

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE
DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL**



**“MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LA CONDUCTIVIDAD
TÉRMICA Y DEL CALOR ESPECÍFICO EN SEIS TIPOS DE
PULPAS DE FRUTAS EN LA REGIÓN DE MADRE DE DIOS”**

TESIS PRESENTADA POR:

Bachiller: NASCIMENTO HERBAY, Pedro
Romel

**PARA OBTAR EL TITULO PROFESIONAL
DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

ASESOR: Ing. CHAVEZ PINCHI, Miguel

CO-ASESOR: Ing. M.Sc. CORVERA
GOMRINGER, Ronald

Puerto Maldonado, 2017

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE
DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL**



**“MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LA CONDUCTIVIDAD
TÉRMICA Y DEL CALOR ESPECÍFICO EN SEIS TIPOS DE
PULPAS DE FRUTAS EN LA REGIÓN DE MADRE DE DIOS”**

TESIS PRESENTADA POR:

Bachiller: NASCIMENTO HERBAY, Pedro
Romel

**PARA OBTAR EL TITULO PROFESIONAL
DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

ASESOR: Ing. CHAVEZ PINCHI, Miguel

CO-ASESOR: Ing. M.Sc. CORVERA
GOMRINGER, Ronald

Puerto Maldonado, 2017

DEDICATORIA

A mi padre, Romel Nascimento Panaifo por el apoyo incondicional, cariño, comprensión, por los desvelos de cuando niño, por ser padre y madre a lo largo de mi vida, por las risas y regaños, por demostrarme que cada día se puede ser mejor persona y hacer mejor las cosas y alegrar la vida de quienes me rodean.

A Carmen, por la paciencia demostrada ante un hermano molesto, por los cuidados de cuando me enfermo y por cada momento vivido.

En homenaje de quien en vida fue mi tío Evin Nascimento, quien siempre fue cómplice de las sorpresas de fin de año y compañero de viaje de mi padre, gracias por los cuidados.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por las bendiciones, lecciones de vida y por todas aquellas personas que tuve la oportunidad de conocer a lo largo del camino.

Expresar mi agradecimiento al M. Sc. Ronald Corvera investigador y Gerente General del IIAP-MDD, quien, además de ser mi co-asesor de tesis, es mi mentor en el campo de la investigación científica, es quien fortaleció mi pensamiento crítico, analítico y siempre orientado a la calidad y a la innovación.

Al Ing. Miguel Chávez, docente de la UNAMAD y asesor de mi tesis, agradecerle por el tiempo y orientación brindada al mismo, el ánimo de seguir adelante a pesar de las complicaciones que surgieron.

Al Dr. Fernando Torres y Dr. Omar Trigos, investigadores de la PUCP; sin quienes haya podido realizar los experimentos, eternamente agradecido por el tiempo dedicado, los equipos, la guía y supervisión de los experimentos desarrollados en su laboratorio.

A la Fundación TReeS, por financiar parte de la investigación y fé puesta en el desarrollo de la Tesis. Al mismo tiempo, agradecer por todos los consejos y orientación de la Sra. Jenny Gómez, coordinadora TReeS-Perú.

A la UNAMAD, que, por medio de su oficina de Investigación, realizaron el concurso de financiamiento de tesis, el mismo que brindo parte del recurso económico en la realización del trabajo de tesis.

Lic. Flora Alonso Begazo, Sra. Jenny Gómez Ruiz, y todo los funcionarios, colaboradores y trabajadores del IIAP – Madre de Dios, quienes además de dar las facilidades de uso de ambientes, recursos, materiales y maquinas, tuvieron una actitud integradora, adoptándome como un miembro más de la familia del IIAP, acompañando y animando en cada etapa de la investigación.

A mis compañeros, colegas y trabajadores de la empresa Manutata S.A.C. que me dieron la oportunidad de crecer profesionalmente, de asumir las responsabilidades de mis decisiones y sentir el placer de lo que significa trabajar en equipo.

Liliana Gómez López eternamente agradecido, por ser como una madre y brindarnos la oportunidad de formar parte de su familia, agradecer la atención de su mamá Luz Dina, su papá Don Darío, hermanos, hermanas, sobrinos, sobrinas, primos, primas, tíos, tías. Gracias por compartir su tiempo con nosotros.

A mi tío Ildefonso Nascimento, mi tía Norma Nascimento y mi prima Mariela Méndez, agradecido por acogerme en su casa en cada viaje que he realizado, por cada consejo, momento y recuerdo que guardo con mucha gratitud y cariño.

A Natividad Quillahuaman, Juan Pablo Alva y Marco Parisaca, miembros del equipo de ECOSOCIALIS, gracias por brindarme siempre la mano, gracias por los momentos alegres compartidos, gracias por los retos y desafíos planteados, son como mi familia.

PRESENTACIÓN

El desarrollo de nuevos productos al igual que el diseño de equipos y procesos en la industria de alimentos está ligado al avance de la ciencia y la tecnología, la capacidad de conservar por mayor tiempo un alimento mediante la aplicación de calor, sea calentando/enfriando o refrigerando/congelando con el objeto de inhibir o acelerar alguna actividad microbiana o bioquímica ha originado el desarrollo de una amplia gama de alimentos funcionales.

Parte de este avance se debe al conocimiento de las propiedades termofísicas como el calor específico “Cp” (kJ/kg.°K), conductividad térmica “K” (J/(m.s.°K)), difusividad térmica (m²/s), entalpia (cal/kg) y el coeficiente de transferencia de calor (W/m².C) entre otros. Dichas propiedades han permitido realizar los cálculos y predicciones de consumo energético, dimensionamiento de equipos y tiempo de procesos, convirtiendo cada vez la industria más eficiente y eficaz.

Sin embargo, la investigación de estas propiedades relacionadas a frutos de la amazonia es escaso, limitándose muchas veces a determinar solo las propiedades bromatológicas. No obstante, estos resultados nos indican el potencial alimentario que poseen dichas frutas, lo que nos motivó a determinar en una primera etapa el valor del calor específico y conductividad térmica en 06 diferentes pulpas de frutas [Sinami (*Oenocarpus mapora*), Ungurahui (*Oenocarpus bataua*), Huasai (*Euterpe oleracea*), Pijuayo (*Bactris gasipaes*), Copoazú (*Theobroma grandiflorum*) y Ubos (*Spondias mombin*)].

De igual manera, tanto por el elevado costo operativo del experimento como la necesidad de determinar estas propiedades en diferente momento del proceso, hace necesario el desarrollo de modelos matemáticos en función de su composición bromatológica, temperatura u otro parámetro, en la literatura encontramos diversos modelos que podrían aplicar para el presente caso. Sin embargo, la característica específica de los distintos frutos amazónicos nos plantea el reto de desarrollar modelos matemáticos ajustados a dichas muestras.

RESUMEN.

El procesamiento agroindustrial de los frutos amazónicos representa un potencial comercial capaz de promover el desarrollo local, sin embargo, la falta de conocimiento de sus características físicas, químicas y nutricionales limita su aprovechamiento. Así, se determinó en esta investigación el valor experimental del calor específico C_p (kJ/kg.°K) y conductividad térmica K (J/(m.s.°K)) de 06 de pulpas de frutos amazónicos [Sinami (*Oenocarpus mapora*), Ungurahui (*Oenocarpus bataua*), Huasai (*Euterpe oleracea*), Pijuayo (*Bactris gasipaes*), Copoazu (*Theobroma grandiflorum*) y Ubos (*Spondias mombin*)] y se desarrolló modelos matemáticos que permitan estimar dichos valores en diferentes etapas del proceso entre el rango de temperatura de 10°C a 100°C. Fue empleado el método de Calorimetría de Barrido Diferencial - DSC, con un ratio de temperatura de 10°C/min. y la configuración térmica de operación fue entre 10°C a 100°C. Los termogramas obtenidos fueron evaluados por el software Pyris kinetic, obteniéndose valores experimentales de calor específico y conductividad térmica de cada muestra. La evaluación estadística de las muestras de *O. bataua*, *E. oleracea*, *B. gasipaes* y *T. grandiflorum* indicaron homogeneidad entre sus respectivas replicas. Los modelos matemáticos fueron de tipo polinomial ajustados en función de la temperatura, para el caso del calor específico C_p (kJ/kg.°K), el r^2 (promedio) fue de 99.98%. En la determinación de la conductividad térmica K (J/(m.s.°K)) se observa que el r^2 (promedio) es 99.88%. De este modo, los valores obtenidos en esta investigación pueden servir de base para el desarrollo y aprovechamiento de estos frutos amazónicos en el sector agroindustrial local.

