 a 30 cm de diámetro. Cultivado puede tener menores dimensiones, copa oblonga e irregular, conformada por escasos verticilos de tres ramas pendulares que pueden llegar a tocar el suelo. Corteza externa agrietada color beige gris. Hojas simples, alternas, nerviación palmeada con 5 a 7 nervios conspicuos en el envés; haz blanquecino. Láminas dimorfas en el tronco, ampliamente ovado, de 12 a 15 cm de largo y de 6 a 10 cm de ancho, en las ramas laterales de forma oblonga a elíptico-ovadas.

En general las láminas son cactáceas, palminervadas, enteras de ápice acuminado y base cordada, envés tomentoso, gris plateado; pecíolo de 1,2 a 2,5 cm o de 10 a 38 cm de largo. Inflorescencia axilar en ramas jóvenes, flores regulares bisexuales, color rojo purpúreo; cáliz con cinco sépalos, corola con cinco pétalos; cinco estambres unidos con los estaminodios formando un tubo; ovario súpero pentacarpelar.

El fruto es de forma elipsoidal, es la más grande del género Theobroma, de unos 25 a 35 cm de largo por 12 a 15 cm de ancho, peso entre 0,5 y 3 kg, la cáscara es leñosa y dura, de 12 mm de espesor, con cinco o muchas fisuras, de color amarillo cuando maduras. El fruto cae al suelo cuando está maduro (González y Torres, 2010).

La floración en las poblaciones de Macambo es diferente, algunos tipos precoces de porte bajo inician la floración entre los 16 y 21 meses después del trasplante. Sin embargo el tipo tardío de porte alto puede iniciar la floración entre los 30-32 meses después del trasplante. La fructificación en el Macambo finaliza de 3 o 4 meses desde la floración, cuando los frutos se desprenden de la planta. La fructificación ocurre entre los meses de enero y abril.

En el Cuadro 01, se muestran las principales características morfo agronómicas de cuatro poblaciones de *Theobroma bicolor.*

Cuadro 01: Características morfoagronómicas de poblaciones de *Theobroma bicolor*.

CARACTERÍSTICA	POBLACIÓN			
	LISO SUAVE MEDIANO	RUGOSO DURO GRANDE	RUGOSO DURO PEQUEÑO	RUGOSO SUAVE GRANDE
Frutos/Planta	12,15	7,00	6,06	5,62
Peso fruto(g)	1631,67	1938,76	541,56	1961,86
Peso cáscara(g)	860,33	996,05	302,44	1060,91
Peso pulpa (g)	510,00	668,90	153,13	602,08
Peso semillas (g)	231,33	270,29	85,99	298,88
N° semillas	38,89	39,84	35,39	37,11
ºBrix	13,32	15,26	17,42	14,39
% de cáscara	52,73	51,38	55,85	54,08
% de pulpa	31,26	34,50	28,28	30,69
% de semilla	16,02	13,94	15,88	15,23

FUENTE: Evaluación del Banco de Germoplasma de *Theobroma bicolor*, Frutales Nativos – IIAP Iquitos. 2010.

2.2.2 Propiedades termofísicas

Las propiedades térmicas de los alimentos gobiernan los cambios de temperatura en procesos que involucran la transferencia de calor, procesos tales como, calentamiento, enfriamiento, secado y congelamiento, 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 (Alvarado y Aguilera, 2001).

El conocimiento de las propiedades térmicas de los alimentos es requerido para predecir, diseñar y optimizar muchos procesos que involucran la transferencia de calor. Estas propiedades, tales como la conductividad térmica (k), el calor específico (cp), y la difusividad térmica (α), definida por la relación: $\alpha = k / cp.\rho$), donde ρ es la densidad, pueden ser determinada por dos vías: Por medición directa o determinando la composición del alimento y usando una ecuación de predicción, expresando las propiedades térmicas en función de la composición proximal.

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.

a. Difusividad térmica

Esta propiedad es una medida de la cantidad de calor difundida a través de un material en calentamiento o enfriamiento en un tiempo determinado y está definida como el cociente de la conductividad térmica por el producto de la densidad y el calor específico (Schackelford, J. 2008).

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 (Fellows, 1988).

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.

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, se justifica debido que el alto contenido de humedad conlleva a una aceleración en la propagación de calor, al ser el agua el principal medio de transferencia de energía (Coaricona, 2008).

b. 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. 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. (Alvarado y Aguilera, 2001).

Para medir la conductividad térmica los métodos que adquirieron mayor difusión son los métodos estacionarios (Cárdenas, s.f.). 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 (Cerro y Gallardo, s.f.).

El conocimiento de las propiedades térmicas como la conductividad térmica, la capacidad calorífica y la difusividad térmica son esenciales para el diseño eficiente en los procesos alimenticios y en el procesamiento. Sin embargo, aunque el personal industrial y académico reconoce la necesidad de información acerca de las propiedades térmicas, ésta a menudo es difícil de encontrar, Choi y Okos, 1986 citado por Miliarium Aureum, 2004, corrobora esta información y menciona que para el diseño de sistemas de procesos térmicos para la industria de alimentos, una de las más importantes limitaciones es la falta de datos cuantitativos de las

propiedades térmicas. Las propiedades térmicas (conductividad y difusividad) se miden en estado estacionario (método de placas aisladas calentadas, cilindros concéntricos, esfera concéntrica) y en estado no estacionario (“line source probe”, “termal comparator”, “termistor probe”).

Las técnicas en estado estacionario plantean dos grandes problemas para los experimentos con productos con alto contenido de humedad, por lo general requieren de relaciones matemáticas simples para calcular las propiedades. En primer lugar el tiempo necesario para la distribución de la temperatura para alcanzar los valores en estado de equilibrio demandan demasiado tiempo. En segundo lugar la difusión de humedad puede ocurrir desde zonas de alta temperatura hasta zonas de baja temperatura, alterando la composición de la muestra. La migración de la muestra puede ser muy importante debido al tiempo que demanden los ensayos.

Dado que la conductividad térmica es muy dependiente de la composición química y física que a menudo se considera como porosidad de humedad contenido de materia grasa, las técnicas en estado transitorio son recomendadas para trabajar en productos con alto contenido de humedad.

La mejor fuente acerca de propiedades térmicas es el modelo de predicción con ecuaciones empíricas basadas en la composición química, física y temperatura, las cuales suelen generalmente ser confiables para la mayoría de las estimaciones de las propiedades térmicas en alimentos (Sweat citado por Schackelford, J. 2008).

c. Calor específico

Se refiere a la cantidad de energía requerida para aumentar en un grado la temperatura de una unidad de masa (Schackelford, J. 2008). 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. 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 específico depende de la naturaleza del proceso de adicionar calor, en términos de un proceso a presión constante o a un volumen constante.

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

La determinación de la capacidad calorífica por medio de la composición química de los alimentos es necesaria para calcular cambios de entalpía a temperatura constante. De nuevo, pueden obtenerse de manuales de referencia para la mayoría de los alimentos. En el caso de alimentos compuestos, pueden usarse las siguientes correlaciones basadas en su composición:

- Para carnes, pescados, frutas y verduras con contenido en agua superior al 50%: $Cp = 1,675 + 0,025(H_2O)$ $(kJ.kg^{-1}.\ °C^{-1})$
- Para cualquier alimento de composición conocida:

$$Cp = 1,424(C) + 1,549(P) + 1,675(G) + 0,847(Z) + 4,187(H_2O)\ (kJ.kg^{-1}.\ °C^{-1})$$

Dónde:

C: carbohidratos; P: proteínas; G: grasas; Z: cenizas.

La determinación del calor específico por el método de mezclas de Choi y Okos (1986). (Según: García, 2009), es determina por el calor específico de una muestra problema mezclándolo con un líquido (agua desionizada) en un calorímetro. Se tiene que cumplir que tanto la muestra problema y el agua se mezclen homogéneamente y no reaccionen químicamente entre sí.

2.2.3 Modelos matemáticos de los fenómenos físicos

a. Regresión lineal

El modelo de regresión lineal es el más utilizado a la hora de predecir los valores de una variable cuantitativa a partir de los valores de otra variable explicativa también cuantitativa (modelo de regresión lineal simple). Una generalización de este modelo, el de regresión lineal múltiple, permite considerar más de una variable explicativa cuantitativa. El modelo de regresión lineal simple, las puntuaciones de los sujetos en 2 variables: una de ellas considerada como variable predictora (X) y la otra como variable de respuesta (Y), vienen representadas (modeladas) por la ecuación de una línea recta:

$$\hat{Y} = \beta_o + \beta_1 + x_1$$

La identificación o ajuste de un modelo de regresión supone obtener los coeficientes que caracterizan al mismo, en el caso del modelo de regresión lineal simple, β0 y β1método, conocido como método de los mínimos cuadrados ordinarios, la mejor recta de regresión, de entre todas las posibles que se pueden ajustar a la distribución conjunta de 2 variables, será aquélla para la que la SCE sea mínima:

$$min(SCE) = \left(\sum E_i^2\right) = min\left(\sum (y_i - \hat{y_i})^2\right)$$

Existen diferentes aproximaciones en la evaluación de la bondad del ajuste de un modelo a la realidad que ese modelo pretende representar Suma de Cuadrados del Total (SCT), mide la dispersión (variación total) en los valores observados de Y. Este término se utiliza para el cálculo de la varianza de la muestra. Suma de Cuadrados explicada (Suma de Cuadrados debido a la Regresión, SCR) mide la variabilidad total en los valores observados de Y en consideración a la relación lineal entre X e Y. Suma de Cuadrados residual (inexplicada, Suma de Cuadrados del Error, SCE) mide la dispersión de los valores Y observados respecto a la recta de regresión Y (es la cantidad que se minimiza cuando se obtiene la recta de regresión). Análisis de Varianza para la regresión lineal simple, cuando cada partición se asocia a una porción correspondiente del total de grados de libertad, la técnica es

conocida como análisis de varianza (ANOVA), que se presenta en el Cuadro 02 de la siguiente forma:

Cuadro 02: Determinación de la difusividad por análisis de regresión simple.

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

FUENTE: De Mendiburu, F. (2006).

A prueba estadística “F” evalúa las hipótesis:
Hp: ß1 = 0. No existe una regresión lineal entre X e Y.
Ha: ß1 ≠ 0. Existe regresión lineal de Y en función de X.

El análisis de correlación emplea métodos para medir la significación del grado o intensidad de asociación entre dos o más variables. El concepto de correlación está estrechamente vinculado al concepto de regresión, pues para que una ecuación de regresión sea razonable los puntos muestrales deben estar ceñidos a la ecuación de regresión; además el coeficiente de correlación debe ser: grande cuando el grado de asociación es alto (cerca de +1 o -1, y pequeño cuando es bajo, cerca de cero, independiente de las unidades en que se miden las variables.

El Coeficiente de correlación Lineal Simple (r): Es un número que indica el grado o intensidad de asociación entre las variables X e Y. Su Valor varía entre -1 y +1; esto es: $-1 \leq r \leq 1$.

b. Interpretación de R^2:

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

R^2 ajustado = 1 – CME / CM Total;

Este valor podría ser negativo en algunos casos. Lo que se espera que ambos R^2, resulten similares, para dar una confianza al coeficiente de determinación. Thomas (2001).

2.3 Definición de términos básicos

- **Calor:** Es la transferencia de energía entre diferentes cuerpos o diferentes zonas de un mismo cuerpo que se encuentran a distintas temperaturas. Este flujo siempre ocurre desde el cuerpo de mayor temperatura hacia el cuerpo de menor temperatura, ocurriendo la transferencia de calor hasta que ambos cuerpos se encuentren en equilibrio térmico. (Cengel y Yunus, 2004)

- **Calor absorbido:** Cuando un cuerpo gana energía. (Nahle y Nasif, 2006).

- **Calor liberado:** Cuando el cuerpo pierde energía. (Nahle y Nasif, 2006).

- **Capacidad calorífica:** La capacidad calorífica de una sustancia se refiere a la cantidad de flujo de calor necesario para elevar la temperatura en un grado Celsius. Mientras mayor sea la masa de la sustancia, se requiere más calor para producir el calentamiento.

  Normalmente la capacidad calorífica se expresa por mol o por gramo de sustancia. Cuando se expresa por gramo de sustancia se le denomina *Calor Específico* y si se expresa por mol, se llama *Capacidad Calorífica Molar* (Faires, 1973).

- **Conducción de calor**: Llamado también transmisión de calor por conducción, es un proceso de transmisión de calor basado en el contacto directo entre los cuerpos, sin intercambio de materia, por el que el calor fluye desde un cuerpo a mayor temperatura a otro a menor temperatura que está en contacto con el primero. La propiedad física de los materiales que determina su capacidad para conducir el calor es la conductividad térmica. (Nahle y Nasif, 2006)

- **Conductividad térmica:** Es la propiedad de un material que describe la facilidad con la que ese material conduce la energía térmica o calorífica (Cengel y Yunus, 2004).

- **Convección:** Es una de las tres formas de transferencia de calor y se caracteriza porque se produce por medio de un fluido (líquido o gas) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas. La *convección* se produce únicamente por medio de materiales fluidos (Nahle y Nasif, 2006)

- **Densidad:** Es la masa de un material por unidad de volumen y se expresa en kg/m^3en el sistema internacional de unidades, SI. En un sentido físico, la densidad es la masa de un líquido que ocupa una unidad de volumen definido.(Schackelford, J. 2008)

- **Difusividad térmica:** Es una propiedad específica de cada material para caracterizar conducción de calor en condiciones no estacionarias. Éste valor describe cuán rápido un material reacciona a un cambio de temperatura. Para predecir procesos de enfriamiento o para simular campos de temperatura, la Difusividad Térmica debe ser conocida; es un requisito para resolver la Ecuación Diferencial de Fourier para conducción de calor en condiciones no estacionarias. (Nahle y Nasif, 2006)

- **Estado estacionario:** Es aquel en que no existen cambios de variables de proceso. Un sistema se encuentra en estado estacionario (estable, régimen permanente) si sus propiedades no varían con el tiempo (Cengel y Yunus, 2004)

- **Estado transitorio:** Estado no estacionario en el que los valores de las condiciones que lo definen evolucionan asintóticamente desde un estado inicial hacia un estado final estacionario o periódico (Nahle y Nasif, 2006).

- **Medidas biométricas:** Es una serie de medidas de características (longitud, peso, volumen, número de semillas,) de una especie en estudio (Tapiador, Sigüenza, 2005).

2.4 Hipótesis

Si se determina las propiedades termofísicas de la pulpa de Macambo a diferentes temperaturas entonces será posible desarrollar la ecuación que gobierna la transferencia de calor por conducción en la pulpa, en el estado no estacionario.

2.5 Variables

Variable Independiente

Temperatura: 50°C, 60°C, 70°C, 80°C y 90°C.

Variables Dependiente

- Difusividad térmica ($m^2.s^{-1}$)
- Conductividad térmica ($W.m^{-1}.K^{-1}$)
- Calor específico ($J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$)
- Densidad (g/mL)

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y nivel de investigación

Tipo: Investigación aplicada

Nivel: Cuasi experimental

De acuerdo a su naturaleza: Cuantitativa

3.2 Método de la Investigación

3.2.1 Lugar de ejecución

El experimento se realizó en la Planta Piloto de Frutas y hortalizas, en el 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.

3.2.2 Obtención de la pulpa de Macambo

Se utilizaron frutos maduros de Macambo (*Theobroma bicolor*) obtenido de la Zona de Pucallpa, provincia de Coronel Portillo, departamento de Ucayali. El cual se lavó y desinfectó (hipoclorito de sodio en proporción de 100 ppm durante 5 minutos), posteriormente se cortó el fruto para obtener las semillas, la pulpa se separó de las semillas de forma manual con cucharas de acero inoxidable. La pulpa obtenida se empaqueto en bolsas plásticas de sello hermético (1 kg) la cual se almacenó a -18 °C.

3.2.3 Características físicas y químicas del fruto y pulpa de Macambo

a. Medidas biométricas del fruto de Macambo

- Diámetro axial y ecuatorial promedio de 10 muestras de fruto.
- Masa promedio de 10 frutos de Macambo.
- Peso promedio de cascara, pulpa y semillas.
- Número de semillas por fruto.

b. Análisis físico y químico de la pulpa de Macambo

- Humedad: método 12.002 (AOAC 1984).
- Determinación del pH: método 11.032 (AOAC, 1997).
- Determinación de sólidos solubles: método 932.14C (AOAC, 1995).
- Acidez titulable: método 942.15 (AOAC, 1997).
- Proteína (Nx6, 25), (AOAC 1997).
- Grasa, método descrito por (AOAC, 1997).
- Determinación de cenizas, según A. O. A. C. (1995), N° 923,03.
- Determinación de fibra, según A. O. A. C. (1997), N° 920,86.
- Densidad, método de volumen, metodología descrita por Lide (1998).

3.2.4 Propiedades térmicas

a. Difusividad térmica

Validación del difusor térmico para la estimación del efecto de convección en la medición: Se validó el difusor térmico en soluciones de sacarosa a diferentes concentraciones y tratamientos térmicos, con la finalidad de comparar los valores encontrados con los reportados en la literatura, según el Cuadro 03, método recomendado por Muñoz (2002).

Cuadro 03: Diseño experimental para la estimación de la difusividad térmica en soluciones de sacarosa.

Soluciones de sacarosa	Tratamiento Térmico	Repeticiones	Parámetro
60 °Brix	50 °C	**3**	**Difusividad Térmica**
	60 °C		
	70 °C		
	80 °C		
	90 °C		
70 °Brix	50 °C	**3**	
	60 °C		
	70 °C		
	80 °C		
	90 °C		

FUENTE: Muñoz (2002).

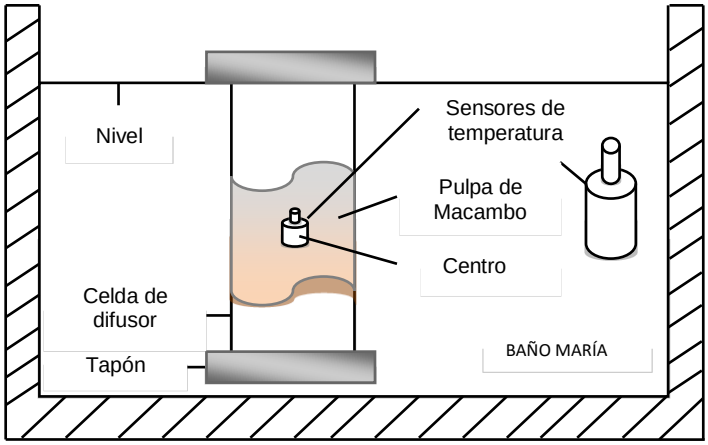
Determinación de la difusividad térmica

Para la determinación de la difusividad térmica de la pulpa de Macambo, se usaron 3 cilindros (ver figura 25) en los cuales se colocaron 3 sensores de temperatura, posteriormente se llenaron las respectivas muestras de pulpa, dichos sensores cumplen con la finalidad de registrar y almacenar las temperaturas del centro térmico y del medio de calentamiento, que consistió en agua de un baño termoregulable con convección natural, para registrar la variación de temperatura que experimenta este durante el procedimiento (ver Figura 01).

El experimento consistió en la determinación del perfil térmico desde una temperatura inicial de la pulpa en el centro de cilindro hasta la temperatura del medio de calentamiento. Las temperaturas fueron registradas y almacenadas por los sensores programados para luego ser procesados.

Para la determinación de la difusividad térmica de pulpa de Macambo de un lote de 10 frutos maduros, se utilizó el método de transferencia de calor en el estado no estacionario, desarrollada por Dickerson (1965) y modificado por Singh (2000), el cual se basa en el uso de un cilindro de acero inoxidable de características infinita.

Figura 01: Equipo para la obtención del perfil térmico.



FUENTE: Shiva *et al.,* (2014).

Se obtuvieron datos de penetración de calor en función del tiempo mediante sensores térmicos (Data trace), los cuales fueron tabulados en una hoja electrónica.

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

Dónde:

α : Corresponde a la difusividad térmica en m^2/s

r : Corresponde a la distancia recorrida por el flujo de calor, equivalente al radio del cilindro en m. (0.0152m)

t : tiempo en s.

Tm: temperatura del medio de calentamiento, en °C.

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

T : temperatura del centro térmico de la muestra en el instante t, en °C.

Reordenando la ecuación (1), queda la ecuación de una recta.

$$\log\left(1{,}6\frac{\mathrm{Tm}-\mathrm{T0}}{\mathrm{Tm}-\mathrm{T}}\right)=\frac{1}{0{,}398}\frac{\alpha}{\mathrm{r}^2}\mathrm{t} \qquad (2)$$

Dónde:

$log\left(1{,}6\ \frac{Tm-T0}{Tm-T}\right)$: Variable independiente.

$\frac{1}{0{,}398}\frac{\alpha}{\mathrm{r}^2}$: Pendiente de la ecuación lineal y t es la variable tiempo.

$$m=\frac{1}{0{,}398}\frac{\alpha}{r^2} \qquad (3)$$

De la ecuación (3), m es la pendiente de la ecuación lineal. Para la determinación de esta pendiente se linealizó mediante una gráfica, para luego despejar y determinar la difusividad térmica.

Se despejó α de la ecuación (3) la expresión que permite encontrar la difusividad térmica quedó como sigue:

$$\alpha=0{,}398mr^2\ \ \frac{m^2}{s} \qquad (4)$$

Con los datos experimentales obtenidos de difusividad térmica para cada temperatura se buscó una función que explique el comportamiento de difusividad térmica en función de la temperatura para el rango de trabajo 50, 60, 70, 80 y 90 °C.

$$\alpha=f(T) \qquad (5)$$

b. Calor específico

El calor específico se determinó por el método de Smith, *et al.*, (2003), método del calorímetro que consta de dos pasos:

Primero: Determinación de la capacidad calorífica del calorímetro

Se colocó 25 mL de agua a temperatura ambiente. Se tapó el calorímetro y se agitó hasta que la temperatura del agua dentro de él fue constante (T_1) y se registró este valor en la tabla correspondiente. Se determinó el peso del agua contenida en el calorímetro (m_1) usando la densidad del agua a la temperatura T_1 (bibliografía) registrándolo en la tabla correspondiente. En un matraz Erlenmeyer, se calentó 100 mL de agua a 40 °C aproximadamente. Se colocó un termómetro dentro del matraz y agitó hasta obtener una temperatura constante (T_2) y se registró en la tabla correspondiente. Se agregó el agua a T_2 al calorímetro lo más rápidamente posible, se agitó y se anotó la temperatura más alta obtenida (T_3) en la tabla correspondiente. Se obtuvo la masa de agua agregada (m_2) utilizando la densidad a la temperatura T_2 y registrándola en la tabla correspondiente. Se calculó la capacidad calorífica del calorímetro (C) utilizando el siguiente balance, para lo cual, se obtuvo el valor del calor específico del agua en la bibliografía.

Calor cedido por el agua adicionada = calor ganado por el calorímetro y el agua contenida en él.

Se realizaron todos los pasos anteriores por triplicado.

$$CpH_2O\ m_2\ (T_2 - T_3) = (C + CpH_2O\ m_1)\ (T_3 - T_1) \qquad (6)$$

Segundo: Determinación del Calor específico de la muestra problema

En un matraz Erlenmeyer, se calentó 100 mL de pulpa de Macambo según el tratamiento. Se colocó un termómetro dentro del matraz y agitó hasta obtener una temperatura constante (T4) se registró en la tabla correspondiente. Se agregó la muestra problema a T4 al calorímetro lo más rápidamente posible, se agitó y anotó la temperatura más alta obtenida (T5) en la tabla correspondiente. Se obtuvo la masa de la muestra problema agregada (m3), se registró

en la tabla correspondiente. Se calculó el calor específico de la pulpa de Macambo (Cp) utilizando el siguiente balance:

Calor cedido por la muestra problema = calor ganado por el calorímetro y el agua contenida en él.

Se realizan todos los pasos anteriores por triplicado.

$$Cp\ m_3\ (T_4 - T_5) = (C + Cp H_2O\ m_1)\ (T_5 - T_1) \qquad (7)$$

c. Conductividad térmica

La conductividad térmica se calculó conociendo los valores de la difusividad térmica, calor específico, y densidad, según la ecuación (9). (Cerro y Gallardo, s.f.).

$$\alpha = \frac{\mathrm{k}}{\mathrm{Cp}.\,\rho} \qquad (8)$$

A través de la difusividad térmica despejando la ecuación se obtuvo la conductividad térmica.

$$k = \alpha\,.\,\mathrm{Cp}.\,\rho \qquad (9)$$

3.2.5 Comparación de las propiedades termofísicas

Para la comparación de los valores de las propiedades termofísicas se utilizó el software estadístico SPSS Statistics versión 19, determinando si hay diferencia estadística entre ellos. Los datos se recolectaron según el Cuadro 04.

Cuadro 04: comparación de las propiedades termofísicas

Temperatura	Difusividad térmica	Conductividad térmica	Densidad	Calor específico
50 °C	T1	T1	T1	T1
60 °C	T2	T2	T2	T2
70 °C	T3	T3	T3	T3
80 °C	T4	T4	T4	T4
90 °C	T5	T5	T5	T5

˙UENTE: Elaboración propia.

3.2.6 Determinación del modelo matemático

Para la determinación de los modelos matemáticos para cada una de las propiedades termofísicas se empleó la regresión simple, donde la variable independiente fue la temperatura y la variable dependiente las propiedades termofísicas. Se utilizó el software estadístico SPSS Statistics versión 19, verificando la confiabilidad y el ajuste del modelo matemático encontrado.

Cuadro 05: Determinación del modelo matemático para las propiedades termofísicas.

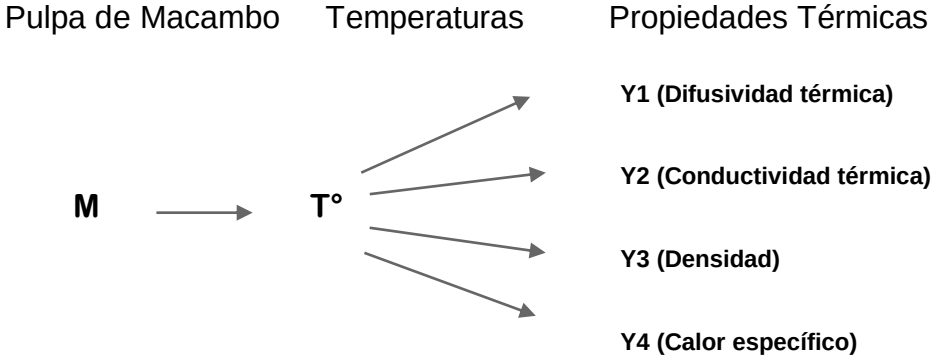
Fuentes	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fc
Regresión	1	b1.SPXY	b1.SPXY	CM(Regr)/CM(Resd)
Error Residual:	n-2	Diferencia	SC/(n-2)	
Total	n-1	SC Y		

FUENTE: De Mendiburu, F. (2006).

Con los datos experimentales se estableció el modelo matemático que explique el comportamiento de las propiedades termofísicas en función de la temperatura.

3.3 Diseño de la Investigación

El diseño planteado para el trabajo de investigación fue:



3.4 Población y Muestra

3.4.1 Población

La población estuvo constituida por los frutos de Macambo (*Theobroma bicolor*) obtenidos en la Zona de Pucallpa, provincia de Coronel Portillo, Departamento de Ucayali, ubicado exactamente en las siguientes coordenadas" lat.=-9.24666049612, (9°14'47.98"S) lon=-76.0092720592, (76° 0'33.38"O), GOOGLE EARTH 6.1.0.5001 (2011). Frutos maduros, sanos, libres de plagas y enfermedades, sin daños físicos, colectados en la época de mayor producción en el año (febrero a abril), con madurez fisiológica.

3.4.2 Muestra

La muestra fue intencionada ya que no se conoce la producción de Macambo; se consideraron 10 frutos de Macambo, a los cuales se les extrajo la pulpa, de la muestra extraída, se tomaran 250g de pulpa por tres repeticiones para la determinación de cada propiedad termofísicas y por cada temperatura considerada en el estudio.

3.5 Descripción de técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica e instrumentos para la recolección de datos fueron fichas de apuntes según las normas y según el tipo de análisis. Se reportaron usando el software SPSS Statistics versión 19 para Windows y la hoja de cálculo Excel.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Confiabilidad y validez de instrumentos

Confiabilidad del equipo (celda del difusor térmico)

La celda del difusor térmico se validó con datos de difusividad térmica de solución de sacarosa conocida reportado por TSCHUBIK y MASLOW (Muñoz, 2002) en el Cuadro 06, se observa que existe una diferencia comparativa de 0,210 % a 50 °C, de 0,405 % a 60°C y 0,409% a 70 °C, estos porcentajes de error son menores que el 5%, por lo que se considera validado y confiable el difusor térmico utilizado en el presente trabajo de investigación.

Cuadro 06: Comparación de difusividades térmicas en solución de sacarosa.

Solución de sacarosa	Tratamiento Térmico	Difusividad térmica (m^2s) (TSCHUBIK y MASLOW)	Difusividad térmica (m^2s) (TRABAJO DE INVESTIGACION)	VARIACIÓN	Error %
60 °Brix	50 °C	$1,17*10^{-7}$	$1,16754*10^{-7}$	**99,7897436**	**0,210**
	60 °C	$1,18*10^{-7}$	$1,18478*10^{-7}$	**100,405085**	**0,405**
	70 °C	$1,19*10^{-7}$	$1,19487*10^{-7}$	**100,409244**	**0,409**

FUENTE: Elaboración propia.

García (2009), determino la difusividad térmica de la pulpa del Noni (*morinda citrifolia* L.) en función a la temperatura, utilizó la celda del difusor térmico que consiste en un tubo de acero inoxidable de 1mm de espesor con 3,04 cm de diámetro, Tesis para optar el grado de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Tingo María – Perú. UNAS. Coaricona (2008), en su trabajo de investigación determinó la difusividad térmica del masato en un rango de humedades de

74,36 a 95 %, para ello se diseñó un equipo que consistió en tubo de acero inoxidable de 1mm de espesor con 3,04 cm de diámetro en base a la bibliografía.

El masato presentó valores de difusividad térmica que van de 1,31 x 10-7 m^2/s a 74,36 % de humedad hasta 1,43 x10-7 m^2/s, aumentando con la humedad. Araújo *et al*., (2004), estudiaron las propiedades termofísicas de la pulpa de Cupuacu *(Theobroma grandiflorum)* con diferentes concentraciones de sólidos: integral 12°Brix, 9°Brix y con eliminación parcial de sólidos insolubles (penetrado); determinando en cada muestra las propiedades termofísicas. La difusividad térmica fue determinada con un equipo semejante al utilizado por Dickerson (1965). En el presente trabajo también se utilizó el tubo de acero inoxidable de 1mm de espesor con 3,04 cm de diámetro como difusor térmico. Dentro de este tubo se colocó el DATATRACE que es un sensor de temperatura que es activado mediante una interfaz unida a un computador mediante el programa matriz del DATATRACE.

4.2 Técnicas estadísticas para el procedimiento de la información

El análisis estadístico para el procedimiento de datos se realizó usando el software SPSS Statistics versión 19 para Windows y la hoja de cálculo Excel, media, desviación estándar, cuadros y figuras según los tratamientos. Para la determinación de los modelos matemáticos para cada una de las propiedades termofísicas se empleó la regresión simple, donde la variable independiente fue la temperatura y la variable dependiente las propiedades termofísicas.

4.2.1 Análisis de las características físicas y químicas del fruto y pulpa de Macambo

a. Medidas biométricas del fruto de Macambo

En el Cuadro 07, se detalla el diámetro axial y ecuatorial de 10 frutos de Macambo, el promedio de diámetro axial del fruto de Macambo es de 26,78±1,163 cm, con una máxima de 29 cm y un mínimo de 25,10 cm, presenta en promedio un diámetro ecuatorial de 14,85±0,528 cm, con un máximo de 15,60 cm y un mínimo de 14,30 cm. Carolina y Jaimes (2005), en su estudio “Proceso para la obtención de jugo

derivado del mucilago de cacao", determinó para el cacao la medida del diámetro axial entre 18 cm y 24 cm de longitudinal y un diámetro ecuatorial entre 7cm y 10,5 cm, con un promedio total de 22,5cm y 8,81cm respectivamente, observándose que el Macambo es más grande que el cacao.