Palabras clave: frutos amazónicos, propiedades termofísicas, conductividad térmica, calor específico

ABSTRACT

The agro-industrial processing of amazonian fruits represents a commercial potential capable of promoting local development, however, the lack of knowledge of their physical, chemical and nutritional characteristics limits their use. Thus, the experimental value of the specific heat C_p (kJ/kg.°K) and thermal conductivity K (J/(ms°K)) of 06 of amazon fruit pulps [Sinami (*Oenocarpus mapora*), Ungurahui (*Oenocarpus bataua*), Huasai (*Euterpe oleracea*), Pijuayo (*Bactris gasipaes*), Copoazu (*Theobroma grandiflorum*) and Ubos (*Spondias mombin*)] and mathematical models were developed that allow estimating these values in different stages of the process between the temperature range of 10°C to 100°C. The Differential Scanning Calorimetry - DSC method was used, with a temperature ratio of 10°C/min. and the operating thermal setting was between 10°C to 100°C. The thermograms obtained were evaluated by the Pyris kinetic software, obtaining experimental values of specific heat and thermal conductivity of each sample. The statistical evaluation of the samples of *O. bataua*, *E. oleracea*, *B. gasipaes* and *T. grandiflorum* indicated homogeneity. The mathematical models were of the polynomial type adjusted as a function of temperature, for the case of specific heat C_p (kJ/kg.°K), the r^2 (average) was 99.98%. In determining the thermal conductivity K (J/(m.s.°K)) it is observed that the r^2 (average) is 99.88%. In this way, the values obtained in this research can serve as a basis for the development and use of these amazonian fruits in the local agro-industrial sector.

Key words: Amazonian fruits, thermophysical properties, thermal conductivity, specific heat

INTRODUCCIÓN.

La diversidad biológica presente en la amazonia peruana y de forma particular, los frutos silvestres, representan un sustento alimenticio tanto para las comunidades locales como para la fauna nativa, pudiendo ser utilizados por el sector agroindustrial regional y nacional (Gonzales, 2007). Sin embargo, la información científica de los frutos amazónicos es escasa y poco desarrollada en el campo de la agroindustria y en la generación de nuevos productos, equipos y procesos.

Por ejemplo, el conocimiento de las propiedades termofísicas de los frutos amazónicos permitirían estimar con precisión y exactitud diversos parámetros de procesos como, calentamiento/enfriamiento o refrigeración/congelación o estimar el consumo energético por cada equipamiento empleado durante la producción de un determinado producto (Alvis, Caicedo y Peña, 2010). Así, el desarrollo comercial de los frutos tales como la naranja, manzana, pera, piña y uva se ha logrado por medio del conocimiento de dichas propiedades.

En este contexto, el desarrollo de modelos matemáticos permitió estimar con rapidez y exactitud cada una de las propiedades termofísicas de los alimentos, facilitando no solo el desarrollo de nuevos productos, así como también de la tecnología que permite aumentar la eficiencia energética y la productividad del proceso (Alvis, Caicedo y Peña, 2012).

Por estas razones, planteamos investigar las propiedades termofísicas, con el objetivo de determinar los valores de calor específico “Cp” (kJ/kg.°K) y la conductividad térmica “K” J/(m.s.°K)) de los frutos Sinami (*Oenocarpus mapora*), Ungurahui (*Oenocarpus batahua*), Huasai (*Euterpe oleracea*), Pijuayo (*Bactris gasipaes*), Copoazú (*Theobroma grandiflorum*) y Ubos (*Spondias mombin*).

ÍNDICE

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Formulación del problema.....	1
1.2.1 Problema general.....	1
1.2.2 Problema específico.....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo general.....	2
1.3.2 Objetivo específico.....	2
1.4 Variables.....	3
1.4.1 Variable independiente.....	3
1.4.2 Variables dependientes.....	3
1.5 Operacionalización de variables.....	3
1.6 Hipótesis.....	3
1.7 Justificación.....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Antecedentes de estudio.....	5
2.2 Marco Teórico.....	6
2.2.1 Sinami (<i>Oenocarpus mapora</i>).....	6
2.2.2 Ungurahui (<i>Oenocarpus bataua</i>).....	7
2.2.3 Huasai (<i>Euterpe oleracea</i>).....	9
2.2.4 Pijuayo (<i>Bactris gasipaes</i>).....	11
2.2.5 Copoazú (<i>Theobroma grandiflorum</i>).....	14
2.2.6 Ubos (<i>Spondias mombin</i>).....	16
2.3 Marco conceptual.....	17
2.3.1 Calor específico.....	17

2.3.2	Conductividad térmica.....	17
2.3.3	Modelos matemáticos teóricos y empírico.	18
2.3.4	Calorimetría de barrido diferencial – DSC.....	19
2.3.5	Utilización del DSC en la ciencia de los alimentos.....	21
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....		22
3.1	Tipo de estudio.....	22
3.2	Diseño del estudio.....	22
3.3	Población y muestra.....	22
3.3.1	Población.	22
3.3.2	Muestreo.	23
3.4	Materiales.....	23
3.5	Metodología	24
3.5.1	Acondicionamiento de las muestras y medición de las propiedades térmicas por DSC.....	24
3.6	Tratamiento de los datos.....	25
3.6.1	Análisis de varianza simple por replica	25
3.6.2	Prueba de rango múltiple.	26
3.6.3	Anova para los modelos matemáticos ajustados.	27
CAPÍTULO IV: RESULTADO Y DISCUSIÓN.		29
4.1	Termograma.....	29
4.1.1	Pulpa de sinami (<i>O. mapora</i>).	29
4.1.2	Pulpa de ungurahui (<i>O. bataua</i>).	31
4.1.3	Pulpa de huasai (<i>E. oleracea</i>).	32
4.1.4	Pulpa de pijuayo (<i>B. gasipaes</i>).....	33
4.1.5	Pulpa de copoazú (<i>T. grandiflorum</i>).	34
4.1.6	Pulpa de ubos (<i>S. mombin</i>).....	35

4.2	Valores experimentales de calor específico y conductividad térmica.	36
4.3	Análisis de varianza simple por replica.	45
4.3.1	ANOVA para Cp (kJ/kg.°K) y para K (J/(m.s.°K)) por replicas.	45
4.3.2	Prueba de rango múltiple.	47
4.4	Modelos matemáticos estimado.	50
4.4.1	Modelo matemático para estimar el calor específico.	50
4.4.2	Modelo matemático para estimar la conductividad térmica.	55
	CONCLUSIONES	60
	RECOMENDACIONES	61
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
	ANEXOS	67
4.5	Fotos de los análisis	67
4.6	Datos térmicos.	73
4.6.1	Sinami (<i>O. mapora</i>)	73
4.6.2	Ungurahui (<i>O. bataua</i>)	75
4.6.3	Huasai (<i>E. oleracea</i>)	77
4.6.4	Pijuayo (<i>B. gasipaes</i>)	79
4.6.5	Copoazu (<i>T. grandiflorum</i>)	81
4.6.6	Ubus (<i>S. mombin</i>)	83

ÍNDICE DE GRÁFICOS.

Figura 1. <i>Oenocarpus mapora</i>	6
Figura 2. <i>Oenocarpus bataua</i>	7
Figura 3. <i>Euterpe oleracea</i>	9
Figura 4. <i>Bactris gasipaes</i>	11
Figura 5. <i>Theobroma grandiflorum</i>	14
Figura 6. Esquema de un equipo DSC.....	19
Figura 7. Mapa y punto de muestreo.....	23
Figura 8. Termograma de la pulpa de <i>O. mapora</i>	29
Figura 9. Termograma de la pulpa de <i>O. bataua</i>	31
Figura 10. Termograma de la pulpa de <i>E. oleracea</i>	32
Figura 11. Termograma de la pulpa de <i>B. gasipaes</i>	33
Figura 12. Termograma de la pulpa de <i>T. grandiflorum</i>	34
Figura 13. Termograma de la pulpa de <i>S. mombin</i>	35
Figura 14. Modelo ajustado para la muestra <i>O. bataua</i>	53
Figura 15. Modelo ajustado para la muestra <i>O. oleracea</i>	53
Figura 16. Modelo ajustado para la muestra <i>B. gasipaes</i>	54
Figura 17. Modelo ajustado para la muestra <i>T. grandiflorum</i>	54
Figura 18. Modelo ajustado para la muestra <i>O. bataua</i>	58
Figura 19. Modelo ajustado para la muestra <i>O. oleracea</i>	58
Figura 20. Modelo ajustado para la muestra <i>B. gasipaes</i>	59
Figura 21. Modelo ajustado para la muestra <i>T. grandiflorum</i>	59
Figura 22. Instrumentos utilizados: pinzas, bisturí, placa Petri.....	67
Figura 23. Balanza analítica y determinador de humedad automática.....	67
Figura 24. Comparación de tamaño del crisol vs moneda de 50 centavos...67	67
Figura 25. Sellador de crisoles.....	67
Figura 26. Crisoles de 40 µl (tapa + crisol).....	67
Figura 27. Crisoles de 40 µl (tapa + crisol).....	67
Figura 28. Equipo de control de DSC.....	68
Figura 29. Nitrógeno UHP (ultra alta pureza).....	68
Figura 30. Equipo de calorimetría de barrido diferencial – DSC.....	68
Figura 31. DSC con crisol muestra (plateado) + crisol padrón (dorado).....	68
Figura 32. Chiller.....	68