Cuadro 07: Diámetro axial y ecuatorial del fruto de Macambo

MUESTRA	DIÁMETRO AXIAL (cm)	DIÁMETRO ECUATORIAL (cm)
1	29,00	15,60
2	26,50	14,60
3	25,10	14,30
4	25,40	15,20
5	27,90	15,30
6	26,90	14,70
7	27,40	14,30
8	25,90	14,30
9	26,90	14,60
10	26,80	15,60
PROMEDIO	**26,78**	**14,85**
Desv. estándar	1,163	0,528
Máximo	29,00	15,60
Mínimo	25,10	14,30

FUENTE: Elaboración propia.

En el Cuadro 08, se muestra el promedio de la composición materia porcentual de 10 frutos, donde la cascara representa un 55,56± 7,09 %, pulpa 28,92±4,85 % y semilla 15,53±4,9 %.

Así mismo Burlan & Bressani (1999), descrito por Gonzáles *et al*., (2010) describen las características físicas del fruto del Macambo con largo del fruto 15,0 cm; peso total 752 g; % peso de pulpa 23,76; % peso de cáscara 62,54; % de peso de semillas 13,70 y número de semillas 38. Las semillas son ovales planas de 16 a 30 mm de largo y de 14 mm a 25 mm de ancho, y de 8 a 13 mm de espesor, cubiertas de un arilo grueso, fibroso, suculento de color.

Cuadro 08: Porcentaje de cascara, pulpa y semillas del fruto de Macambo

MUESTRA	PESOS					PORCENTAJE		
	FRUTO (g)	CÁSCARA (g)	PULPA (g)	SEMILLAS (g)	N° DE SEMILLAS	CÁSCARA (%)	PULPA (%)	SEMILLAS (%)
1	2392,00	1180,00	844,00	368,00	35	49,33	35,28	15,38
2	1688,00	1100,00	415,00	173,00	29	65,17	24,59	10,25
3	2046,00	1018,00	532,00	496,00	30	49,76	26,00	24,24
4	2329,00	1130,00	830,00	369,00	35	48,52	35,64	15,84
5	2338,00	1112,00	775,00	451,00	32	47,56	33,15	19,29
6	2128,00	1090,00	610,00	428,00	33	51,22	28,67	20,11
7	2017,00	1200,00	658,00	159,00	30	59,49	32,62	7,88
8	1906,00	1195,00	469,00	242,00	29	62,70	24,61	12,70
9	1838,00	1192,00	415,00	231,00	27	64,85	22,58	12,57
10	2089,00	1190,00	544,00	355,00	33	56,97	26,04	16,99
PROMEDIO	**2077,10**	**1140,70**	**609,20**	**327,20**	**31,3**	**55,56**	**28,92**	**15,53**
Desv. estándar	**229,94**	**60,82**	**162,98**	**118,67**	**2,71**	**7,09**	**4,85**	**4,90**

FUENTE: Elaboración propia.

b. Análisis físico y químico de la pulpa de Macambo

En el Cuadro 09, se muestran los resultados del análisis físico – químico y proximal de la pulpa de Macambo, en porcentajes en base húmeda, 87,48±0,034% de humedad; 0,76±0,0208% de ceniza; 2,125±0,064% de proteína; 0,79±0,0170 de grasa; 0,53±0,0152% de fibra cruda; 8,32±0,0115% de carbohidratos. Se muestra también resultados de solidos solubles expresados en ºBrix 10,04±1,37 y pH de 3,31±0,066. Gonzales *et al.*, (2010), reporta los componentes nutricionales de frutales nativos, expresados en gramos de componentes en 100 gramos de pulpa; 88 g de agua; 2,1 g de proteína; 0,8 g de lípidos; 8,3 de carbohidratos; 0,7 g de fibra; 0,8 g de ceniza; esta diferencia de componentes con el presente estudio es debido a la muestra, tamaño y estación del año en la cosecha. García *et al.,* (2002) realizó la caracterización química y evaluación de la actividad antioxidante del Macambo, reportando que el valor nutricional de este fruto está considerado con el tenor de lípidos 32,95 %, proteínas 13,30 % y fibras (fibras alimenticias insolubles y solubles FAI-FAS) 9,90 % y 2,30 % respectivamente, complejos muy importantes por que ejercen efectos fisiológicos directos a través del tracto intestinal.

El Tratado de Cooperación Amazónica (1997), reporta la composición química proximal de la pulpa del Macambo por cada 100 g de pulpa: agua 88 g; proteína 2,1 g; lípidos 0,8 g; carbohidratos 8,3 g; fibra 0,7 g; ceniza 0,8 g, estos valores son muy cercanos a nuestros datos reportados.

Cuadro 09: Análisis físico – químico y proximal de la pulpa de Macambo

COMPONENTES	PORCENTAJE (%) B.H.
Humedad	87,48 ± 0,034
Ceniza	0,76 ± 0,0208
Proteína	2,125 ± 0,064
Grasa	0,79 ± 0,0170
Fibra cruda	0,53 ± 0,0152
Carbohidratos	8,32 ± 0,0115
PROPIEDADES QUIMICAS	
Solidos solubles (ºBrix)	10,04 ± 1,37
pH	3,31 ± 0,066
Acidez titulable	2,02 ± 0,345
(g de a.c/100g jugo)	

FUENTE: Elaboración propia.

4.2.2 Determinación de las propiedades termofísicas

a. Determinación de la difusividad térmica de la pulpa de Macambo a diferentes temperaturas

En el Cuadro 10, se muestran los tratamientos a diferentes temperaturas.

Cuadro 10: Tratamientos a diferentes temperaturas

Tto. 1	Tto. 2	Tto. 3	Tto. 4	Tto. 5
50ºC	60ºC	70ºC	80ºC	90ºC

FUENTE: Elaboración propia.

Cálculo de la difusividad térmica de la pulpa de Macambo a 50 °C

En el Cuadro 11, se muestra las variables y constantes para determinar la difusividad térmica de la pulpa de Macambo a 50 °C. Donde el promedio de la pendiente $m = \frac{\propto}{0{,}398 * r^2}$ y de la difusividad térmica es 0,99516797 y 1,731x10^{-7} m^2/s respectivamente.

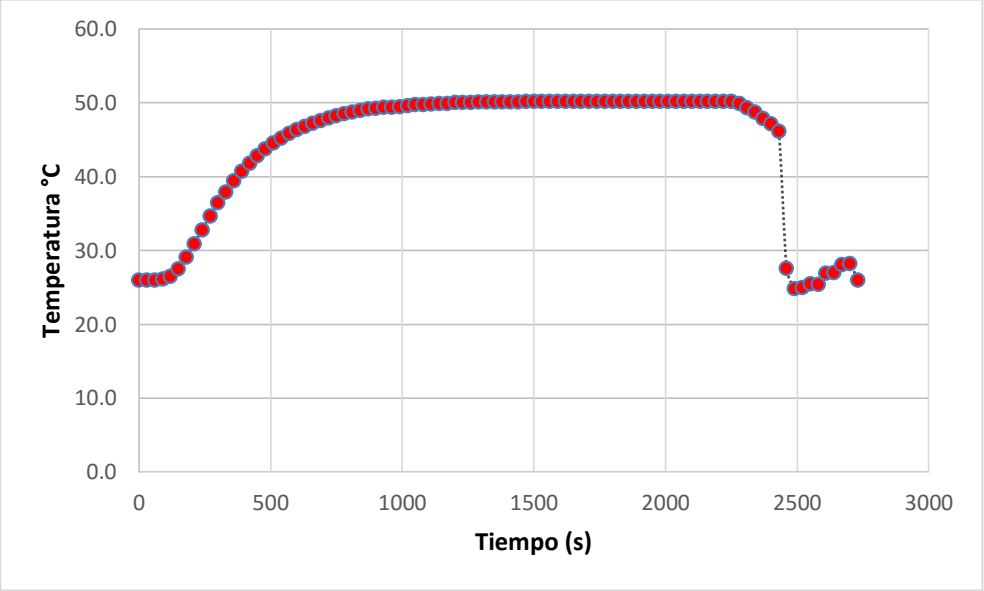
Cuadro 11: Determinación de la difusividad térmica de la pulpa de Macambo a 50 °C.

T °C	Pendiente	Promedio de pendiente	R^2	Difusividad térmica (m^2/s)	Promedio Difusividad térmica (m^2/s)
	0,00181099		0,998	1,6653*10^{-07}	
50±0,3	0,00192370	**0,0018825**	0,997	1,7689*10^{-07}	**1,731*10^{-07}**
	0,00191284		0,990	1,7589*10^{-07}	

FUENTE: Elaboración propia.

En el Figura 02, se presenta el comportamiento de penetración de calor en pulpa de Macambo a 50±0,3 °C, observándose que a los 1110 s (18,5 minutos) se obtuvo una temperatura de 49,9 °C mientras que a 1200 s (20 minutos) alcanzó una temperatura de 50,1 °C.

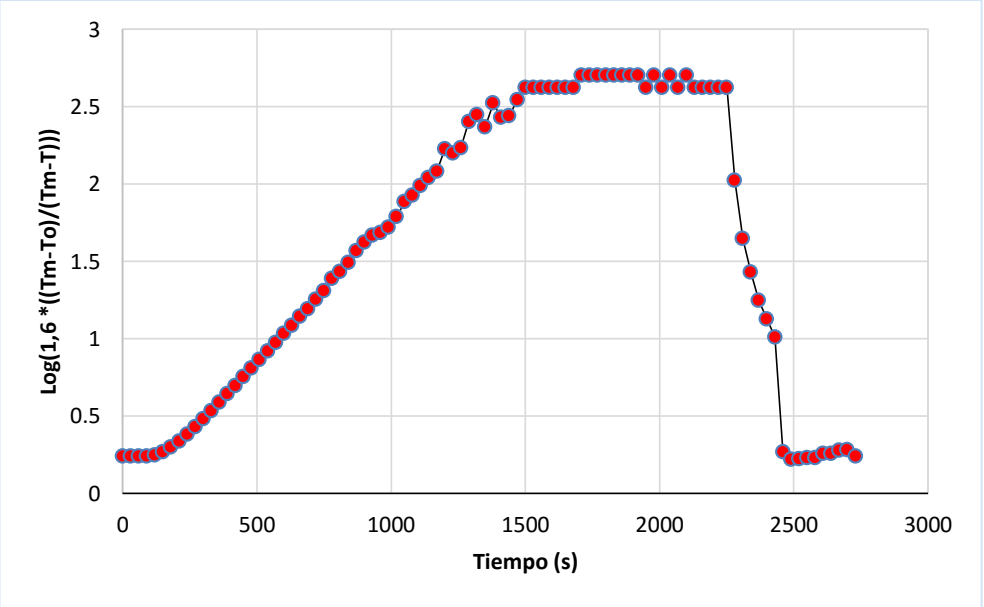
Figura 02: Curva de penetración de calor a 50 °C.



FUENTE: Elaboración propia.

En la Figura 03, se aprecia que el máximo valor de $\log(1{,}6 * \frac{T_m - T_o}{T_m - T})$ es de 2,7 a un tiempo de 1710 s (28,5 minutos).

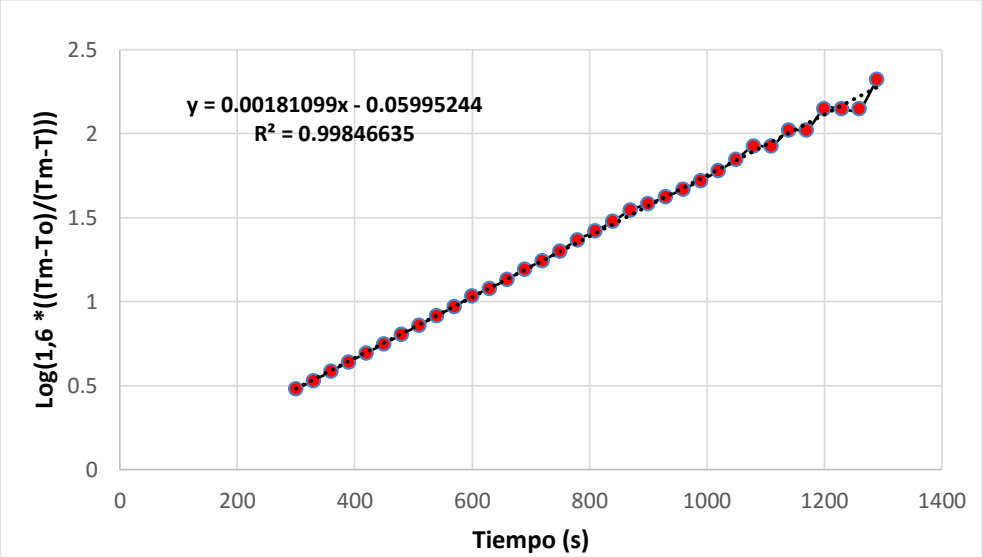
Figura 03: Representación semilogarítmica en función al tiempo t a 50 °C.



FUENTE: Elaboración propia.

En la Figura 04, se muestra el análisis de regresión lineal donde la pendiente de linealización $m = \frac{\propto}{0{,}398 * r^2}$ es de 0,00181099 con un R^2 igual a 0,99846635.

Figura 04: Pendiente de la recta de calentamiento a 50 °C.



FUENTE: Elaboración propia.

Cálculo de la difusividad térmica de la pulpa de Macambo a 60 °C

En el Cuadro 12, se muestra las variables y constantes para determinar la difusividad térmica de la pulpa de Macambo a 60 °C. Donde el promedio de la pendiente $m = \frac{\propto}{0{,}398 * r^2}$ y de la difusividad térmica es 0,00190860 y 1,755x10^{-7} m^2/s respectivamente, mostrándose el R^2 (cuadrado del coeficiente del momento de correlación del producto de Pearson), de 0,994; 0,993 y 0,997 respectivamente para las tres repeticiones.

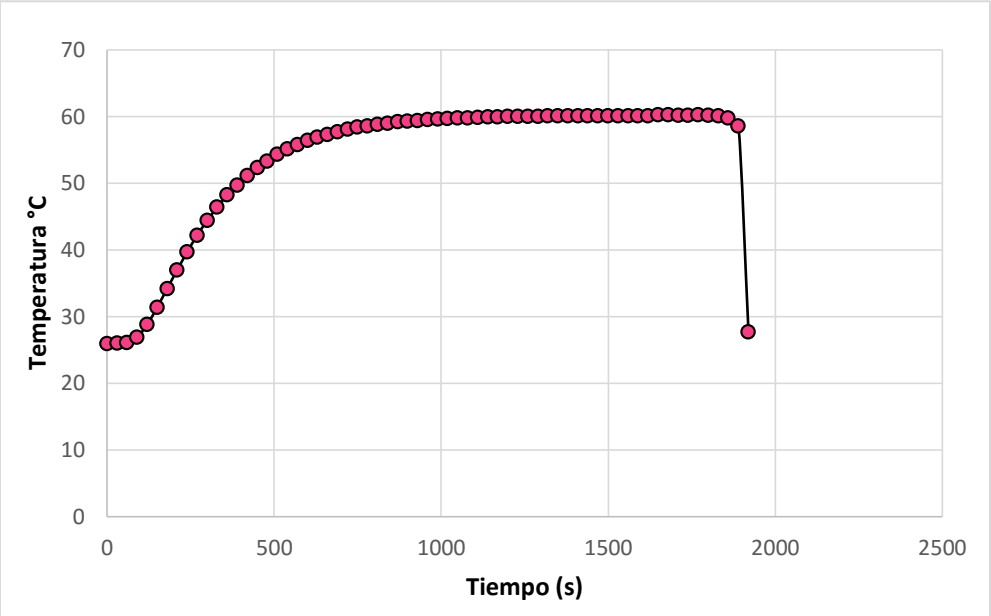
Cuadro 12: Determinación de la difusividad térmica de la pulpa de Macambo a 60 °C

T °C	Pendiente	Promedio de pendiente	R^2	Difusividad térmica (m^2/s)	Promedio Difusividad térmica (m^2/s)
	0,00186260		0,994	$1,7127*10^{-07}$	
60±0,3	0,00189704	**0,00190860**	0,993	$1,7444*10^{-07}$	**$1,755*10^{-07}$**
	0,00196614		0,997	$1,8079*10^{-07}$	

FUENTE: Elaboración propia.

En el Figura 05, se presenta el comportamiento de penetración de calor en pulpa de Macambo a 60±0,3 °C, observándose que a los 1140 s (19 minutos alcanza una temperatura de 59,9 °C mientras que a 1200 s (20 minutos) se obtuvo una temperatura de 60 °C.

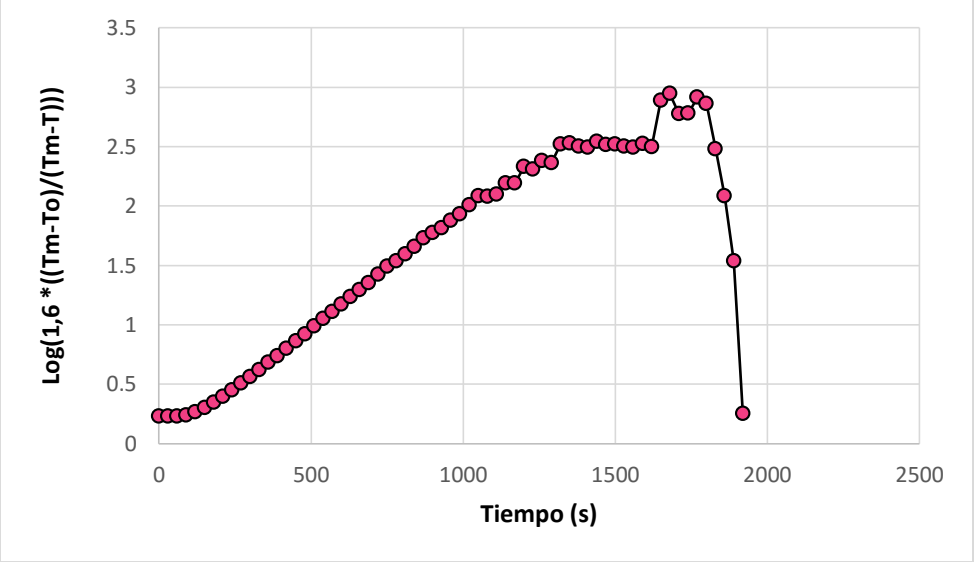
Figura 05: Curva de penetración de calor a 60 °C.



FUENTE: Elaboración propia.

En la Figura 06, se aprecia que el máximo valor de $\log(1{,}6 * \frac{T_m - T_o}{T_m - T})$ es de 2,9 a 1680 s (28 minutos).

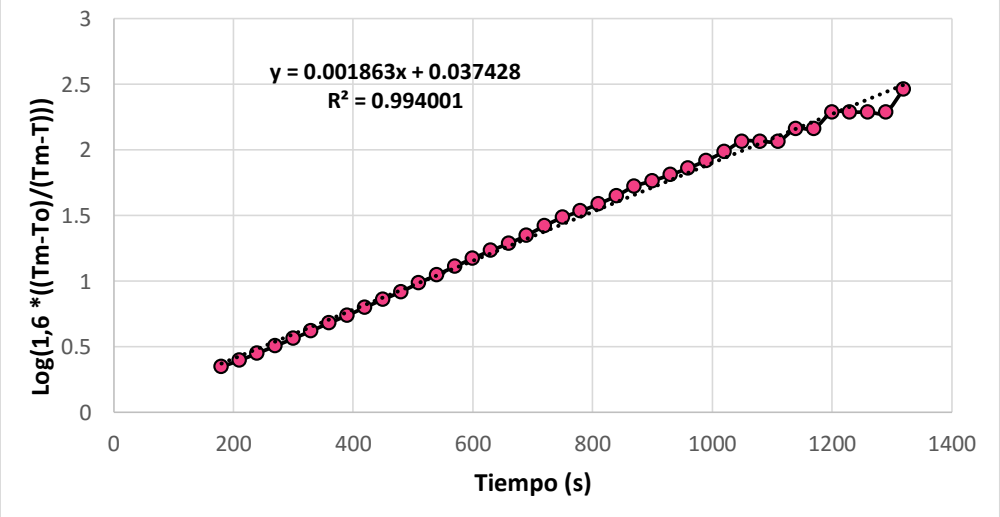
Figura 06: Representación semilogarítmica en función al tiempo t a 60 °C.



FUENTE: Elaboración propia.

En la figura 07, se muestra el análisis de regresión lineal donde la pendiente de linealización $m = \frac{\propto}{0{,}398 * r^2}$ es de 0,001863 con un R^2 igual a 0,994001.

Figura 07: Pendiente de la recta de calentamiento a 60 °C.



FUENTE: Elaboración propia.

Cálculo de la difusividad térmica de la pulpa de Macambo a 70 °C

En el Cuadro 13, se muestra las variables y constantes para determinar la difusividad térmica de la pulpa de Macambo a 70±0,3 °C. Donde el promedio de la pendiente $m = \frac{\propto}{0{,}398 * r^2}$ y de la difusividad térmica es 0,002257 y 2,0756x10^{-7} m^2/s respectivamente, mostrándose el R^2 (cuadrado del coeficiente del momento de correlación del producto de Pearson), de 0,999; 0,983 y 0,996 respectivamente para las tres repeticiones.

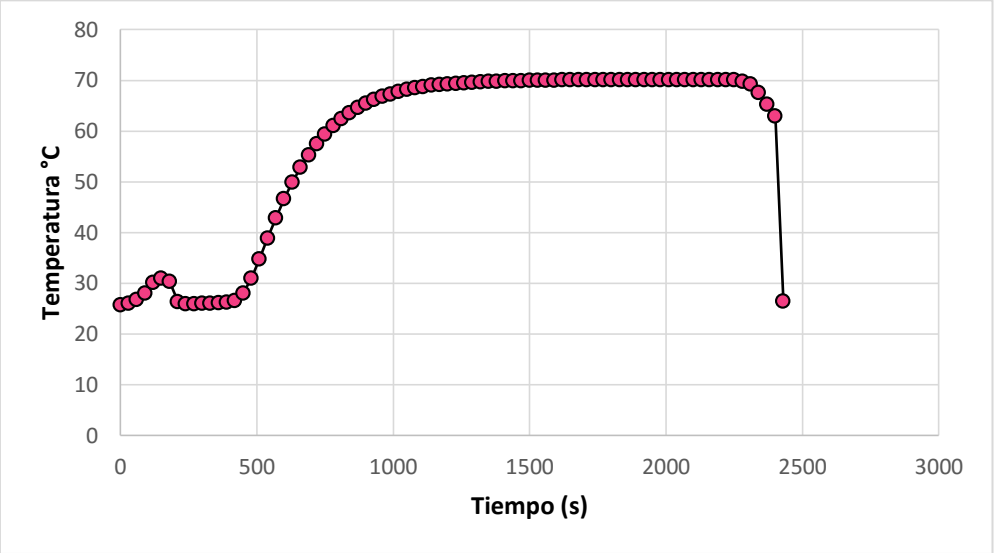
Cuadro 13: Determinación de la difusividad térmica de la pulpa de Macambo a 70 °C.

T °C	Pendiente	Promedio de pendiente	R^2	Difusividad térmica (m^2/s)	Promedio Difusividad térmica (m^2/s)
	0,00230627		0,999	2,1207*10^{-7}	
70±0,3	0,00226994	**0,002257**	0,983	2,0873*10^{-7}	**2,0756*10^{-7}**
	0,00219544		0,996	2,0188*10^{-7}	

FUENTE: Elaboración propia.

En el Figura 08, se presenta el comportamiento de penetración de calor en pulpa de Macambo a 70±0,3 °C, observándose que a los 1410 s (23.5 minutos) alcanza una temperatura de 69,9 °C, mientras que a 1500 s (25 minutos) se obtuvo una temperatura de 70 °C.

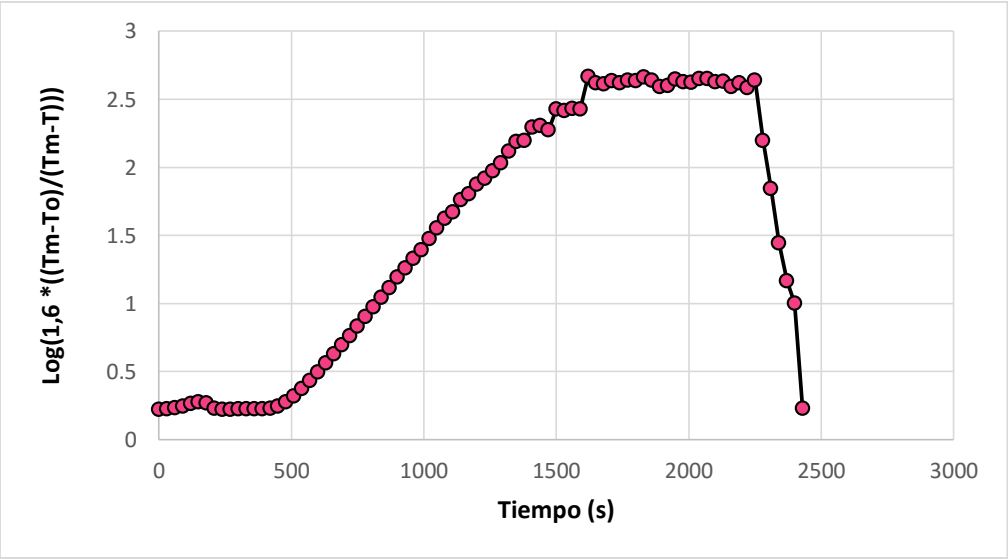
Figura 08: Curva de penetración de calor a 70 °C.



FUENTE: Elaboración propia.

En la Figura 09, se aprecia que el máximo valor de $\log(1{,}6 * \frac{T_m - T_o}{T_m - T})$ es de 2,6 a un tiempo de 1620 s (27 minutos).

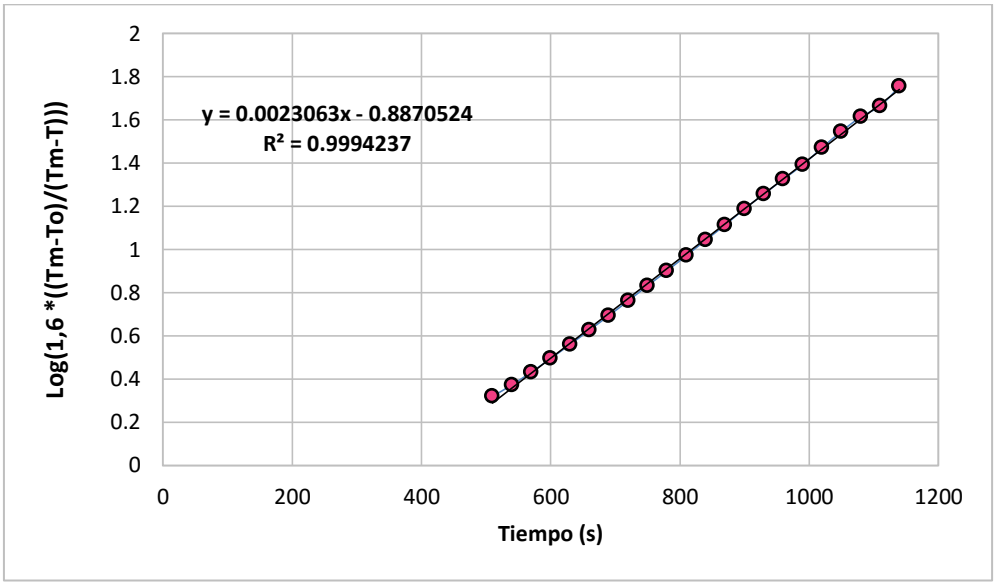
Figura 09: Representación semilogarítmica en función al tiempo t a 70 °C.



FUENTE: Elaboración propia.

En la Figura 10, se muestra el análisis de regresión lineal donde la pendiente de linealización $m = \frac{\propto}{0{,}398 * r^2}$ es de 0,0023063 con un R^2 igual a 0,99942.

Figura 10: Pendiente de la recta de calentamiento a 70 °C.



FUENTE: Elaboración propia.

Cálculo de la difusividad térmica de la pulpa de Macambo a 80 °C

En el Cuadro 13, se muestra las variables y constantes para determinar la difusividad térmica de la pulpa de Macambo a 80±0,3 °C. Donde el promedio de la pendiente $m = \frac{\propto}{0{,}398 * r^2}$ y de la difusividad térmica es 0,0023074 y 2,1217 x 10^{-7} m^2/s, mostrándose el R^2 (cuadrado del coeficiente del momento de correlación del producto de Pearson), de 0,981340; 0,998206 y 0,996596 respectivamente para las tres repeticiones.

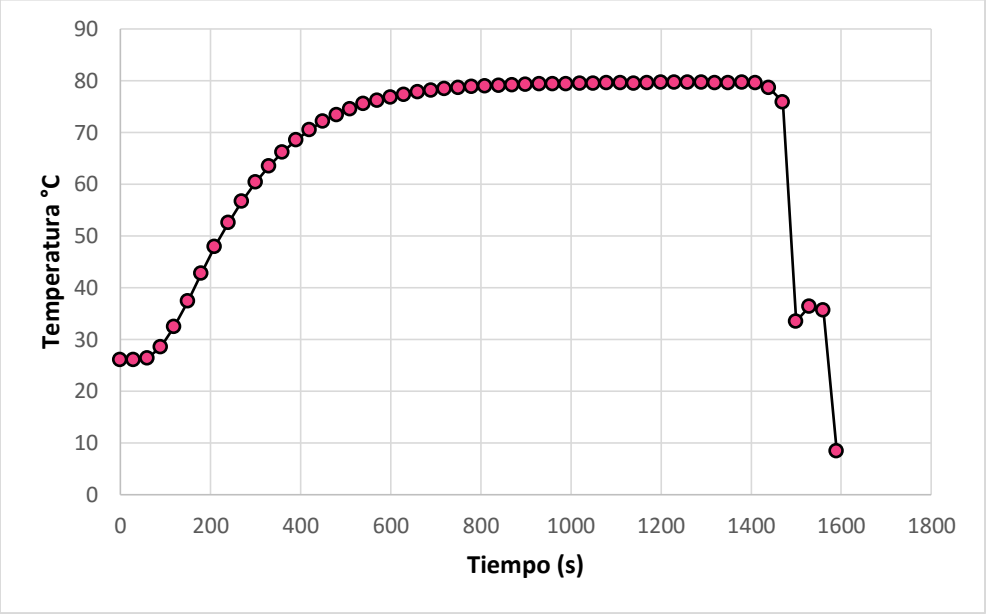
Cuadro 14: Determinación de la difusividad de la pulpa de Macambo a 80 °C.

T °C	Pendiente	Promedio de pendiente	R^2	Difusividad térmica (m^2/s)	Promedio Difusividad térmica (m^2/s)
80±0,3	0,00211721	**0,0023074**	0,981	$1,9468*10^{-07}$	**$2,121*10^{-07}$**
	0,00243023		0,998	$2,2347*10^{-07}$	
	0,00237472		0,996	$2,1836*10^{-07}$	

FUENTE: Elaboración propia.