Figura 33. Muestra de Sinami (<i>O. mapora</i>).....	69
Figura 34. Pulpa de <i>O. mapora</i>	69
Figura 35. Muestra de Ungurahui (<i>O. bataua</i>).....	69
Figura 36. Pulpa de <i>O. bataua</i>	69
Figura 37. Muestra de Huasai (<i>E. oleracea</i>).....	69
Figura 38. Pulpa con cascara de <i>E. oleracea</i>	69
Figura 39. Muestra de Pijuayo (<i>B. gasipaes</i>).....	70
Figura 40. Pulpa de <i>B. gasipaes</i>	70
Figura 41. Muestra de Copuazu (<i>T. grandiflorum</i>).....	70
Figura 42. Pulpa de <i>T. grandiflorum</i> + crisol con muestra.....	70
Figura 43. Muestra de Ubus (<i>S. mombin</i>).....	70
Figura 44. Extracción de la cascara de <i>S. mombin</i>	70
Figura 45. Extracción de pulpa de la muestra de <i>S. mombin</i>	71
Figura 46. Muestra acondicionada para el análisis por DSC.....	71
Figura 47. Llenado de crisol con muestra de pulpa de <i>S. mombin</i>	71
Figura 48. Crisol con muestra de pulpa de <i>S. mombin</i>	71
Figura 49. Balanza + crisol vacío.....	72
Figura 50. Balanza + crisol con muestra.....	72
Figura 51. Sellado de crisol.....	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sistema de variables e indicadores	3
Tabla 2. Composición bromatológica de pulpa de <i>O. mapora</i>	7
Tabla 3. Composición del aceite de <i>O. bataua</i>	8
Tabla 4. Composición del <i>E. oleracea</i> de la primera y segunda cosecha expresados en base se (g/100 g) ¹	10
Tabla 5. Compuestos antioxidantes y capacidad antioxidante.	10
Tabla 6. Propiedades termofísicas de <i>E. oleracea</i>	11
Tabla 7. Composición química de las harinas de <i>B. gasipaes</i> , en base seca.	12
Tabla 8. Ácidos grasos presentes en el fruto de <i>B. gasipaes</i> y otras especies vegetales.	13
Tabla 9. Propiedades termofísicas de <i>B. gasipaes</i>	13
Tabla 10. Composición físico-química de la pulpa de <i>T. grandiflorum</i>	15
Tabla 11. Valores de propiedades termofísicas de la pulpa de <i>T. grandiflorum</i> en función de la temperatura y de los sólidos solubles totales (SST)...	15
Tabla 12. Caracterización físico-química de la pulpa de <i>S. mombin</i>	16
Tabla 13. Modelos para la predicción de propiedades termofísicas a partir de la composición química de los alimentos como función de la temperatura.	18
Tabla 14. Punto de muestreo.	23
Tabla 15. Ecuación básica del análisis de varianza por replica.	26
Tabla 16. Ecuación básica del análisis de varianza para los modelos ajustados.	28
Tabla 17. Temperatura de fusión de la pulpa de <i>O. mapora</i>	29
Tabla 18. Temperatura de fusión de la pulpa de <i>O. bataua</i>	31
Tabla 19. Temperatura de fusión de la pulpa de <i>E. oleracea</i>	32
Tabla 20. Temperatura de fusión de la pulpa de <i>B. gasipaes</i>	33
Tabla 21. Temperatura de fusión de la pulpa de <i>T. grandiflorum</i>	34
Tabla 22. Temperatura de fusión de la pulpa de <i>S. mombin</i>	35
Tabla 23. Datos de calor específico Cp (kJ/Kg.K) vs temperatura T° (°C), con Cp promedio ± desvío estándar (Cp ± DS)	36

Tabla 24. Datos de conductividad térmica K ($J/m \cdot s \cdot ^\circ K$) vs T^a ($^\circ C$), con K promedio \pm desvio estándar ($K \pm DS$)	41
Tabla 25. ANOVA para C_p ($kJ/kg \cdot K$) por replica.	45
Tabla 26. ANOVA para K ($J/(m \cdot s \cdot K)$) por replica.....	46
Tabla 27. Resultados del análisis de rango múltiple utilizando Tukey HSD 95.0%	48
Tabla 28. ANOVA para los parámetros según su orden de ajuste.....	50
Tabla 29. ANOVA para los modelos matemáticos ajustados.....	51
Tabla 30. Modelos matemáticos ajustados.	52
Tabla 31. Valores estimados ópr el modelo para calor específico C_p ($kJ/kg \cdot ^\circ K$).	53
Tabla 32. ANOVA para las variables según su orden de ajuste.	55
Tabla 33. ANOVA para los modelos matemáticos ajustados.....	56
Tabla 34. Modelos matemáticos desarrollados.....	57
Tabla 35. Valores estimados de calor específico y conductividad térmicas. 57	

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

1.1 Descripción del problema.

Entre las regiones amazónicas del Perú, la región de Madre de Dios resalta por su megabiodiversidad biológica, reconocida tanto a nivel nacional como internacional. Esta diversidad está distribuida tanto en la flora cuanto en la fauna silvestre. Las cuales pueden ser aprovechadas de forma sustentable aportando a la economía local y nacional.

En especial, los frutos amazónicos como Sinami (*Oenocarpus mapora*), Ungurahui (*Oenocarpus batahua*), Huasai (*Euterpe oleracea*), Pijuayo (*Bactris gasipaes*), Copoazú (*Theobroma grandiflorum*) y Ubos (*Spondias mombin*) resaltan por su potencial uso en el sector agroindustrial, farmacéutico y medicinal. Sin embargo, el aprovechamiento de este tipo de recurso es limitado debido a la escasa información técnica. El escaso conocimiento de las propiedades termofísicas viene limitando el desarrollo de tecnologías apropiadas, así como la creación de nuevos procesos y productos.

1.2 Formulación del problema.

1.2.1 Problema general.

¿Cuáles son los valores experimentales de la conductividad térmica y calor específico de la pulpa de los frutos de Sinami (*Oenocarpus mapora*), Ungurahui (*Oenocarpus batahua*), Huasai (*Euterpe oleracea*), Pijuayo (*Bactris gasipaes*), Copoazú (*Theobroma grandiflorum*) y Ubos (*Spondias mombin*) entre el rango de temperatura de 10°C a 100°C?

1.2.2 Problema específico.

P1. ¿Cuáles serían los valores experimentales del calor específico y conductividad térmica de la pulpa de los frutos de Sinami (*Oenocarpus mapora*), Ungurahui (*Oenocarpus batahua*), Huasai (*Euterpe oleracea*), Pijuayo (*Bactris gasipaes*), Copoazú (*Theobroma grandiflorum*) y Ubos (*Spondias mombin*) entre el rango de temperatura de 10°C a 100°C utilizando el método de Calorimetría de Barrido Diferencial?

P2. A partir de los datos experimentales, ¿Cuáles serían valores teóricos del calor específico y conductividad térmica de la pulpa de los frutos de Sinami (*Oenocarpus mapora*), Ungurahui (*Oenocarpus batahua*), Huasai (*Euterpe oleracea*), Pijuayo (*Bactris gasipaes*), Copoazú (*Theobroma grandiflorum*) y Ubos (*Spondias mombin*) entre el rango de temperatura de 10°C a 100°C utilizando un modelo matemático basado en datos experimentales?

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo general.

Determinar los valores del calor específico y conductividad térmica de la pulpa de los frutos de Sinami (*Oenocarpus mapora*), Ungurahui (*Oenocarpus batahua*), Huasai (*Euterpe oleracea*), Pijuayo (*Bactris gasipaes*), Copoazú (*Theobroma grandiflorum*) y Ubos (*Spondias mombin*) de modo experimental y mediante modelos matemáticos en función de la temperatura de proceso.

1.3.2 Objetivo específico.

- Determinar experimentalmente los valores de calor específico y conductividad térmica de los frutos de Sinami (*Oenocarpus mapora*), Ungurahui (*Oenocarpus batahua*), Huasai (*Euterpe oleracea*), Pijuayo (*Bactris gasipaes*), Copoazú (*Theobroma grandiflorum*) y Ubos (*Spondias mombin*) entre el rango de temperatura de 10°C a 100°C a partir de termogramas obtenidos por el método de Calorimetría de Barrido Diferencial – DSC.
- Generar, ajustar y validar modelos matemáticos en función de la temperatura de proceso que permitan estimar los valores de calor específico y conductividad térmica de los frutos de Sinami (*Oenocarpus mapora*), Ungurahui (*Oenocarpus batahua*), Huasai (*Euterpe oleracea*), Pijuayo (*Bactris gasipaes*), Copoazú (*Theobroma grandiflorum*) y Ubos (*Spondias mombin*) entre el rango de temperatura de 10°C a 100°C.

1.4 Variables.

1.4.1 Variable independiente.

- Temperatura (10°C a 100°C).

1.4.2 Variables dependientes.

- Valores experimental y teórica de las propiedades termofísicas.
- Modelo matemático.

1.5 Operacionalización de variables.

Tabla 1. Sistema de variables e indicadores

Variables	Indicadores
Temperatura (10°C a 100°C).	Valores de propiedades termofísicas (rango de temperatura: 10°C a 100°C) <ul style="list-style-type: none"> – Conductividad térmica (W/m°K) – Calor específico (kJ/kg°K)
Valores experimental y teórica de las propiedades termofísicas.	Modelos Matemáticos que estimen de forma precisa y exacta en un rango de temperatura de 10°C a 100°C los valores de las propiedades termofísicas siguientes: <ul style="list-style-type: none"> – Conductividad térmica (W/m°K) – Calor específico (kJ/kg°K)
Modelo matemático.	<ul style="list-style-type: none"> – Calor específico (kJ/kg°K)

Fuente: Elaboración propia.

1.6 Hipótesis

Hipótesis nula (Ho): Los valores de las propiedades termofísicas determinados mediante los modelos matemáticos desarrollados y ajustados presentan alta correlación comparada con los valores determinados experimentalmente por el Calorímetro de Barrido Diferencial – DSC.

Hipótesis alterna (Ha): Los valores de las propiedades termofísicas determinados mediante los modelos matemáticos desarrollados y ajustados

presentan baja correlación comparada con los valores determinados experimentalmente por el Calorímetro de Barrido Diferencial – DSC.

1.7 Justificación.

La diversidad biológica referente a los frutos amazónicos encontrados en las regiones amazónicas y en especial, en la región de Madre de Dios, permiten explorar nuevas alternativas de producción agroindustrial. Sin embargo, la falta de conocimiento en las propiedades termofísicas limita la posibilidad de producción y diversificación de productos.

En este sentido, la determinación experimental de los valores del calor específico y conductividad térmica de la pulpa de los frutos de Sinami (*Oenocarpus mapora*), Ungurahui (*Oenocarpus batahua*), Huasai (*Euterpe oleracea*), Pijuayo (*Bactris gasipaes*), Copoazú (*Theobroma grandiflorum*) y Ubos (*Spondias mombin*), permitieron generar modelos matemáticos empíricos, que pueden ser aplicados en nuevas investigaciones con el objetivo de crear nuevos productos y optimizar procesos.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de estudio.

Muniz *et al.*, (2006), estudiaron el calor específico de la pulpa de bacuri (*Platonia insignis*) en diferentes concentraciones de sólidos solubles (5 a 20 °Brix), los autores observaron que el calor específico de las muestras disminuyeron con el aumento de la concentración de sólidos solubles, así, un menor valor de calor específico fue determinado para la muestra con 20 °Brix, este estudio evidenció que la muestra de mayor valor de calor específico estuvo relacionado a la muestra con mayor fracción de agua.

Cabral *et al.*, (2007), determinaron las propiedades termofísicas del jugo de mora (*Morus nigra*) entre 9.4 a 58.4 °Brix, siendo concentrados en rotavapor al vacío, entre las temperaturas de 0.5 °C a 80.8 °C, el calor específico presento valores mínimos de 2.42 kJ/kg.°C en la concentración de 58.4 °Brix a 9.3 °C y máximo de 4.30 kJ/kg.°C en la concentración de 9.4 °Brix a 80.8 °C. Con relación a la conductividad térmica, se reportó un valor mínimo de 0.34 W/m.°C en la concentración de 58.9 °Brix (0.5 °C) y máximo de 0.65 W/m.°C en la concentración 9.4 °Brix a 80.8°C.

Muramatsu *et al.*, (2010) midieron las propiedades termofísicas de tres tipos de jugos de frutos (uva, pepino y naranja), variando la temperatura entre 10°C a 50°C y concentración de 10 a 50% de pulpa. Los autores observaron que el calor específico de las muestras se incrementó con el aumento de la temperatura para cada concentración, sin embargo, disminuyeron con el aumento de la concentración de pulpa. Con relación a la conductividad térmica, los autores observaron que los valores de la conductividad térmica varían de 0.42 a 0.62 W/m.°C en el caso del jugo de uva y para el jugo de naranja fue 0.46 a 0.61 W/m.°C, sugiriendo que la conductividad térmica aumenta linealmente con el aumento de la temperatura y disminuye con el aumento de la concentración de pulpa.

Mariani, Amarante y Coelho (2009), estimaron la conductividad térmica aparente del puré de zanahoria durante congelación, los autores observaron

una disminución en el valor de la conductividad térmica con el aumento de la temperatura variando de 0.65 W/m.°K (20°C) a 0.62 W/m.°K (40°C).

2.2 Marco Teórico.

2.2.1 Sinami (*Oenocarpus mapora*).

2.2.1.1 Clasificación taxonómica¹.

Reino: Plantae

Filo: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Arecales

Familia: Arecaceae

Género: *Oenocarpus*

Especies: *Oenocarpus mapora*



Figura 1. *Oenocarpus mapora*.
Fuente: Elaboración propio.

2.2.1.2 Usos.

Los frutos tratados térmicamente liberan el mesocarpio oleoso, siendo posteriormente utilizado en la preparación de bebidas locales (Vásquez y Baluarte, 1998). En tanto que, las hojas tienen aplicaciones diversas, desde el uso en artesanía como en la construcción de viviendas (Sosnowska, Ramirez y Millán, 2010; Gutiérrez y Peralta, 2001).

2.2.1.3 Propiedades bromatológicas.

Nogueira, Carvalho y Ramos (2014), determinaron la composición bromatológica de la pulpa de *O. mapora* (Tabla 2). Observando que el contenido de lípidos (58.24%) corresponde a 85.10% de las calorías contenidas en la pulpa, en contraste al 10.59% y 2.31% equivalente a la energía procedente de los carbohidratos y proteínas respectivamente.

¹ The Global Biodiversity Information Facility:
<http://data.gbif.org/species/browse/taxon/120674533>

Tabla 2. Composición bromatológica de pulpa de *O. mapora*.

Parámetros	Valor
Humedad (%)	88.60 ± 0.14
Lípidos totales (g/100g b.s.)	58.24 ± 0.07
Proteína (g/100g b.s.)	6.64 ± 0.13
Carbohidratos y otros (g/100g b.s.)	16.31 ± 0.15
Ceniza (g/100g b.s.)	2.20 ± 0.01
Fibra Total (g/100g b.s.)	16.61 ± 0.21
Sólidos totales (%)	11.40 ± 0.14
pH	6.64 ± 0.02
Acidez total titulable (% ácido cítrico)	0.05 ± 0.00
Antocianinas totales (mg/100g b.s.)	40.31 ± 6.18
*Energía (kcal/100g)	70.22

(*) Resultado expresado en base húmeda.

b.s.= Base seca.

Fuente: Nogueira, Carvalho y Ramos (2014).

2.2.2 Ungurahui (*Oenocarpus bataua*).

2.2.2.1 Clasificación taxonómica².

Reino: Plantae

Filo: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Arecales

Familia: Arecaceae

Género: *Oenocarpus*

Especies: *Oenocarpus bataua*



Figura 2. *Oenocarpus bataua*.
Fuente: Elaboración propio.

2.2.2.2 Usos.

De forma general, este fruto es consumo directamente por la población sin transformación industrial; sin embargo, el aceite extraído de este fruto es utilizado en la industria de cosméticos y farmacéuticos, así también, la harina

² The Global Biodiversity Information Facility:
<http://data.gbif.org/species/browse/taxon/120674527?qs=Oenocarpus%20bataua>

producida en base de este fruto contiene proteínas, carbohidratos y fibras en cantidades significativas (González y Torres, 2011b; Vásquez y Baluarte, 1998).

2.2.2.3 Propiedades bromatológicas.

Ocampo, Fernández y Castro (2013), reportaron alto contenido de ácido oleico en el aceite proveniente del fruto de *O. batava* que sería proporcional al aceite de oliva, mayor contenido de ácido linolénico, pero con menor contenido de ácido linoleico. (Tabla 3).

Tabla 3. Composición del aceite de *O. batava*.

Ácidos grasos		Aceite de <i>O. batava</i>	Aceite de oliva
N°	Ácido graso	Valor (%)	Valor (%) – Balick 1998
12:0	Láurico	---	---
14:0	Mirístico	0.29 ± 0.9	---
16:0	Palmítico	12.80 ± 1.0	9.4 – 11.2
16:1	Palmitoleico	0.84 ± 0.2	0.2 – 1.5
18:0	Estearico	4.24 ± 0.5	1.4 – 2.0
18:1	Oleico	81.17 ± 1.0	76.0 – 80.5
18:2	Linoleico	2.49 ± 0.5	6.9 – 8.5
18:3	Linolénico	1.07 ± 0.2	0.4 – 0.5
% Insat	77 – 82	81.93 ± 1.0	86.5 – 87.4
% Sat	2 – 4	3.25 ± 0.5	7 – 8

Insat: ácidos grasos insaturados; Sat: ácidos grasos saturados.

Fuente: Ocampo, Fernández y Castro (2013).

2.2.3 Huasai (*Euterpe oleracea*).

2.2.3.1 Clasificación taxonómica³.

Reino: Plantae

Filo: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Arecales

Familia: Arecaceae

Género: *Euterpe*

Especies: *Euterpe oleracea*



Figura 3. *Euterpe oleracea*.
Fuente: Elaboración propio.

2.2.3.2 Usos.

Los frutos son generalmente utilizados en la preparación de postres, licores y refrescos de manera artesanal, sin embargo, el “palmito”, que es extrado de la palma es utilizados industrialmente en la elaboración de encurtidos (Gutiérrez y Peralta, 2001).

2.2.3.3 Propiedades bromatológicas y termofísicas.

Sanabria y Sangronis (2007), realizaron un estudio de la potencialidad nutricional del fruto de *E. oleracea* como materia prima para la industria, los autores determinaron la composición proximal (Tabla 4) de la pulpa, el perfil de ácidos grasos, el contenido de minerales, taninos, polifenoles, antocianinas y la capacidad antioxidante (Tabla 5).