En el Figura 11, se presenta el comportamiento de penetración de calor en pulpa de Macambo a 80±0,3 °C, observándose que a los 840 s (14 minutos) alcanza una temperatura de 79 °C mientras que a 990 s (16,5 minutos) se obtuvo una temperatura de 80 °C,

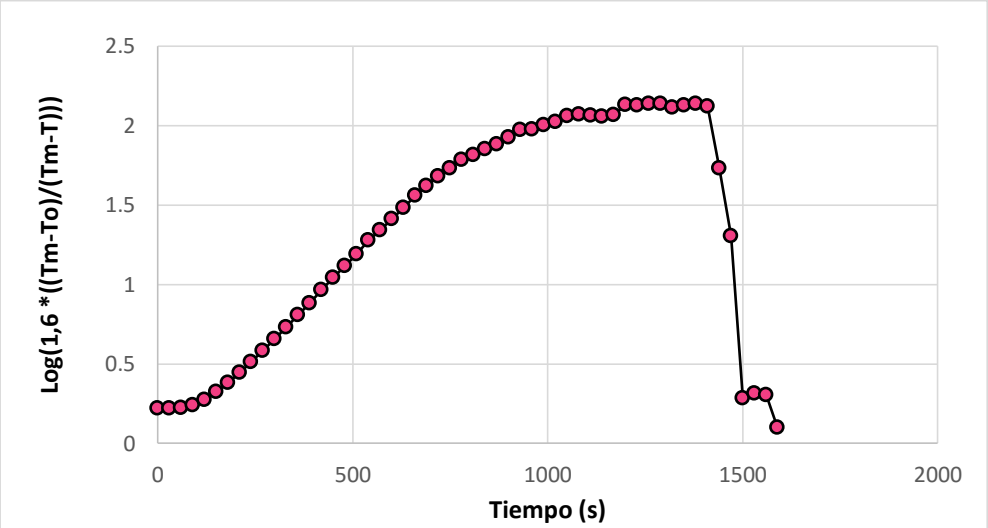
Figura 11: Curva de penetración de calor a 80 °C.



FUENTE: Elaboración propia.

En la Figura 12, se aprecia que el máximo valor de $\log(1{,}6 * \frac{T_m - T_o}{T_m - T})$ es de 2,1 a un tiempo de 1200 s (20 minutos).

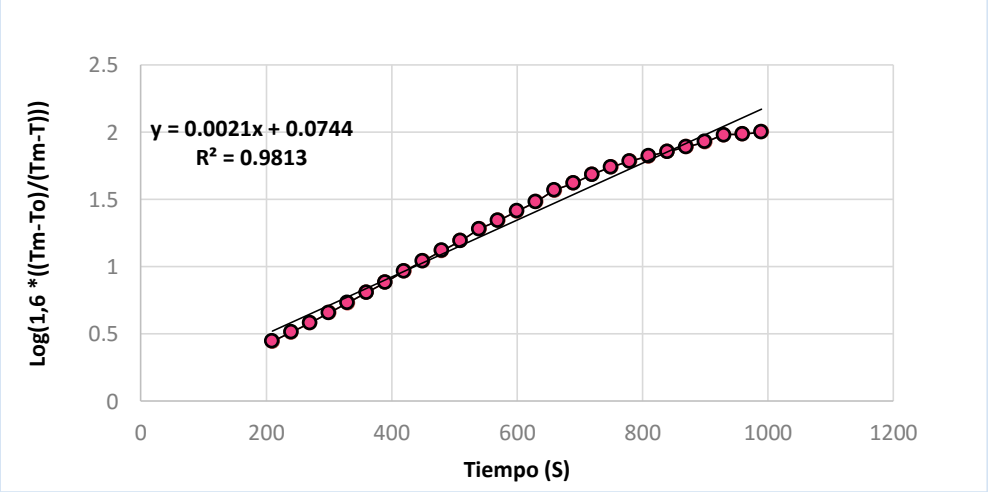
Figura 12: Representación semilogarítmica en función al tiempo t a 80 °C.



FUENTE: Elaboración propia.

En la Figura 13, se muestra el análisis de regresión lineal donde la pendiente de linealización $m = \frac{\propto}{0{,}398 * r^2}$ es de 0,0021172 con un R^2 igual a 0,981340.

Figura 13: Pendiente de la recta de calentamiento a 80 °C.



FUENTE: Elaboración propia.

Cálculo de la difusividad térmica de la pulpa de Macambo a 90 °C

En el Cuadro 15, se muestra las variables y constantes para determinar la difusividad térmica de la pulpa de Macambo a 90 °C. Donde el promedio de la pendiente $m = \frac{\propto}{0{,}398 * r^2}$ y de la difusividad térmica es 0,0037689 y 3,4657x10^{-7} m^2/s, mostrándose el R^2 (cuadrado del coeficiente del momento de correlación del producto de Pearson), de 0,993; 0,990 y 0,994 respectivamente para las tres repeticiones.

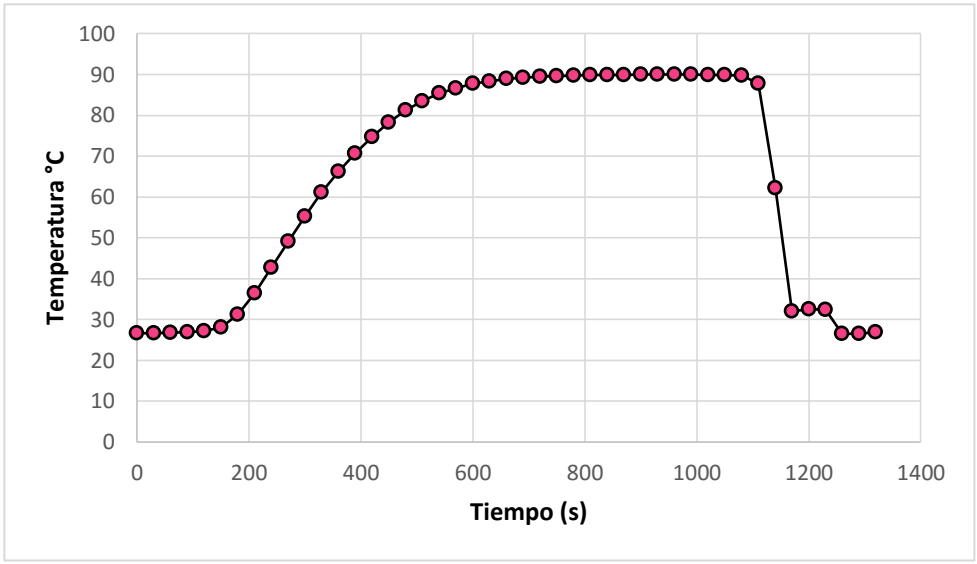
Cuadro 15: Determinación de la difusividad de la pulpa de Macambo a 90 °C.

T °C	Pendiente	Promedio de pendiente	R^2	Difusividad térmica (m^2/s)	Promedio Difusividad térmica (m^2/s)
	0,00376650		0,993	3,4634*10-^{07}	
90±0,3	0,00375135	**0,0037689**	0,990	3,4495*10-^{07}	**3,4657*10-^{07}**
	0,00378894		0,994	3,4841*10-^{07}	

FUENTE: Elaboración propia.

En el Figura 14, se presenta el comportamiento de penetración de calor en pulpa de Macambo a 90 °C, observándose que a los 840 s (14 minutos) alcanza una temperatura de 89,9 °C mientras que a 900 s (15 minutos) se obtuvo una temperatura de 90 °C.

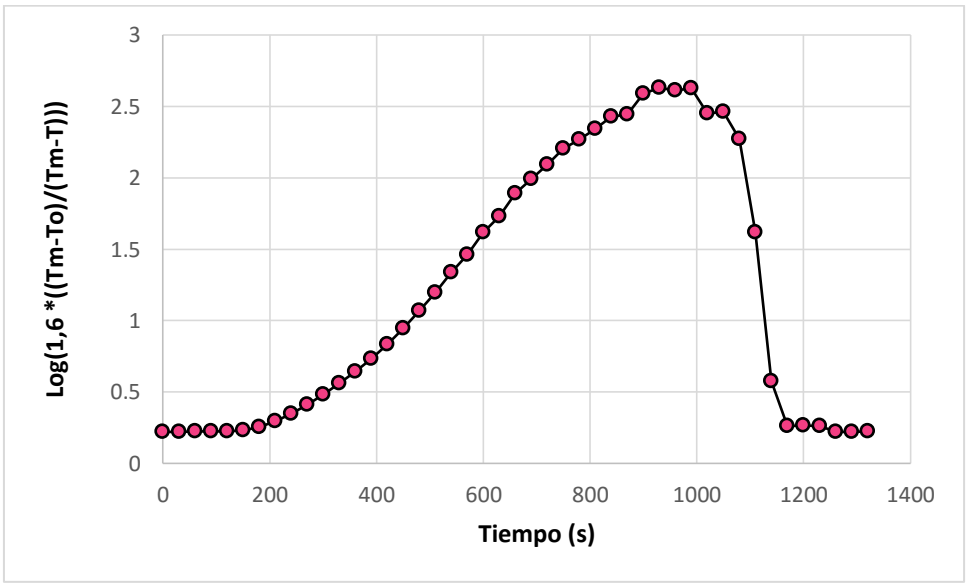
Figura 14. Curva de penetración de calor a 90 °C.



FUENTE: Elaboración propia

En la Figura 15, se aprecia que el máximo valor de $\log(1{,}6 * \frac{T_m - T_o}{T_m - T})$ es 2,6 a un tiempo de 930 s (15,5 minutos).

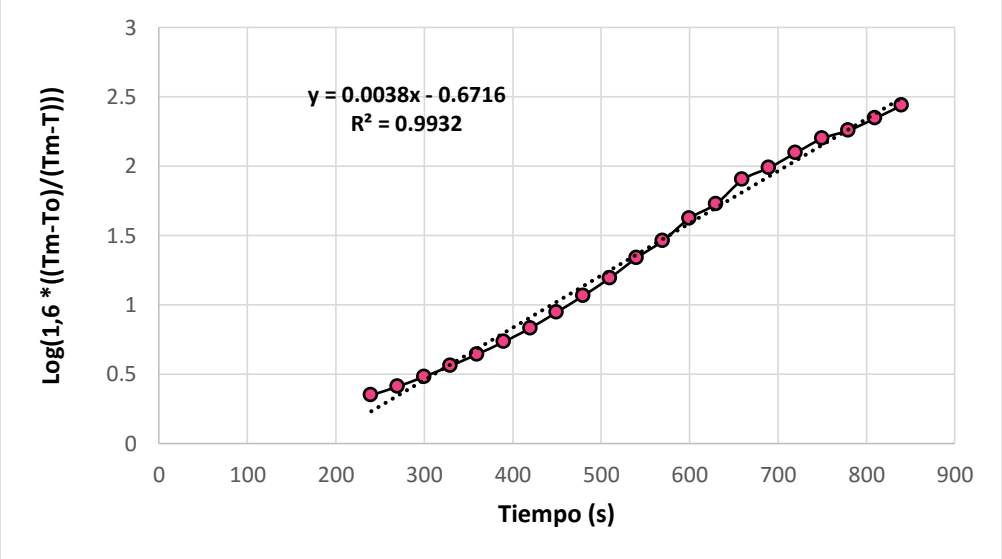
Figura 15: Representación semilogarítmica en función al tiempo t a 90 °C.



FUENTE: Elaboración propia.

En la figura 16, se muestra el análisis de regresión lineal donde la pendiente de linealización $m = \frac{\propto}{0{,}398 * r^2}$ es de 0,00376650 con un R^2 igual a 0,993172.

Figura 16: Pendiente de la recta de calentamiento a 90 °C.



FUENTE: Elaboración propia.

En el Cuadro 16, se muestran los tratamientos realizados en el presente trabajo de investigación a 50±0,3 °C, 60±0,3 °C, 70±0,3 °C, 80±0,3 °C, y 90±0,3 °C; la pendiente $m = \frac{\propto}{0{,}398 * r^2}$ para las temperaturas son: para 50±0,3 °C es 0,00188251; para la temperatura de 60±0,3 °C es 0,00190860; para la temperatura de 70±0,3 °C es 0,00225722; para la temperatura de 80±0,3 °C es 0,0023074 y para la temperatura de 90±0,3 °C es 0,0037689, correspondiendo la difusividad térmica promedio de $1{,}73104 \times 10^{-07}$ m^2/s para la temperatura de 50±0,3 °C; $1{,}75503 \times 10^{-07}$ m^2/s para la temperatura de 60±0,3 °C; $2{,}07560 \times 10^{-07}$ m^2/s para la temperatura de 70±0,3 °C; $2{,}12173 \times 10^{-07}$ m^2/s para la temperatura de 80±0,3 °C y $3{,}46578 \times 10^{-07}$ m^2/s para la temperatura de 90±0,3 °C.

Cuadro 16: Promedio de las difusividades térmicas a 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C, y 90 °C.

Tratamiento	Temperatura ˚C	Pendiente	Promedio de pendiente	R^2	Difusividad térmica (m^2/s)	Promedio Difusividad térmica (m^2/s)
		0,00181099		0,99846635	$1,6653*10^{-07}$	
T1	**50±0,3**	0,00192370	**0,00188251**	0,99702970	$1,7689*10^{-07}$	**$1,73104*10^{-07}$**
		0,00191284		0,99001000	$1,7589*10^{-07}$	
		0,00186260		0,99400090	$1,7127*10^{-07}$	
T2	**60±0,3**	0,00189704	**0,00190860**	0,99301403	$1,7444*10^{-07}$	**$1,75503*10^{-07}$**
		0,00196614		0,99747645	$1,8079*10^{-07}$	
		0,00230627		0,99942371	$2,1207*10^{-07}$	
T3	**70±0,3**	0,00226994	**0,00225722**	0,98285934	$2,0873*10^{-07}$	**$2,07560*10^{-07}$**
		0,00219544		0,99615427	$2,0188*10^{-07}$	
		0,00211721		0,9813398	$1,9469*10^{-07}$	
T4	**80±0,3**	0,00243023	**0,0023074**	0,9982064	$2,2347*10^{-07}$	**$2,12173*10^{-07}$**
		0,00237472		0,9965960	$2,1836*10^{-07}$	
		0,00376650		0,99317268	$3,4634*10^{-07}$	
T5	**90±0,3**	0,00375135	**0,0037689**	0,99031906	$3,4495*10^{-07}$	**$3,46578*10^{-07}$**
		0,00378894		0,99468036	$3,4841*10^{-07}$	

FUENTE: Elaboración propia.

En el Cuadro 16 se muestran los valores de la difusividad térmica para la pulpa de Macambo con un valor mínimo de 1,73104x10^{-07} m^2/s a una temperatura de 60 °C y con un valor máximo de 3,46578x10^{-07} m^2/s a una temperatura de 90 °C, se entiende que a medida que se incrementa la temperatura se incrementa la difusividad térmica. Muñoz (2002), menciona que la pasta de murta (*Ugni molinae* Turcz), 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. Garea *et al.,* (1991), menciona que la pulpa del meollo de la caña de azúcar tiene 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 (*Smallanthus sonchifolius)* 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), Garea *et al.,* (1991), como Jara (2010) demostraron que las difusividades aumentan a medida que se incrementa la temperatura de las muestras.

Según Drusas y Saravacos (1985), en pastas de tomate, donde a 35 ºBrix 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 (Jiménez y Kasahara, 1991), ambas investigaciones fueron realizadas con metodologías que involucran la transferencia de calor en estado no estacionario. Citado por (Muñoz, 2002).

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, Citado por Muñoz, 2002).

Varios investigadores han desarrollado técnicas para determinar las propiedades termofísicas de los alimentos, Dickerson (1965) desarrolló una técnica que utiliza un tubo cilíndrico.

García (2009) determino 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.

b. Determinación del Calor específico de la pulpa de Macambo a diferentes temperaturas

En el Cuadro 17, se muestran los valores de la constante C para el calorímetro: 0,0548 (kJ/K) para la temperatura de 50 ˚C; 0,0603 (kJ/K) para la temperatura de 60 °C; 0,0735 (kJ/K) para la temperatura de 70 °C; 0,0818 (kJ/K) para la temperatura de 80 °C y 0,0866 (kJ/K) para la temperatura de 90 ˚C; observándose que a medida que se incrementa la temperatura se incrementa los valores de C.

Cuadro 17: Coeficiente C del calorímetro para determinar el calor especifico de la pulpa de Macambo a temperaturas de 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C, y 90 °C.