³ Instituto de Ciencias Naturales:
<http://www.biovirtual.unal.edu.co/ICN/?controlador=ShowObject&accion=show&id=17484>

Tabla 4. Composición del *E. oleracea* de la primera y segunda cosecha expresados en base se (g/100 g)¹.

Compuesto (g/100)	Primera cosecha (Febrero 2005)	Segunda cosecha (Julio 2005)
Proteína	13.8 ± 0.4 ^a	15.9 ± 0.3 ^a
Lípidos	49.4 ± 1.1 ^a	33.1 ± 1.4 ^b
Cenizas	5.2 ± 0.4 ^a	2.2 ± 0.1 ^b
Carbohidratos	31.6 ^a	48.8 ^b
Fibra insoluble	27.3 ± 2.3 ^a	18.0 ± 0.2 ^b
Fibra soluble	3.6 ± 0.2 ^a	2.0 ± 1.0 ^b
Fibra total	30.9	20.0
Minerales		
Cr	0.003 ± 0.001 ^a	0.004 ± 0.001 ^a
Zn	0.006 ± 0.001 ^a	0.002 ± 0.001 ^b
Fe	0.023 ± 0.002 ^a	0.015 ± 0.007 ^a
Cu	0.001 ± 0.001 ^a	0.001 ± 0.001 ^a
Mn	0.009 ± 0.001 ^a	0.013 ± 0.001 ^b
Na	0.066 ± 0.030 ^a	0.009 ± 0.001 ^a
K	0.697 ± 0.132 ^a	0.466 ± 0.040 ^b
Mg	0.079 ± 0.001 ^a	0.112 ± 0.006 ^a
Ca	0.373 ± 0.007 ^a	0.182 ± 0.012 ^b
P	0.200 ± 0.011 ^a	0.092 ± 0.005 ^b

Se reportan media y desviación estándar de triplicados. Letras iguales en la misma fila indican no diferencia significativa ($p < 0.05$). ¹Humedad de los frutos de la primera y segunda cosecha=48.6 y 41.8 g/100g respectivamente. Los carbohidratos se calcularon por diferencia.

Fuente: Sanabria y Sangronis (2007).

Tabla 5. Compuestos antioxidantes y capacidad antioxidante.

Compuesto (g/100g¹)	Primera cosecha (Febrero 2005)	Segunda cosecha (Julio 2005)
Polifenoles	5.02 ± 0.10 ^a	2.20 ± 0.20 ^b
Taninos	0.70 ± 0.20 ^a	1.37 ± 0.10 ^b
Antocianinas	0.73 ± 0.10 ^a	1.60 ± 0.20 ^b
Capacidad antioxidante		
% Inhibición DPPH	88.03 ± 0.30 ^a	87.82 ± 0.20 ^a

Fuente: Sanabria y Sangronis (2007).

A través del método de mezclas, Sobottka y Pimentel (1989), determinaron experimentalmente las propiedades termofísicas de la pulpa de *T. grandiflorum* y *E. oleracea* contrastando luego dichos resultados con los valores estimados por los modelos matemáticos existentes en la literatura hasta ese momento (Tabla 6).

Tabla 6. Propiedades termofísicas de *E. oleracea*.

Propiedades termofísicas	Jugo de <i>E. oleracea</i>
Densidad (g/cm ³)	
- 5°C	1.047
- 25 °C (Promedio)	1.042 (1.032)
Viscosidad (cP)	
- 5°C	2.14
- 25°C	1.20
Difusividad térmica (m ² /s)	
- Promedio T=55°C	1.51x10 ⁻⁷
Calor específico (J/g.°C)	
- Promedio T=40°C	3.69
Conductividad térmica (W/m.°C)	0.575

Fuente: Sobottka y Pimentel (1998).

2.2.4 Pijuayo (*Bactris gasipaes*).

2.2.4.1 Clasificación taxonómica⁴.

Reino: Plantae

Filo: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Arecales

Familia: Arecaceae

Género: *Bactris*

Especies: *Bactris gasipaes*



Figura 4. *Bactris gasipaes*.
Fuente: Elaboración propio.

⁴ The Global Biodiversity Information Facility:
<http://data.gbif.org/species/browse/taxon/120690316?qs=Bactris%20gasipaes>

2.2.4.2 Usos.

Del fruto maduro, es preparado una bebida fermentada denominada “masato” y de las semillas es extraído aceite, el cual tiene una importancia económica en la industria de cosméticos (Vásquez y Baluarte, 1998).

2.2.4.3 Propiedades bromatológicas y termofísicas.

Castillo (2006), realizó un estudio comparativo en la harina de *B. gasipaes* crudo y procesado (Tabla 7) con el objeto de evaluar los efectos de estos tratamientos sobre la composición química de dicha harina, observando reducción en el valor nutricional de la muestra procesada, especialmente en el contenido de micronutrientes, como minerales y vitaminas C, así como también en el contenido de polifenoles. Los autores no reportan presencia de azúcares reductores en el análisis proximal realizado a la harina de *B. gasipaes*. Sin embargo, Pacheco *et al.*, (1999) reportan valores entre 1.20 y 3.00 % de azúcares reductores, una posible explicación para esta discrepancia sería el grado de madures de la fruta, ya que la cantidad de azúcares aumenta con la maduración.

Tabla 7. Composición química de las harinas de *B. gasipaes*, en base seca.

Determinación	Harina cruda (g/100g)	Harina procesada (g/100g)	% de variación
Humedad	2.8 ± 0.1 ^a	3.1 ± 0.1 ^a	- 10.7
Cenizas	2.13 ± 0.03 ^a	1.40 ± 0.05 ^b	- 34.3
Grasa	20.6 ± 0.2 ^a	18.5 ± 0.2 ^b	- 10.2
Proteína	7.1 ± 0.2 ^a	6.4 ± 0.1 ^b	- 9.9
Almidones totales	48 ± 2 ^a	43 ± 2 ^b	- 9.5
Almidones disponibles	32 ± 1 ^a	33.4 ± 0.4 ^a	4.4
Fibra dietética total	21.8 ± 0.7 ^b	28.5 ± 0.4 ^a	30.7
Fibra insoluble	20.2 ± 0.8 ^b	27.4 ± 0.3 ^a	35.6
Fibra soluble	1.5 ± 0.1 ^a	1.10 ± 0.06 ^b	- 26.7
Azúcares reductores	---	---	---

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre las medias (P<0.05)

Fuente: Castillo (2006).

Restrepo, Vinasco y Estupiñan (2012), efectuaron una comparación entre el contenido de ácido grasos saturados e insaturados presentes en el fruto de *B. gasipaes* en contraste con otras fuentes comerciales de aceite (Tabla 8).

Tabla 8. Ácidos grasos presentes en el fruto de *B. gasipaes* y otras especias vegetales.

Ácidos grasos (%)	Aceite vegetal					
	<i>B. gasipaes</i>	Palma	Oliva	Cacao	Soya	Girasol
Oleico	38.0 – 51.9	39.0	67.0 – 81.0	36.0	22.0	30.0
Linoleico	2.4 – 8.6	10.5	3.5 – 14.5	3.0	55.0	60.0
Linolénico	0.2 – 1.5	0 – 0.3	0.3 – 1.2	1.0	8.0	4.0
Saturados	36.1 – 41.7	50.2	12.0	60.0	14.0	10.0

Fuente: Restrepo, Vinasco y Estupiñan (2012)

Buranelo, Miranda y Godoy (2015), determinaron mediante la aplicación de modelos matemáticos disponibles en la literatura las propiedades termofísicas tales como calor específico, densidad y conductividad térmica del palmito de *B. gasipaes*. Teniendo como base los valores centesimales de los componentes bromatológicos de dicha muestra (Tabla 9).

Tabla 9. Propiedades termofísicas de *B. gasipaes*.

Propiedades termofísicas	Palmito de <i>B. gasipaes</i>
Calor específico (kJ/kg.°C)	
– 25°C	3.86
Conductividad térmica (W/m.°C)	
– 25°C	0.58

Fuente: Buranelo, Miranda y Godoy (2015)

2.2.5 Copoazú (*Theobroma grandiflorum*).

2.2.5.1 Clasificación taxonómica⁵.

Reino: Plantae

Filo: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Malvales

Familia: Sterculiaceae

Género: *Theobroma*

Especies: *Theobroma grandiflorum*



Figura 5. *Theobroma grandiflorum*.
Fuente: Elaboración propio.

2.2.5.2 Usos.

La proporción de pulpa y semilla es aproximadamente de 2 a 1, convirtiendo la pulpa de copoazú en un potencial para producción de néctares, licores y otras bebidas en el sector agroindustrial, así también, es aprovechado la semilla del copoazú, que contiene alto contenido de proteína y grasa, para preparar el “cupulate”, un producto con características similares al chocolate (Hernández y Barrera, 2004).

2.2.5.3 Propiedades bromatológicas y termofísicas.

Dantas (2010), analizó la composición físico-química (Tabla 10), así como de las propiedades reológicas (Tabla 11) de la pulpa de *T. grandiflorum*, teniendo como variables de estudio diferentes concentraciones de sólidos solubles (14, 17, 19, 23 y 25 °Brix) y temperatura (10, 20, 25, 30, 40, 50, 60 y 70°C). El efecto de los tratamientos fue validado por medio de análisis reológicos, termofísicas y físico-químicos.

⁵ Disponible en: <http://www.hondurassilvestre.com/search/taxa/taxa.aspx?tsn=506108>

Tabla 10. Composición físico-química de la pulpa de *T. grandiflorum*.

Determinación	Valores
Humedad (%)	84.9 – 89.0
Proteína (%)	0.53 – 1.92
Grasa (%)	0.48 – 2.35
Cenizas (%)	0.67 – 0.81
Fibra (%)	0.5 – 1.89
Pectina (mg/100g)	390.00 – 850.00
Azúcares no reductores (%)	4.0 – 5.8
Azúcares reductores (%)	2.8 – 3.0
Acidez titulable (%)	2.0 – 2.15
pH	3.2 – 3.6

Fuente: Dantas (2010).

Tabla 11. Valores de propiedades termofísicas de la pulpa de *T. grandiflorum* en función de la temperatura y de los sólidos solubles totales (SST).

T (°C)	SST (°Brix)	Conductividad térmica (W/m².°K)	Difusividad térmica (mm²/s)	Calor específico Volumétrico (10³J/kg.°K)	Masa específica (g/m³)
20	14	0.59 ± 0.02	0.141 ± 0.001	4.17 ± 0.14	1040.9 ± 12.14
	17	0.52 ± 0.02	0.134 ± 0.001	3.88 ± 0.09	1070.3 ± 49.34
	19	0.53 ± 0.01	0.137 ± 0.001	3.88 ± 0.03	1083.6 ± 1.44
	23	0.51 ± 0.02	0.135 ± 0.001	3.59 ± 0.17	1083.4 ± 4.84
	25	0.47 ± 0.01	0.132 ± 0.002	3.67 ± 0.07	1108.9 ± 3.08
25	14	0.56 ± 0.03	0.139 ± 0.001	3.94 ± 0.26	1041.2 ± 12.73
	17	0.50 ± 0.02	0.137 ± 0.004	3.67 ± 0.12	1068.1 ± 48.48
	19	0.54 ± 0.01	0.138 ± 0.001	3.95 ± 0.07	1082.1 ± 1.22
	23	0.54 ± 0.02	0.135 ± 0.002	3.86 ± 0.06	1082.5 ± 4.22
	25	0.48 ± 0.02	0.134 ± 0.002	3.74 ± 0.08	1107.9 ± 3.21

Fuente: Dantas (2010).

2.2.6 Ubos (*Spondias mombin*).

2.2.6.1 Clasificación taxonómica⁶.

Reino: Plantae

Filo: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Sapindales

Familia: Anacardiaceae

Género: *Spondias*

Especies: *Spondias mombin*

2.2.6.2 Usos.

Debido a la elevada acidez, el ubo es poco consumido al natural, siendo consumido principalmente en forma de pulpa, jugo, helados y néctar. La madera puede ser utilizada en carpintería, mientras que la corteza, las ramas y hojas poseen propiedades medicinales (González y Torres, 2011).

2.2.6.3 Propiedades bromatológicas.

En la Tabla 12 es presentada las características físico-química de la pulpa del fruto de *S. mombin*, realizado por Mattietto, Lopes y Menezes (2010).

Tabla 12. Caracterización físico-química de la pulpa de *S. mombin*.

Parámetros	Valor (*)
pH	2.53 ± 0.01
Humedad (%)	89.42 ± 0.18
Proteína (%)	0.82 ± 0.01
Lípidos totales (%)	0.26 ± 0.09
Ceniza (%)	0.58 ± 0.02
Vitamina C (mg ácido ascórbico/100g)	23.72 ± 0.08

(*) Valores en base húmeda, medida de tres repeticiones

Fuente: Mattietto, Lopes y Menezes (2010).

⁶ The Global Biodiversity Information Facility:
<http://data.gbif.org/species/browse/taxon/119087632?qs=Spondias%20mombin>

2.3 Marco conceptual.

2.3.1 Calor específico.

El calor específico se refiere a la cantidad de energía térmica adquirida o perdida por una unidad de masa para producir una variación en la temperatura, sin que esto ocasione un cambio de estado (Singh y Heldman, 1998; Silvas, 1997).

Existen varios métodos que permiten medir el calor específico. El método de Calorimetría de Barrido Diferencial (DSC) y la técnica de mezclas son comúnmente utilizados (Dantas, 2010). La medición rápida y la capacidad de producir resultados precisos a partir de pequeñas muestras son una de las ventajas del uso de DSC (Lozano, 2006).

2.3.2 Conductividad térmica.

La conductividad térmica de un material está relacionada con la capacidad de conducir calor (Telis-Romero *et al.*, 1998). En los alimentos, la conductividad térmica depende principalmente de la composición, cantidad de agua, distribución de poros, tamaño y orientación de las fibras, entre otros (Silva, 1997; Pinheiro, 2004).

La medición de la conductividad térmica puede ser realizada en estado estacionario o no estacionario. Las mediciones en estado estacionario son fácilmente realizadas, no obstante, demanda de tiempo para realizar las mediciones (Moura, Franca y Leal, 2003). Por otro lado, las mediciones realizadas en estado no estacionarios son mayormente aplicados en el campo de la agroindustria, debido a su rápida medición, disminuyendo así los errores de medida ocasionados por los procesos bioquímicos y microbiológicos desarrollados en cada muestra de alimento (Fontana *et al.*, 1999). Este modelo se basa en obtener perfiles térmicos durante un periodo de tiempo definido (Mohsenin, 1980). Otra ventaja de este método, es la posibilidad de determinar los valores de difusividad térmica y capacidad térmica volumétrica (Van-Gelder, 1989). Sin embargo, si la muestra de alimento fuera un producto

deshidratado, los valores obtenidos por el método no estacionario serían poco exacto (Mohsenin, 1980).

2.3.3 Modelos matemáticos teóricos y empírico.

Diversos autores realizaron estudios sobre las propiedades termofísicas en alimentos, formulando modelos matemáticos con alta correlación, estos modelos son presentados en la Tabla 13.

Tabla 13. Modelos para la predicción de propiedades termofísicas a partir de la composición química de los alimentos como función de la temperatura.

Componente	Modelo de Choi y Okos	Modelo de Akintunde	(r ²)
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA			
	W/m°C	W/m°K	
Proteína	$k_P = 1.7881 \times 10^{-1} + 1.1958 \times 10^{-3}t - 2.7178 \times 10^{-6}t^2$	$k_P = 0.1742 \exp(0.0069t)$	0.9831
Lípidos	$k_L = 1.8071 \times 10^{-1} - 2.7604 \times 10^{-3}t - 1.7749 \times 10^{-7}t^2$	$k_L = 0.1647 \exp(-0.0171t)$	0.9604
Carbohidratos	$k_C = 2.0141 \times 10^{-1} + 1.3874 \times 10^{-3}t - 4.3312 \times 10^{-6}t^2$	$k_C = 0.1951 \exp(0.0072t)$	0.977
Fibra	$k_F = 1.8331 \times 10^{-1} + 1.2497 \times 10^{-3}t - 3.1683 \times 10^{-6}t^2$	$k_F = 0.1782 \exp(0.0071t)$	0.9811
Minerales	$k_M = 3.2962 \times 10^{-1} + 1.4011 \times 10^{-3}t - 2.9069 \times 10^{-6}t^2$	$k_M = 0.04t + 0.3277$	1.000
Agua	$k_W = 5.7109 \times 10^{-1} + 1.7625 \times 10^{-3}t - 6.703 \times 10^{-6}t^2$		1.000
Hielo	$k_I = 2.2196 - 6.2489 \times 10^{-3}t + 1.0154 \times 10^{-4}t^2$		1.000
CALOR ESPECÍFICO			
	kJ/kg°C	kJ/kgK	
Proteína	$C_{pP} = 2.0082 + 1.2089 \times 10^{-3}t - 1.3129 \times 10^{-6}t^2$	$C_{pP} = 2.0071 \exp(0.0006t)$	0.999
Lípidos	$C_{pL} = 1.9842 + 1.4733 \times 10^{-3}t - 4.8008 \times 10^{-6}t^2$	$C_{pL} = 1.98065 \exp(0.0007t)$	0.9933
Carbohidratos	$C_{pC} = 1.5488 + 1.9625 \times 10^{-3}t - 5.9399 \times 10^{-6}t^2$	$C_{pC} = 1.544 \exp(0.00013t)$	0.9932
Fibra	$C_{pF} = 1.8459 + 1.8306 \times 10^{-3}t - 4.6509 \times 10^{-6}t^2$	$C_{pF} = 1.8422 \exp(-0.001t)$	0.9953
Minerales	$C_{pM} = 1.0926 + 1.8896 \times 10^{-3}t - 3.6817 \times 10^{-6}t^2$	$C_{pM} = 1.089 \exp(0.0017t)$	0.9959
Agua ¹	$C_{pW} = 4.1762 - 9.0864 \times 10^{-5}t + 5.4731 \times 10^{-6}t^2$		
Agua sub-enfriada ²	$C_{pWF} = 4.0817 - 5.3062 \times 10^{-3}t + 9.9516 \times 10^{-4}t^2$		
Hielo	$C_{pI} = 2.0623 + 6.0769 \times 10^{-3}t$		
DIFUSIVIDAD TÉRMICA			
	m ² /s	m ² /s	
Proteína	$\alpha_P = 6.8714 \times 10^{-8} + 4.7578 \times 10^{-10}t - 1.4646 \times 10^{-12}t^2$	$\alpha_P = 7 \times 10^{-8} \exp(0.0073t)$	0.9771
Lípidos	$\alpha_L = 9.8777 \times 10^{-8} - 1.2569 \times 10^{-10}t - 3.8286 \times 10^{-14}t^2$	$\alpha_L = 1 \times 10^{-7} \exp(-0.0013t)$	0.9995
Carbohidratos	$\alpha_C = 8.0842 \times 10^{-8} + 5.3052 \times 10^{-10}t - 2.3218 \times 10^{-12}t^2$	$\alpha_C = 8 \times 10^{-8} \exp(-0.0069t)$	0.8691
Fibra	$\alpha_F = 7.3976 \times 10^{-8} + 5.1902 \times 10^{-10}t - 2.2202 \times 10^{-12}t^2$	$\alpha_F = 7 \times 10^{-8} \exp(0.0074t)$	0.9883
Minerales	$\alpha_M = 1.2461 \times 10^{-7} + 3.7321 \times 10^{-10}t - 1.2244 \times 10^{-12}t^2$	$\alpha_M = 1 \times 10^{-7} \exp(0.003t)$	0.9883