REP.		50 °C		60 °C		70 °C		80 °C		90 °C	
		Tto.1	C (kJ/K)	Tto.2	C (kJ/K)	Tto.3	C (kJ/K)	Tto.4	C (kJ/K)	Tto.5	C (kJ/K)
	M1 (kg)	0,0251		0,0250		0,0251		0,0250		0,0251	
	M2 (Kg)	0,0250		0,0251		0,0251		0,0251		0,0251	
1	**T1 (K)**	302,0500	**0,0538**	301,7500	**0,0608**	301,5500	**0,0736**	302,0500	**0,0772**	301,8500	**0,0777**
	T2 (K)	323,4500		333,4500		343,8500		353,2500		363,2500	
	T3 (K)	310,5500		314,0500		317,2500		320,8500		324,3200	
	M1 (kg)	0,0251		0,0251		0,0251		0,0251		0,0252	
	M2 (Kg)	0,0251		0,0252		0,0251		0,0252		0,0251	
2	**T1 (K)**	302,1500	**0,0545**	301,7500	**0,0616**	301,0500	**0,0718**	302,4500	**0,0843**	302,2500	**0,0962**
	T2 (K)	323,5500		333,4500		343,9500		353,2500		363,2500	
	T3 (K)	310,6500		314,0500		317,0500		320,6500		323,2500	
	M1 (kg)	0,0252		0,0251		0,0252		0,0250		0,0250	
	M2 (Kg)	0,0251		0,0251		0,0251		0,0251		0,0251	
3	**T1 (K)**	302,2500	**0,0560**	301,4500	**0,0584**	301,3500	**0,0751**	302,3500	**0,0840**	302,2500	**0,0859**
	T2 (K)	323,5500		333,3500		343,9500		353,2500		363,2500	
	T3 (K)	310,6500		313,9500		317,0400		320,5900		323,9770	
	Promedio		**0,0548**		**0,0603**		**0,0735**		**0,0818**		**0,0866**
	Variancia		0,0000		0,0000		0,0000		0,0000		0,0001
	Desviación estándar		0,0011		0,0017		0,0016		0,0040		0,0093

FUENTE: Elaboración propia.

En el cuadro 18, se muestran los valores de los calores específicos para cada tratamiento. Moraga (2008), en el estudio Determinación del Calor Específico de Murta (*Ugni molinae* Turcz*)* y Arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) en un Rango de Temperatura entre 20 °C y 80 °C por el Método de la Calorimetría Diferencial de Barrido, determino finalmente el calor específico en función de la temperatura en un rango de temperaturas entre 20 °C < T < 80 °C el cual puede ser calculado con una ecuación cuadrática $Cp = 3,4632 + 5,6698 \times 10^{-3} \times T + 1,8333 \times 10^{-5} \times T^2$ para el ecotipo de murta 19-1 y $Cp = 3,5299 + 4,6984 \times 10^{-3} \times T + 1,9682 \times 10^{-5} \times T^2$ para el ecotipo de murta 27-1. Dado que el calor específico de los ecotipos fluctúa con respecto al contenido de humedad, se calculó para el rango de temperatura analizado un valor promedio del calor específico de 3,798 ± 0,133 kJ/kg K para el ecotipo 19-1 con un contenido de humedad del 76,24 % y el valor promedio de 3,820 ± 0,118 kJ/kg K para el ecotipo 27-1 con un contenido de humedad del 76,65 %.

Cuadro 18: Calor especifico de la pulpa de Macambo a temperaturas de: 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C, y 90 °C.

REP.		50 °C		60 °C		70 °C		80 °C		90 °C	
		Tto.1	Cp (kJ/kg.K)	Tto.2	Cp (kJ/kg.K)	Tto.3	Cp (kJ/kg.K)	Tto.4	Cp (kJ/kg.K)	Tto.5	Cp (kJ/kg.K)
	M1 (kg)	0,02507		0,0251		0,0251		0,0250		0,0250	
	M2 (Kg)	0,02518		0,0254		0,0251		0,0250		0,0250	
1	T1 (K)	302,17000	**3,62318**	302,2500	**3,8870**	302,3500	**4,2209**	302,1700	**4,5370**	302,2500	**6,2626**
	T2 (K)	323,75000		333,8500		343,9500		353,3500		353,1600	
	T3 (K)	310,05000		314,0500		317,8500		321,8500		325,7900	
	M1 (kg)	0,02505		0,0251		0,0251		0,0250		0,0250	
	M2 (Kg)	0,02531		0,0253		0,0254		0,0253		0,0254	
2	T1 (K)	302,25000	**3,34451**	302,3500	**3,7457**	302,4500	**4,1279**	302,3500	**4,6571**	302,4500	**4,9521**
	T2 (K)	323,85000		334,0500		344,0500		353,2500		363,3500	
	T3 (K)	309,75000		313,8500		317,9500		321,9000		325,9100	
	M1 (kg)	0,02510		0,0252		0,0251		0,0250		0,0250	
	M2 (Kg)	0,02506		0,0253		0,0258		0,0251		0,0250	
3	T1 (K)	302,25000	**3,60275**	302,3500	**3,8075**	302,2500	**4,2692**	302,3500	**4,7071**	302,1900	**4,8845**
	T2 (K)	323,95000		333,6500		343,8500		353,5500		363,2500	
	T3 (K)	310,05000		313,9500		318,0500		322,0500		326,0700	
	Promedio Cp		**3,5235**		**3,8134**		**4,2060**		**4,6337**		**5,3664**
	Variancia		0,0241		0,0050		0,0052		0,0076		0,6035
	Desviación estándar		0,1553		0,0709		0,0718		0,0874		0,7769

FUENTE: Elaboración propia.

c. Determinación de la densidad de la pulpa de Macambo a diferentes temperaturas.

En el Cuadro 19 se muestran los resultados de las densidades de la pulpa de Macambo a diferentes temperaturas, a 50 °C; 1,0669 g/mL, a 60 °C; 1,0614 g/mL, a 70 °C; 1,0511 g/mL, a 80 °C; 1,04225 g/mL y a 90 °C; 1,03128 g/mL; observándose que a medida que se incrementa la temperatura en la muestra disminuye la densidad.

Alvarado (1998), en su estudio: Determinación de la madurez de frutas por medida de la densidad relativa del jugo, realizó pruebas con jugos de 15 frutas a diferentes temperaturas: para la papaya *(carica papaya)* a 10 °C de 1,047 g/ml; a 15 °C de 1,046 g/ml, a 20 °C de 1,044 g/ml; a 25 °C de 1,043 g/ml; a 30 °C de 1,041 g/ml; a 35 °C de 1, 40 g/ml y a 40 °C de 1,038 g/ml. Determino una ecuación de regresión múltiple que relaciona la densidad relativa con el contenido de solidos solubles y con la temperatura. Se presentan los datos y la ecuación permite calcular el contenido de azúcar cuando la determinación de la densidad relativa se realiza a diferentes temperaturas: D=1,00+0,00415*B-0,0006*T, donde B es la Concentración y T la temperatura.

Cuadro 19: Promedio de las densidades de la pulpa de Macambo a temperaturas de: 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C, y 90 °C.

	Tratamiento 1			Tratamiento 2			Tratamiento 3			Tratamiento 4			Tratamiento 5		
	50 °C			60 °C			70 °C			80 °C			90 °C		
m(p)	36,083	36,083	36,083	36,083	36,083	36,083	36,083	36,083	36,083	36,083	36,083	36,083	36,083	36,083	36,083
m(p+w)	60,106	60,105	60,106	60,105	60,104	60,103	60,106	60,104	60,104	60,105	60,103	60,102	60,105	60,104	60,105
m(p+d)	62,025	62,024	62,023	62,005	62,003	62,002	61,915	61,905	61,908	61,86	61,85	61,84	61,755	61,75	61,754
d(agua)	0,988	0,988	0,988	0,9836	0,9836	0,9836	0,9776	0,9776	0,9776	0,9716	0,9716	0,9716	0,9651	0,9651	0,9651
d(muestra)	1,0669	1,0669	1,0669	1,0614	1,0614	1,0614	1,0513	1,0509	1,0511	1,0426	1,0423	1,0419	1,0313	1,0312	1,0313
Densidad Promedio (g/mL)	**1,0669**			**1,0614**			**1,0510**			**1,04225**			**1,03128**		
Desviación Estándar	**$4,84659*10^{-05}$**			**$2,08994*10^{-05}$**			**0,000161197**			**0,000339634**			**$8,209032*10^{-05}$**		

FUENTE: Elaboración propia.

d. Cálculo de la conductividad térmica de la pulpa de Macambo a diferentes temperaturas.

En el Cuadro 20, se muestran los valores de la conductividad térmica a diferentes temperaturas en función a la difusividad térmica, calor específico y la densidad de la pulpa de Macambo, a 50 °C se obtiene 0,65073 W/m K, a 60 °C se obtiene 0,710355897 W/m K, a 70 °C se obtiene 0,917607525 W/m K, a 80 °C se obtiene 1,1002069 W/m K y a 90 °C se obtiene 2,111220952 W/m K, se observa que a medida que se incrementa la temperatura se incrementa la conductividad térmica.

Cuadro 20: Determinación de la conductividad térmica a diferentes temperaturas.

T (°C)	Difusividad térmica m^2/s	Calor especifico Cp (kJ/kg.K)	Densidad g/mL	Conductividad térmica W/m.K
50	$1,7310*10^{-07}$	3,5235	1,0669	**0,650731208**
60	$1,7550*10^{-07}$	3,8134	1,0614	**0,710335756**
70	$2,0756*10^{-07}$	4,206	1,0510	**0,917553397**
80	$2,1217*10^{-07}$	4,6337	1,0423	**1,024689009**
90	$3,4657*10^{-07}$	5,3664	1,03128	**1,918123947**

FUENTE: Elaboración propia.

4.2.3 Comparación de las propiedades termofísicas

Domeneghini *et al*., (2011) en su estudio; Determinación de las propiedades termofísicas de la pulpa de Acerola, halló el calor especifico, difusividad térmica y conductividad térmica con un contenido de humedad de 82%, y un pH de 3,18; caso similar a la pulpa de Macambo, reportaron aproximadamente a 313 K de 4172,49 J kg^{-1} K^{-1}, 1,53 x 10^{-7} m^2/s y 0,65 Wm^{-1} K^{-1}, respectivamente, valores cercanos a nuestro estudio.

Arrázola *et al*., (2014), en su estudio Composición, Análisis Termofísico y Sensorial de Frutos Colombianos. Parte 2: Acerola (*Malpighia emarginata* L.), al comparar los valores obtenidos de la ecuación de Choi y Okos (1985) para la difusividad y conductividad térmica, el calor especifico y la densidad de acerolas frescas: 1,4697x10^{-7} m^2s^{-1}; 0,5979 $Wm^{-1}C^{-1}$; 3,9685 $kJkg^{-1}°C^{-1}$ y 1086,6077 kgm^{-3} con la herramienta DEPROTER elaborado por Alvis *et al.,* (2012) cuyos valores fueron 1,4728x10^{-7} m^2s^{-1}, 0,6063 $Wm^{-1}C^{-1}$, 3,9676 $kJkg^{-1}°C^{-1}$ y 1084,6754 kgm^{-3} respectivamente, no se observaron diferencias significativas con nuestro trabajo de investigación. Estos valores son similares con los obtenidos por otros autores en frutos frescos como los reportados por Alvarado (1989) quien obtuvo resultados en el calor específico y conductividad térmica para fresa, melón y tomate muy cercanos a los obtenidos en esta investigación, de 3,82; 3,76 y 3,93 kJ $kg^{-1}°C^{-1}$. Para conductividad y difusividad térmica Alvarado (1994) encontró valores muy cercanos a los reportados en este trabajo para fresa, melón y tomate con valores de 0,52 W $m^{-1}°C^{-1}$ y 1,47 x 10^{-7} m^2s^{-1}; 0,57 $Wm^{-1}°C^{-1}$ y 1,59 x10^{-7} m^2 s^{-1}; 0,55 W m^{-1} $°C^{-1}$ y 1,50 x 10^{-7} m^2 s^{-1}. Para aguacate y ciruela, Alvarado (1994) encontró valores más bajos a los encontrados en esta investigación con valores en conductividad y difusividad térmica 0,39 W m^{-1} $°C^{-1}$ y 1,16x10^{-7} m^2 s^{-1} y para ciruela 0,54 W m^{-1} $°C^{-1}$ y 1,49 x 10^{-7} m^2 s^{-1}. Biju y Carson (2008) midieron la difusividad en cacahuete (*Castanea sativa*) a 30 °C la cual fue de 5,1 x 10^{-1}1 m^2 s^{-1}. Asimismo, en grosellas se han reportado difusividad y conductividad térmica de 1,38 x 10^{-7} m^2 s^{-1} y 0,22 W $m^{-1}K^{-1}$ y *Cp* de 1.64 kJ $kg^{-1}°C^{-1}$ (Gordillo *et al*., 2009) valores por debajo a esta investigación. La densidad de la Acerola fue más alta que la reportada por otros autores; Demir *et al.* (2003) reportaron una densidad promedio de avellanas de 848 kgm^{-3} para almendras tostadas, sin embargo en almendras frescas reporta una densidad de 1150,6 kg $m^{-3.}$ Las propiedades termofísicas de frutos tropicales están correlacionados al porcentaje de humedad del producto (Razavi y Taghizadeh, 2007; Bitra *et al.,* 2010). La literatura ha revelado que muy pocas investigaciones se han llevado a cabo en pulpa de Macambo para determinar el calor específico, conductividad térmica y la difusividad térmica. El conocimiento de las propiedades

térmicas en frutos promisorios para la agroindustria, es necesaria para el modelaje, optimización y el diseño de los procesos y equipos de procesamiento en las operaciones basadas en tratamientos térmicos tales como secado, tostado, enfriamiento o congelación (Ariza y Gordillo 2007; Mercali *et al*., 2013). Erdog˘du *et al*., (2014) en el trabajo de investigación; Determinación experimental de la conductividad y difusividad térmica de plátanos verdes y maduros con porcentajes de humedad de 87,33%±1.73% y 88,55±1,33%, porcentajes de humedad coincidentes con la de Macambo, encontraron una conductividad térmica de 0,302 y 0,338 W/m-K, para difusividad térmica 1,442 x 10^{-07} y 1,500 x 10^{-07}, respectivamente.

Cuadro 21: Comparación de las propiedades termofísicas

T (°C)	Difusividad térmica m^2/s	Calor especifico Cp (kJ/kg.K)	Densidad g/mL	Conductividad térmica W/m.K
50	**1,7310*10^{-07}**	**3,5235**	**1,0669**	**0,650731208**
60	**1,7550*10^{-07}**	**3,8134**	**1,0614**	**0,710335756**
70	**2,0756*10^{-07}**	**4,206**	**1,0510**	**0,917553397**
80	**2,1217*10^{-07}**	**4,6337**	**1,0423**	**1,024689009**
90	**3,4657*10^{-07}**	**5,3664**	**1,03128**	**1,918123947**

FUENTE: Elaboración propia.