¹ Para el rango de temperatura de 0°C a 100°C.

² Para el rango de temperatura de -40°C a 0°C.

Fuente: Ashrae (2010), Akintunde (2008), Choi y Okos (1986).

2.3.4 Calorimetría de barrido diferencial – DSC.

Los equipos térmicos, como el Calorímetro de Barrido Diferencial (DSC) y el Analizador de Diferencia Térmica (DTA) miden la diferencia entre el cambio de entalpía de una muestra y la compara con un material inerte de referencia cuando son calentados al mismo tiempo (Sadqi, 2000).

En el DSC, la muestra y el material de referencia (patrón) se calientan independientemente, siendo posible medir de forma directa la diferencia en flujo de calor para mantener la temperatura igual en ambos materiales (Sadqi, 2000). Permitiendo cuantificar el calor que es adsorbido o liberado por una muestra cuando es mantenida a temperatura constante durante un determinado periodo de tiempo (Manals y Penedo, 2011; Suriñach *et al.*, 1992). Con estos resultados, es posible calcular la temperatura y entalpía de transición o de reacción (Beldarraín, 2001).

2.3.4.1 Principio y utilidades.

En la Figura 6 se observa un esquema típico de un DSC. Los crisoles que contienen la muestra y la referencia respectivamente están equipados con sensores para la medida de la temperatura y resistencias de calentamiento independientes.

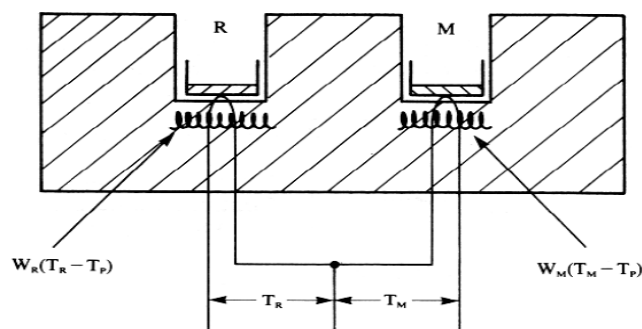


Figura 6. Esquema de un equipo DSC.
Fuente: Albella et al. (1993).

Las temperaturas de cada crisol (T_M y T_R) es medida y comparada con el valor de la temperatura programado T_p . El sistema trabaja de modo tal, que la energía suministrada en cada instante, por cada resistencia de calentamiento,

sea proporcional a la diferencia de temperatura entre cada crisol y la temperatura programada, de acuerdo con los siguientes (Gómez, 2009):

$$E_M = W_M(T_M - T_P) \quad \text{Ec. 01}$$

$$E_R = W_R(T_R - T_P) \quad \text{Ec. 02}$$

E_M y E_R son las energías suministradas por las resistencias, se representa $\Delta E = (E_M - E_R)$ vs T o t; mientras que W_M y W_R son constantes del sistema, que dependen de las características de cada material, la muestra y la resistencia (Gómez, 2009).

A cada instante, la diferencia de energía, ΔE , requerida para mantener la temperatura de las dos celdas a la temperatura programada, es representada como un termograma con una función de la temperatura programada (Gómez, 2009).

Como regla general, se puede decir que todas las transformaciones o reacciones donde se produce un cambio de energía pueden medirse por DSC. Entre las diversas utilidades de la técnica de DSC podemos destacar las siguientes (Sadqi, 2000):

- Cinéticas de reacción
- Tiempo e inducción a la oxidación
- Descomposición
- Estabilidad térmica de los materiales.
- Medida de capacidad calorífica aparente. Calor específico y propiedades en las que varía el calor específico como la temperatura de transición vítrea o la transición de Curie⁷
- Transiciones de fase

⁷ Se denomina Temperatura de Curie a la temperatura por encima de la cual un cuerpo ferromagnético pierde su magnetismo, comportándose como un material puramente paramagnético.

- Determinación de puntos de fusión
- Determinación de parte amorfa y cristalina

2.3.5 Utilización del DSC en la ciencia de los alimentos.

En la industria alimentaria, el método DSC es usualmente utilizado en estudios sobre transiciones térmicas en proteínas, lípidos, ácidos nucleicos, así como en la determinación de la producción de calor por células y microorganismos, también es utilizado en otros sectores, como a industria farmacéutica, de polímeros y de combustibles (Gómez, 2009)

Debido a que los alimentos constituyen un sistema complejo de diversos componentes, en cantidades y distribución diversos, el método de DSC presenta una opción rápida, eficaz y precisa cuando se refiere a la caracterización y análisis físico-térmicos de los alimentos (Martinez, 1998).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de estudio.

La investigación realizada fue de tipo básica descriptiva, el trabajo de investigación se desarrolló en los ambientes del laboratorio “Biomecánica, Biomateriales y Biomimética – BBB” de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica del Perú – PUCP.

3.2 Diseño del estudio.

El diseño de la investigación fue no experimental, debido que no se realizaron ningún tipo de tratamiento sobre las muestras de fruta silvestres, siendo colectados de forma natural y almacenados en refrigeración hasta su uso.

3.3 Población y muestra.

3.3.1 Población.

Fueron colectadas aproximadamente 1 kg de cada muestra, siendo los frutos de *O. bataua*, *E. oleracea*, *B. gasipaes* y *T. grandiflorum* recolectados en la estación experimental “Fitzcarrald” perteneciente al Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana – IIAP, ubicado a 21.5 km de la ciudad de Puerto Maldonado, carretera Puerto Maldonado – Cusco.

El fruto *O. mapora* fue recolectado en las cercanías del centro poblado de Alerta, ubicado a 115 km de Puerto Maldonado, carretera Puerto Maldonado – Iberia. En tanto que el fruto de *S. mombin* proviene de centro poblado menor Bajo Tambopata.

En la Tabla 14 se presenta las coordenadas UTM de cada muestra recolectada, así, en la Figura 7 es mostrado la ubicación georreferenciada de cada punto de colecta en la región de Madre de Dios.

Tabla 14. Punto de muestreo.

N°	Muestra	Coordenadas U.T.M. XY
1	Sinami (<i>Oenocarpus mapora</i>)	
2	Ungurahui (<i>Oenocarpus bataua</i>)	0463597 ; 8601239
3	Huasai (<i>Euterpe oleracea</i>)	0464145 ; 8600682
4	Pijuayo (<i>Bactris gasipaes</i>)	0463894 ; 8600223
5	Copoazu (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	0463998 ; 8600321
6	Ubos (<i>Spondias mombin</i>)	0481831 ; 8602270

Fuente: Elaboración propia.

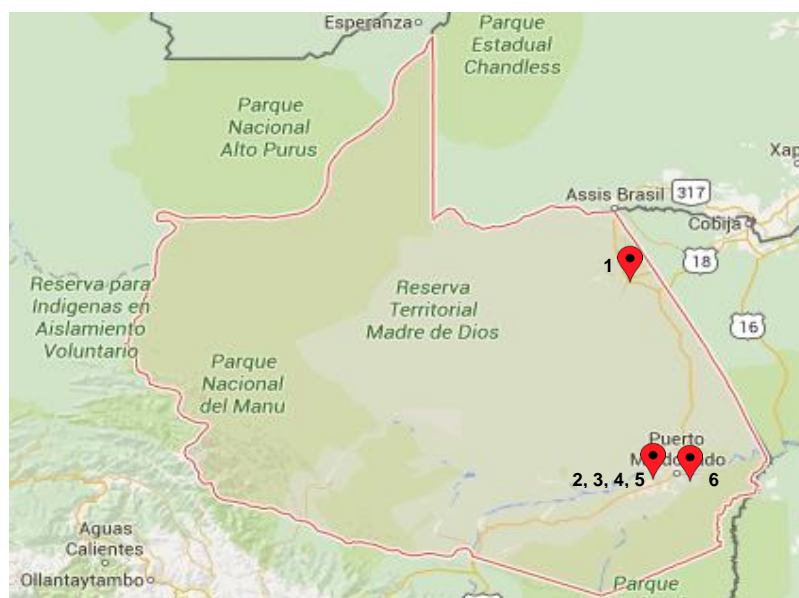


Figura 7. Mapa y punto de muestreo

Fuente: GOOGLE MAPS.