4.2.4 Determinación del modelo matemático

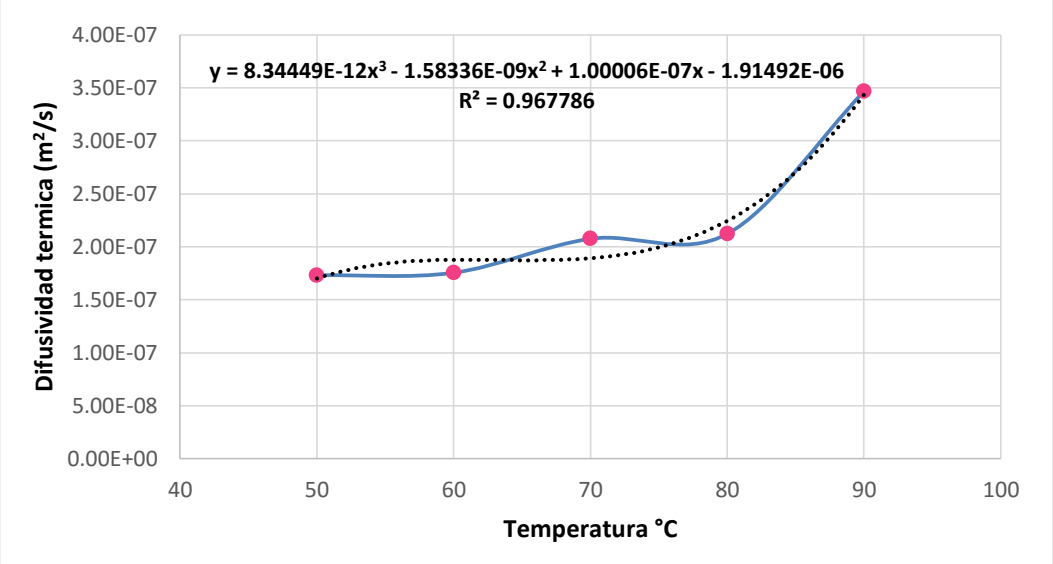
En el Cuadro 21 se muestra que la difusividad térmica de la pulpa de Macambo a 50 °C es de 1,73104 x 10^{-07} m^2/s; a 60 °C es de 1,75503 x 10^{-07} m^2/s; a 70 °C es de 2,07560 x 10^{-07} m^2/s; a 80 °C es de 2,12173 x 10^{-07} m^2/s; y a 90 °C es de 3,46578 x 10^{-07} m^2/s, observándose que a medida que se incrementa la temperatura, también se incrementa la difusividad térmica; el calor especifico a 50 °C es de 3,5235 kJ/kgK ; 60 °C es de 3,8134 kJ/kgK; a 70 °C es de 4,2060 kJ/kgK ; a 80 °C es de 4,6337 kJ/kgK; a 90 °C es de 5,3664 kJ/kgK, observándose que a medida que se

incrementa la temperatura, también se incrementa el calor especifico; la conductividad térmica a 50 °C es de 0,650731209 W/m °C, a 60 °C es de 0,710335756 W/m °C; a 70 °C es de 0,917553397 W/m °C; a 80 °C es de 1,024689009 W/m °C y a 90 °C es de 1,918123947 W/m °C, observándose que a medida que se incrementa la temperatura, también se incrementa la conductividad térmica.

Difusividad térmica de la pulpa de Macambo en base a la Temperatura

En la Figura 17 se muestra la relación entre la difusividad térmica de la pulpa del Macambo y la temperatura extraída del Cuadro 16.

Figura 17: Relación entre la difusividad térmica de la pulpa de Macambo y la temperatura.



FUENTE: Elaboración propia.

Para la pulpa de Macambo entre un rango de temperatura de 50 °C a 90 °C la difusividad térmica depende de la temperatura mediante la siguiente ecuación:

$\alpha = 8{,}3444 * 10^{-12}T^3 - 1{,}5833 * 10^{-09}T^2 + 1{,}0000 * 10^{-7}T - 1{,}9149 * 10^{-06}$

Donde

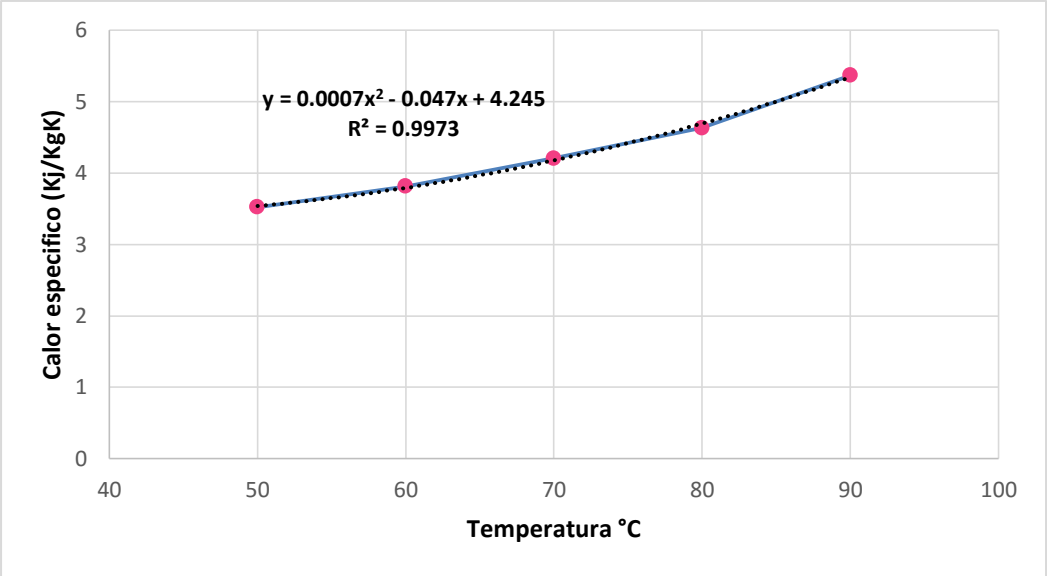
α : Difusividad térmica (m^2/s)

T : Temperatura (°C)

Calor específico de la pulpa de Macambo en base a la Temperatura

En la Figura 18 se muestra la relación entre el calor específico de la pulpa de Macambo y la temperatura, extraída del Cuadro 18.

Figura 18: Relación entre el Calor específico de la pulpa de Macambo y la temperatura.



FUENTE: Elaboración propia.

Para la pulpa de Macambo entre un rango de temperatura de 50 °C a 90 °C, el calor específico depende de la temperatura mediante la siguiente ecuación:

$$Cp = 0{,}0007 * T^2 - 0,,47 * T + 4{,}245$$

Donde

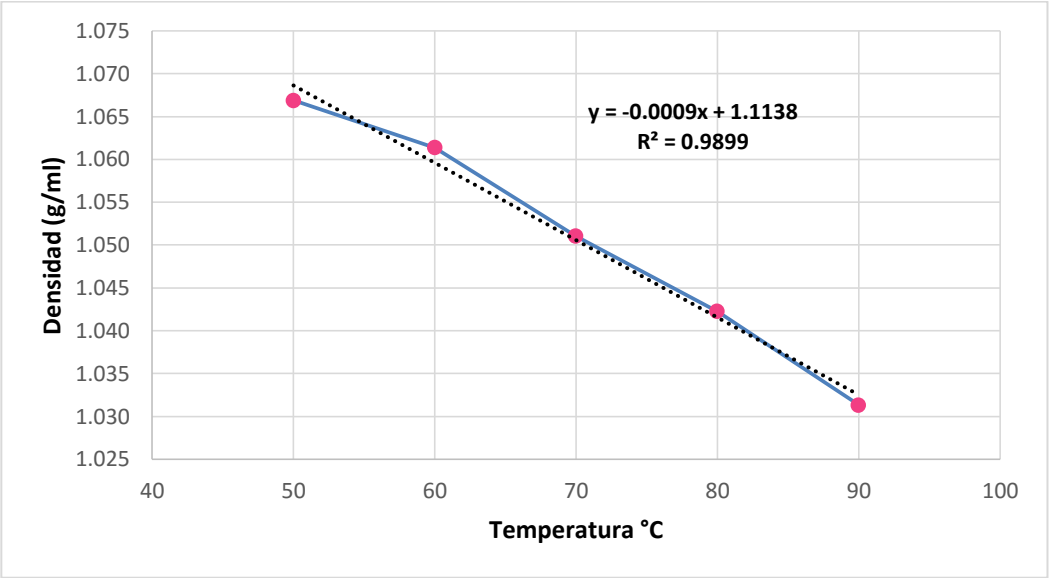
Cp: Calor Especifico (kJ/Kg K)

T: Temperatura (°C)

Densidad de la pulpa de Macambo en base a la Temperatura

En la Figura 19 se muestra la relación entre la densidad de la pulpa del Macambo y la temperatura, datos extraídos del Cuadro 19.

Figura 19: Relación entre la densidad de la pulpa de Macambo y la temperatura.



FUENTE: Elaboración propia.

Para la pulpa del Macambo entre un rango de temperatura de 50 °C a 90 °C, la densidad depende de la temperatura mediante la siguiente ecuación:

$$\rho = -0{,}0009 * T + 1{,}1138$$

Donde:

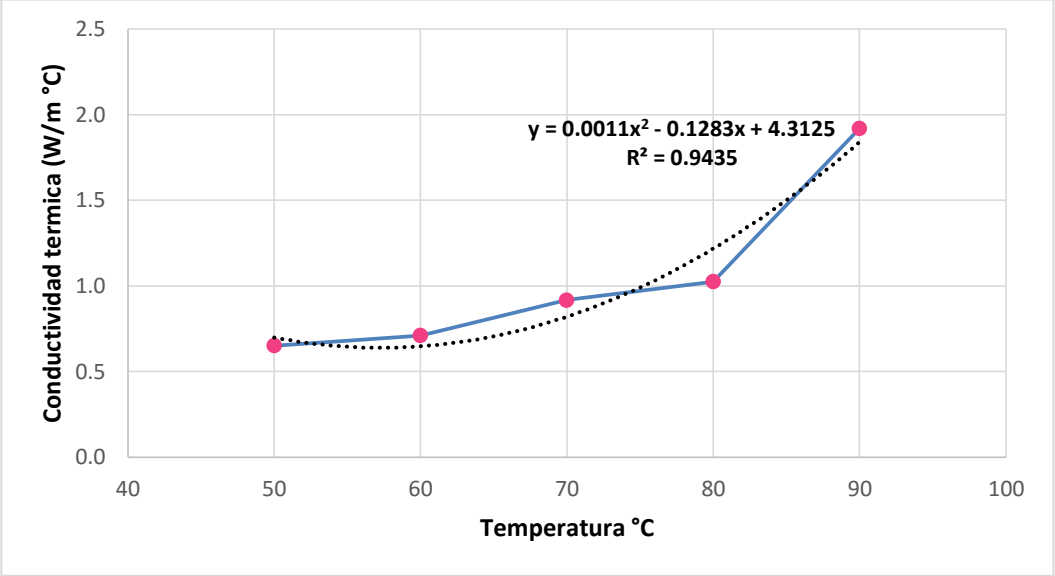
ρ : Densidad (g/mL)

T : Temperatura (°C)

Conductividad térmica de la pulpa de Macambo en base a la Temperatura

En la Figura 20 se muestra la relación entre la conductividad térmica de la pulpa de Macambo y la temperatura, datos extraídos del Cuadro 20.

Figura 20. Relación entre la conductividad térmica de la pulpa del Macambo y la temperatura.



FUENTE: Elaboración propia.

Para la pulpa del Macambo entre un rango de temperatura de 50 °C a 90 °C, la conductividad depende de la temperatura mediante la siguiente ecuación:

$$k = 0{,}0011 * T^2 - 0{,}1283 * T + 4{,}3125$$

Donde:

k : Conductividad térmica (W/m °C)

T: Temperatura (°C)

4.3 Contrastación de hipótesis

Determinadas las propiedades termofísicas de la pulpa de Macambo a diferentes temperaturas y habiendo hallado las ecuación que gobiernan la transferencia de calor por conducción en la pulpa, en estado no estacionario, es posible efectuar la aplicación de los datos obtenidos, para la resolución de problemas en procesamiento de alimentos con esta fruta.

Aplicación en el cálculo de transferencia de calor en estado no estacionario (utilizando los valores de k, Cp, ρ y α):

Calcular la temperatura alcanzada en 5 min por la pulpa de Macambo (densidad 1066,9 kg/m^3) contenido en una olla semiesférica con camisa de vapor. El radio de la olla es 0,5 m, el coeficiente de convección es 5000 w/ (m^2°C), la temperatura en la superficie interior de la olla es 90 °C y la temperatura inicial de la pulpa de Macambo es 50°C. El calor especifico de la pulpa de Macambo es 3,52 KJ (kg °C)

Datos:

Olla

Temperatura superficial = 90 °C

Radio = 0,5 m

Pulpa de Macambo

Temperatura inicial = 50 °C

Cp = 3,52KJ (kg °C)

ρ =1066,9 kg/m^3

Tiempo de calentamiento = 5 min

Método:

Dado que el producto está perfectamente mezclado no existe gradiente de temperatura en el lado interior y puede despreciarse la resistencia interna a la transmisión de calor. Se usará la siguiente ecuación para determinar la temperatura a los 5 min.

Solución:

Calculando la superficie interior y el volumen de la olla.

$$\boldsymbol{A = 2\pi r^2} = 2\pi(0.5)^2 = 1{,}57\ m^2$$

$$\boldsymbol{V = \frac{2}{3}\pi r^3} = \frac{2}{3}\pi\ (0.5)^3 = 0.26\ m^3$$

Mediante la siguiente ecuación se describe la transmisión de calor en estado no estacionario en el caso de resistencia interna despreciable.

$$\frac{T_a - T}{T_a - T_i} = e^{-\left(\frac{hA}{\rho cpV}\right)t}$$

$$\frac{90 - T}{90 - 50} = e^{\frac{-\left(5000\frac{w}{[m^2°C]}\right)(1.57\ m^2)(300\ s)}{\left(1066{,}9\frac{kg}{m^3}\right)(3{,}52\frac{kJ}{[kg\ °C]})(1000.\frac{J}{kJ})(0.26\ m^3)}}$$

$$\frac{90 - T}{90 - 50} = 0.0896$$

$$T = 86{,}41\ °C$$

El producto alcanzara una temperatura de 86,41 °C en 5 min.

CONCLUSIONES

De acuerdo al desarrollo experimental del presente trabajo, podemos concluir lo siguiente:

- La pulpa de Macambo tiene una difusividad térmica a 50 °C de 1,73104 x 10^{-07} m^2/s; a 60 °C de 1,75503 x 10^{-07} m^2/s; a 70 °C de 2,07560 x 10^{-07} m^2/s; a 80 °C de 2,12173 x 10^{-07} m^2/s; y a 90 °C de 3,46578 x 10^{-07} m^2/s; una conductividad térmica a 50 °C de 0,650731209 W/m °C, a 60 °C de 0,710335756 W/m °C; a 70 °C de 0,917553397 W/m °C; a 80 °C de 1,024689009 W/m °C y a 90 °C es de 1,918123947 W/m °C y calor específico a 50 °C de 3,5235 kJ/kgK; a 60 °C es de 3,8134 kJ/kgK; a 70 °C es de 4,2060 kJ/kgK; a 80 °C es de 4,6337 kJ/kgK y a 90 °C es de 5,3664 kJ/kgK.

- La determinación de las propiedades termofísicas de la pulpa de Macambo (difusividad térmica, conductividad térmica y calor específico) demostró la dependencia de ésta con la temperatura, a medida que se incrementa la temperatura se incrementan los valores de las propiedades termofísicas, dicho comportamiento acorde con lo registrado en bibliografía.

- Los modelos matemáticos que gobiernan las propiedades termofísicas de la pulpa de Macambo en función a un rango de temperatura T (s) de 50 °C a 90 °C son:

  Difusividad térmica α (m^2/s):

  $\alpha = 8{,}3444 \times 10^{-12} T^3 - 1{,}583 \times 10^{-9} T^2 + 1{,}0000 \times 10^{-7} T - 1{,}9149 \times 10^{-06}$

  Conductividad térmica k (W/m°C):

  $k = 0{,}0011 \times T^2 - 0{,}1283 \times T + 4{,}3125$

  Calor específico Cp (kJ/kgK):

  $Cp = 0{,}0007 \times T^2 - 0{,}47 \times T + 4{,}245$

SUGERENCIAS

De acuerdo a los resultados y conclusiones del presente trabajo de investigación podemos sugerir lo siguiente:

- Determinar las propiedades termofísicas en la pulpa de Macambo en transferencia de calor en el estado estacionario.

- Determinar las propiedades termofísicas de la pulpa de Macambo en función a la composición químico proximal.

- Diseñar procesos de producción para la elaboración de productos a base de pulpa de Macambo, teniendo como referente las propiedades termofísicas determinadas.

- Diseñar equipos industriales que contribuyan a reducir el consumo de energía y costos de producción, en la elaboración de productos a base de pulpa de Macambo, teniendo en cuenta los datos de las propiedades termofísicas obtenidas.

REFERENCIAS

1. A.O.A.C. 1995. Association of Official Analytical Chemists, Official Methods of Analysis, Ed Arlington USA 37:2.
2. Alvarado, JD; Aguilera, JM. 2001. Métodos para medir propiedades físicas en Industrias de alimentos, Editorial Acribia S. A., Zaragoza, España.
3. Alvarado, JD. 1998. Determinación de la madurez de frutas por medida de la densidad relativa del jugo. OEA – CONACYT - Universidad Técnica de Ambato. Ecuador.
4. Alvarado, JD. 1994. Propiedades físicas de frutas. IV. Difusividad y conductividad térmica efectiva de pulpas. Latin American Applied Research, 24: 41-47.
5. Alvarado, JD. 1989. Determinación de propiedades físicas y térmicas en aceites, jugo, pulpa de hortalizas y frutas cultivadas en Ecuador. Informe final. Proyecto UTA-CONUEP. Ambato, Ecuador.
6. Alvis, A; Caicedo, I; Peña, P. 2012. Determinación de Propiedades Termofísicas de Alimentos en Función de la Concentración y la Temperatura empleando un Programa Computacional. Inf. Tecnol., vol.23, no.1, p.111-116.
7. Alvis, A; Cortés, L; Páez, M. 2009. Transferencia de calor y materia durante la fritura de trozos de ñame. (En Línea). Consultado el 14 de setiembre del 2015. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642012000100012.
8. Arrázola, G; Alvis, A; Páez, M; 2014. Composición, Análisis Termofísico y Sensorial de Frutos Colombianos. Parte 2: Acerola *(Malpighia emarginata* L.) Inf. Tecnol. vol.25 no.3 La Serena.
9. Araujo, J. de L; Queiroz, AJ. de M; Figueiredo, RMF de. 2004. Propiedades termofísicas de pulpa de Cupuacu (*Theobroma grandiflorum*) con diferentes concentraciones de sólidos. Rev. Cient. Agrotec. Larvras. Vol. 28(1): 126-134.
10. Ariza, CH; Gordillo, DF. 2007. Uso de la Técnica Foto acústica para la Caracterización de Café Proveniente del Eje Cafetero Colombiano. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 31(119): 217-234.

11. Biju C. A. Carson, K. 2008. Drying curves and apparent diffusivity of New Zealand chestnut variety 1015. Journal of Food Engineering 85: 381–386.
12. Bitra, V; Banu, S; Ramakrishna, P; Narender, G; Womac, A. 2010. Moisture dependent thermal properties of peanut pods, kernels, and shells. Biosystems Engineering 106:506-512.
13. Cárdenas, B. Conductividad térmica. (En línea). sisbid. Consultado el 5 de Mayo del 2014. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual data/tesis/basic/cardenas_lb/conclu.pdf, documentos.
14. Cengel, Yunus, A. 2007. "Transferencia de Calor y Masa". Tercera Edición. Iztapalapa - México D.F. 163 – 182 p.
15. Cengel, Yunus, A. 2004, *Transferencia de calor* (2ª edición), México: McGraw-Hill.
16. Cerro, J; Gallardo, M. s.f. Propiedades térmicas de materiales. Termodinámica. (En línea). Consultado el 28 de mayo del 2014. Disponible en: http://termodinamica.us.es/materiales/transleccion3.pdf, documentos.
17. Choi, Y; Okos, M. 1986. Effect of temperature and composition on the thermal properties of foods In physical and chemical properties of food. Ed. M. Okos. Engineering and Process Applications. Elsevier Applied Science Publisher. London. 613p.
18. 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. Tingo María – Perú. UNAS.
19. Demir, AD; Baucour, P; Cronina, K; Abodayeh, K. 2003. Analysis of temperature variability during the thermal processing of hazelnuts. Innovative Food Science and Emerging Technologies 4: 69–84.
20. De Mendiburu, F. 2006. Análisis de Regresión. (En línea). Consultado el 14 de setiembre del 2014 Disponible en: http://tarwi.lamolina.edu.pe/fmendiburu/index-filer/academic/Foresteria %20I /Teoría/Exposicion%20regresion.pdf
21. Dickerson, RW.1965. An apparatus for the measurement of thermal diffusivity of foods. Food Technol., 19, 198-204

22. Domeneghini, G; Ribeiro, J; Pez, D; Tessaro, L; 2011. Physical properties of acerola and blueberry pulps Journal of Food Engineering 106 (2011) 283–289.
23. Erdog˘du, F; Linke, M; Praeger, U; Geyer, M; Schluter, O. 2014. Experimental determination of thermal conductivity and thermal diffusivity of whole green (unripe) and yellow (ripe) Cavendish bananas under cooling conditions Journal of Food Engineering 128 (2014) 46–52
24. Faires, VM. 1973. Termodinámica, México: Uteha
25. Fellows, P. 1988. Processing Technology, Principles and Practice. Ellis HorwoodseriesinFoodandTechnology.41-61p.
26. Flores, PS. 1997. Cultivo de Frutales Nativos Amazónicos. Tratado de Cooperación Amazónica. Lima.307 p.
27. Garea, MB; Curbelo, AA; Artíles, VJ; Cedeño, CL; Ramírez, SJ.1991. Determinación de la Conductividad y la Difusividad Térmica del Meollo de la caña de azúcar. Universidad de Camagüey – Cuba; UNAM – México D.F. Tecnol. Ciencia Ed.(IMIQ), 7(1): 20-24.
28. García, VE. 2009. Determinación de la difusividad térmica en pulpa de Noni (*morinda citrifolia* L.), en función de la temperatura. Tesis para optar el grado de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Tingo María – Perú. UNAS.
29. García, DEG; Mancini, DAP; Torres, RP; Mancini-Filho, J. 2002. Antioxidant activity of Macambo (*Theobroma bicolor*) extracts. Eur. J. Lipid. Sci. Technol. 104: 278-281.
30. Giraldo-Gómez, GI; Gabas, AL; Telis, VRN; Telis-Romero, J. 2010. Propiedades termofísicas del jugo concentrado de lulo a temperaturas por encima del punto de congelación. Cienc. Tecnol. Aliment, Campinas, 30(1):90-95.
31. González, CA; Torres, RGM. 2010. Manual Cultivo de Macambo. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana - IIAP Iquitos – Perú.
32. Gordillo, DF; Ortega, VA; Zarate, RF. 2009. Correlación Entre Parámetros Térmicos de Café de Diferente Origen. Revista Colombiana de Física 41(1).
33. Jara, AR. 2010. Determinación de la conductividad térmica de la pulpa del Yacón *(smallanthus sonchifolius)* en función de la humedad y la

temperatura. Tesis para optar el grado de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Tingo María – Perú. UNAS.

34. Lima, IJE de; Queiroz, AJ de M; Figueiredo, RMF de. 2003. Propiedades termofísicas de pulpa de Umbu (*Spondias tuberosa)*. Revista Brasilera de Productos Agroindustriales, Campina Grande, Especial n 1:31-42.
35. Melgarejo, LM; Hernández, MS; Barrera, JA; Carrillo, M. 2006. Oferta y potencialidades de un banco de germoplasma del género Theobroma en el enriquecimiento de los sistemas productivos de la región amazónica. Bogotá, Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones científicas –Sinchi, Universidad Nacional de colombia. 225p.
36. Mercali, GD; Jaeschke, D; Tessaro, IC; Ferreira Marczak, L. 2013. Degradation kinetics of anthocyanins in acerola pulp: Comparison between ohmic and conventional heat treatment. Food Chemistry 136 853–857.
37. Miliarium Aureum, 2004. Propiedades Térmicas De Materiales. Madrid España S.L. 2 daEdic. Edit. Acribia.
38. Moraga, IJA. 2008. Determinación del Calor específico de Murta (*Ugni molinae* Turcz) y Arándano (*Vaccinium corymbosum L*.) en un Rango de Temperatura entre 20 °C y 80 °C por el Método de la Calorimetría Diferencial de Barrido. Tesis para optar el grado de Licenciado en Ingeniería de Alimentos. Valdivia - Chile. Universidad Austral de Chile.
39. Muniz, MB; Queiroz, AJ. de M; Figueiredo, RMF de; Duarte, MEM. 2006. Caracterización termofísica de la pulpa de Bacuri (*Platonia insignis* Mart.). Cienc. Tecnol. Aliment. Campinas, 26(2): 360-368.
40. Muñoz, VJC. 2002. Determinación de la difusividad térmica en pasta de Murta (*Ugnimolinaeturcz*), en función de la temperatura. Tesis para optar el grado de Licenciado en Ingeniería de Alimentos. Valdivia - Chile. Universidad Austral de Chile.
41. Nahle, Nasif. 2006. Transferencia de Calor. (En línea). Biology Cabinet. Consultado el 27 de Mayo del 2014. Disponible en:http:www.biocab.org/Transferencia_Calor.html
42. Rahman, S. Food properties handbook. (1995). (En Línea). Consultado el 22 de setiembre del 2015. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid.

43. Razavi, SM. Taghizadeh, M. 2007. The specific heat of pistachio nuts as affected by moisture content, temperature, and variety. Journal of Food Engineering 79: 158–167.
44. Schackelford, J. 2008. Introducción a la ciencia de los materiales para ingenieros, 6ª ed.
45. Sepúlveda, C. 1994. Evaluación del comportamiento Físico – Químico del fruto de Murtilla (Ugni molinae Turcz) sometido a distintas temperaturas de congelación y tiempos de almacenaje. U. de Concepción. Chillan, Chile.104 p.
46. Shiva, K.M; Durga, P.B.; Basavaraj M.2014. Effect of moisture content and temperature on thermal conductivity of Psidium guajava L. by line heat source method (transient analysis). International Journal of Heat and Mass Transfer 78 (2014) 354–359
47. Singh, RP. 2000. Moving boundaries in food engineering, Journal Food Technology. (En Línea). Consultado el 4 de setiembre del 2015. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid.
48. Singh, P; Heldman, D. 1998. Introducción a la Ingeniería de los Alimentos. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza. España. 544p.
49. Smith, JM; Van Ness, HC; Abbot, MM. 2003. Introducción a la termodinámica en ingeniería química, 6ª. Edición, Mc Graw Hill.
50. Sotero, V; Maco, M; Vela, J; Merino, C; Dávila, E; García, D. 2011. Evaluación de la actividad antioxidante y compuestos fenólicos en pulpa y semillas de cuatro frutales amazónicos de la familia *Sterculiaceae.* Rev. Soc. Quim. Perú. 77(1): 66-74.
51. Staller, JE; Carrasco, MD. 2010. *Pre-Columbian Foodways: Interdisciplinary Approaches to Food, Culture, and Markets in Ancient Mesoamérica*, Springer. 333-334p.
52. Tapiador, M; Sigüenza, JA. 2005. "Tecnologías biométricas aplicadas a la seguridad". Editorial RAMA.
53. Thomas, M; Little, M; Hills, J. 2001. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Ed TRILLAS. 2da ed. México 87 pág.
54. Tratado de cooperación Amazónica. Secretaria Pro Tempore. 1997. Cultivo de frutales nativos amazónicos Manual para el extensionista Iquitos Perú.

ANEXOS

ANEXO 01. Matriz de Correlación

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables
¿El conocimiento de las propiedades termofísicas de la pulpa de Macambo *(Theobroma bicolor)* permitirá predecir la transferencia de calor?	**Objetivo General** • Evaluar las propiedades termofísicas (difusividad térmica, conductividad térmica y calor específico) de la pulpa de Macambo (*Theobroma bicolor*) a diferente temperaturas (50, 60, 70, 80 y 90 °C). **Objetivos Específicos** • Determinar las propiedades termofísicas (difusividad térmica, conductividad térmica y calor específico) a las temperaturas de: 50, 60, 70, 80 y 90 °C. • Comparar los valores de las propiedades termofísicas (difusividad térmica, conductividad térmica y calor específico) para cada temperatura en estudio. • Determinar el modelo matemático de las propiedades termofísicas (difusividad térmica, conductividad térmica y calor específico) en función a la temperatura.	**Ho:** Si se determina las propiedades termofísicas de la pulpa de Macambo a diferentes temperaturas entonces será posible desarrollar la ecuación que gobierna la transferencia de calor por conducción en la pulpa, en el estado no estacionario	**Independiente** • Temperatura: 50°C, 60°C, 70°C, 80°C y 90°C. **Dependiente** • Difusividad térmica. ($m^2.s^{-1}$) • Conductividad térmica. ($W.m^{-1}.K^{-1}$) • Calor específico. ($J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$) • Densidad. (g/mL)

ANEXO 02. Definición operacional de las variables

Variable Dependiente	Indicador	Medición
Difusividad térmico F(α)=	X_1=Temperatura (T°) X_2=Tiempo	Sensores térmicos DATA TRACE Cronómetro del sistema de Sensores DATA TRACE
Conductividad térmica F(k)=	X_1= Difusividad Térmica X_2= Calor Especifico X_3= Densidad	Software estadístico SPSS Statistics versión 19
Calor especifico F(Cp)=	X_1=Temperatura (T°) X_2=Tiempo	Calorímetro Termómetro

ANEXO 03. Instrumentos de investigación

Instrumentos de investigación	Computadora instalada con programa de "DATA TRACE" FOR WINDOWS DATATRECE micro pack serial: M3T12677, modelo 7500T1, rango -20 To +140 DEGREES C.
	DATATRECE micro pack serial: M3T11776, part number: 12752823-501, modelo: 7500T2, rango -20 To +140 DEGREES C, USA.
	Sensores térmicos "DATA TRACE" (con dos sondas)
	Calorímetro portátil
	Termómetro digital BS. Escala -50 °C a 300 °C, error: ±0.1 °C
	Refractómetro de mesa, marca QUIMUS: graduado de 0% a 100% de sacarosa, hecho en Brasil.
	Picnómetro o matraz aforado de 100 mL clase A PIREX.
	Balanza analítica electrónica OHAUS, modelo AP210s serial number 113032314, Sensibilidad 0,0001 g, EEUU.
	Vernier digital, Electronic Calipier, error: 0.01 mm.
	Potenciómetro, marca SCHOTT, modelo CG840, digital, rango de pH 0 a 14, USA.
	Refrigeradora marca Electrolux modelo Firgidaire Frost free, Canadá.

ANEXO 4. Otras evidencias de la investigación

Figura 21. Frutos de Macambo (*Theobroma bicolor*)



Figura 22. Determinación del Porcentaje de cascara y pulpa del fruto de Macambo (*Theobroma bicolor*)



Figura 23. Determinación del Porcentaje de semillas del fruto de Macambo (*Theobroma bicolor*)



Figura 24. Sensores térmicos "DATA TRACE"



Figura 25. Cilindros de acero inoxidable que contienen los sensores térmicos "DATA TRACE".

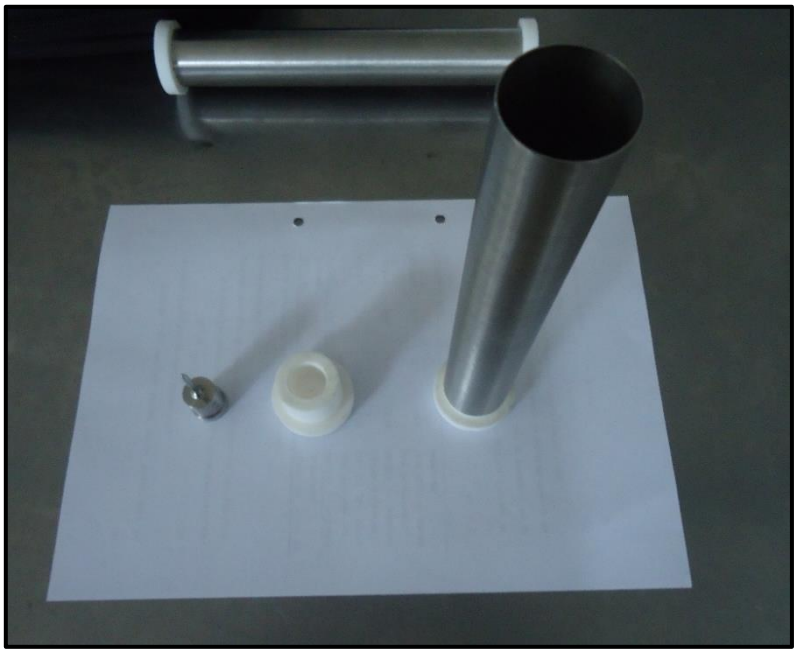


Figura 26. Armado del equipo para la obtención del perfil térmico.



Figura 27. Calorímetro