3.3.2 Muestreo.

Fue utilizado 25 mg de cada muestra de fruto silvestre.

3.4 Materiales.

- 01 Calorímetro de barrido diferencial DSC-4000, Perkin Elmer.
- 01 Balanza analítica HB43, Perkin Elmer.
- 01 Sellador de crisoles, Perkin Elmer.
- 40 Crisoles de aluminio #02190041-DSC64003 de 40 µl.
- 01 Computadora estacionaria.

- 01 Chiller y cooler.
- 01 Balón de nitrógeno UHP y oxígeno.
- 01 Pyris Software kinetic.
- 01 Pyris software StepScan.
- 01 Statgraphics Centurion XVI.I.
- 40 Bisturí.
- 01 Escalpelo.
- 05 Pinzas.
- 10 Placa Petri.
- 01 Mortero.
- 01 Cámara fotográfica.
- 05 Tapper de 5 L.
- 01 Motocicleta Yamaha AG 200.
- 01 Tijera telescópica.
- 01 Tijera de podar pequeña.
- 01 GPS Garmin 78S.
- 01 Cuaderno de apuntes y 02 lapiceros.
- 01 Cinta adhesiva (para codificar).
- 01 Marcador permanente.

3.5 Metodología

3.5.1 Acondicionamiento de las muestras y medición de las propiedades térmicas por DSC.

Cada muestra fue acondicionada de acuerdo con sus características, las pulpas de *O. mapora*, *O. bataua* y *B. gasipaes* fueron extraído con relativa facilidad. Sin embargo, el fruto de *E. oleracea* presentó mayor dificultad debido a que su pulpa es muy escasa y se ha tenido que trabajar en conjunto con su cascara. Las pulpas de *T. grandiflorum* y *S. mombin* por su carácter de frutos pulposos, la extracción de las muestras fue realizada de manera rápida y sencilla.

Utilizando un escalpelo, pinzas y mortero se procedió a pulverizar las muestras de forma manual, este procedimiento nos permitió reducir y homogenizar cada muestra; el volumen de los crisoles de aluminio fue de 40 μL , el peso promedio de cada muestra fue de 25 mg. una vez dispuesto cada muestra en cada crisol, se procedió al sellado y codificado de los mismos.

Se procedió a configurar el programa Pyris StepScan, software que controla el DSC, el rango de temperatura fue de 5°C a 300°C , con un ratio térmico de $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$. y un tiempo de 30 minutos; de igual modo se configuró el Chiller y Cooler. Fue importancia calibrar el equipo antes de iniciar cada análisis, esto eliminó posibles perturbaciones en el experimento.

El crisol sellado y codificado de cada muestra, se colocó en el equipo junto al crisol padrón y se inició con el experimento. Los termogramas generados fueron analizados por el software Pyris Kinetic, se obtuvieron reportes de calor específico y conductividad térmica de cada muestra. Se realizaron 04 replicas por cada muestra.

Cada muestra con sus respectivas replicas de calor específico C_p ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{K}$) así como de conductividad térmica K ($\text{J}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot^{\circ}\text{K})$) fueron analizados estadísticamente por medio del software Statgraphic. Se realizaron análisis de varianzas a todos los resultados con el objeto de hallar diferencias significativas entre los valores determinados experimentalmente, las muestras que presentaron homogeneidad entre sus resultados fueron utilizados en el desarrollo de las ecuaciones polinómicas que relacionaran C_p ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{K}$) con T ($^{\circ}\text{C}$) y K ($\text{J}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot^{\circ}\text{K})$) con T ($^{\circ}\text{C}$).

3.6 Tratamiento de los datos

3.6.1 Análisis de varianza simple por replica

Se comprobó el efecto de un solo factor sobre los valores de C_p ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{K}$) e K ($\text{J}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot^{\circ}\text{K})$) respectivamente, para que ello, se procedió a la descomposición de la varianza en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de grupos. En tanto, la razón F resultó del

cociente entre el estimado entre grupo y el estimado dentro de grupo. El análisis estadístico estuvo estructurado de la siguiente manera:

- Variables dependientes: Cp (kJ/kg.°K) y K (J/(m.s.°K))
- Factor: replicas
- Número de observaciones (datos experimentales): 40
- Número de niveles: 4 (Muestra 1= P1; muestra 2= P2; muestra 3= P3; muestra 4= P4)

Tabla 15. Ecuación básica del análisis de varianza por replica.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F
Entre grupos	$BSS = n_i \sum_{i=1}^k (\bar{X}_i - \bar{X})^2$	$k - 1$	$BMS = \frac{BSS}{k - 1}$	$\frac{BSS}{EMS}$
Intra grupos	$WSS = \sum_{i=1}^k \left[\sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2 \right]$	$n - k$	$EMS = \frac{WSS}{n - k}$	
Total (Corr.)	$TSS \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_j} (X_{ij} - \bar{X})^2$	$n - 1$		

Fuente: Elaboración propia.

3.6.2 Prueba de rango múltiple.

Las comparaciones efectuadas se basaron en la distribución del rango estudentizados, cuya definición se realizó en término del número de grupo que fue comparado y de los grados de libertad del estimador de la varianza.

Para definir el *recorrido* o *rango estudentizados*, se contó con “k” observaciones independientes “ y_1, y_2, \dots, y_k ” en una distribución Normal con media μ y varianza σ^2 . Con asistencia del software Statgraphics Centurion XVI.I se dispuso de un estimador S^2 de σ^2 que tenía ϑ grados de libertad e independiente de y_1 . Sea “R” el rango de este conjunto de observaciones.

$$R = \text{máx}(y_i) - \text{mín}(y_i)$$

Bajo estas condiciones, se ha definido el rango estudentizado como el cociente:

$$\frac{\text{máx}(y_i) - \text{mín}(y_i)}{S} = \frac{R}{S}$$

El método empleado para discriminar entre las medias fue: procedimiento de Diferencia Honestamente Significativa (HDS) de Tukey 95.0%. Para ello se construyó intervalos de confianzas con coeficiente de confianza conjunto $1 - \alpha$ para todas las posibles comparaciones por parejas asociadas a los "I" niveles. Para construir dichos intervalos fue considerado las desviaciones:

$$(\bar{y}_1 - \mu_1), (\bar{y}_2 - \mu_2), \dots, (\bar{y}_I - \mu_I)$$

En tal sentido, el procedimiento de Tukey resuelve el contraste

$$H_0: \mu_i = \mu_j \quad Vs \quad H_1: \mu_i \neq \mu_j$$

De la siguiente manera

$$Si |\bar{y}_i - \bar{y}_j| \leq HSD \Rightarrow \text{Acepta } H_0$$

$$Si |\bar{y}_i - \bar{y}_j| > HSD \Rightarrow \text{Rechazar } H_0$$

3.6.3 Anova para los modelos matemáticos ajustados.

3.6.3.1 Ecuación básica del análisis de la varianza.

Se aplicó un análisis de varianza, en donde se examinó que proporción de la variabilidad total es explicada por el modelo regresión:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_K X_K + U$$

La ecuación básica del análisis de varianza es la siguiente:

$$\sum (y_i - \bar{y})^2 = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 + \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2$$

SCT: Suma de cuadrados totales.

SCE : Suma de cuadrado residual.

$SCReg$: Suma de cuadrados de la regresión.

Tabla 16. Ecuación básica del análisis de varianza para los modelos ajustados.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad (GI)	Cuadrado Medio	Razón-F
Modelo (regresión)	$SCReg = \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2$	k	$MCREg = \frac{SCReg}{k}$	$\frac{MCREg}{MCE}$
Residual	$SCE = \sum (y_1 - \hat{y}_i)^2$	$n - k - 1$	$MCE = \frac{SCE}{n - k - 1}$	
Total (Corr.)	$SCT = \sum (y_1 - \bar{y})^2$	$n - 1$		

Fuente: Elaboración propia.

3.6.3.2 Coeficiente de determinación.

$$R^2 = \frac{SCReg}{SCT} = 1 - \frac{SCE}{SCT}; \quad 0 \leq R^2 \leq 1$$

Esto representa la proporción de variación de “y” explicada por la regresión.

Si $R^2 = 0 \Rightarrow SCReg = 0$: El modelo no es explicativo, ninguna de las variables explicativas influye en la respuesta.

Si $R^2 = 1 \Rightarrow SCReg = SCT$: El modelo es explicativo, al menos una de las variables X_j influye en la respuesta.

Un valor de R^2 cercano a 1 significa que mayor cantidad de variación total es explicada por el modelo de regresión lineal.

3.6.3.3 Contraste de regresión.

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

$$H_0: \beta_j \neq 0 \text{ para algún } j = 1, \dots, k$$

Fijado un nivel de significancia α , se rechaza H_0 si $F_{exp} > F_{\alpha, k, n-k-1}$.

CAPÍTULO IV: RESULTADO Y DISCUSIÓN.

4.1 Termograma.

4.1.1 Pulpa de sinami (*O. mapora*).

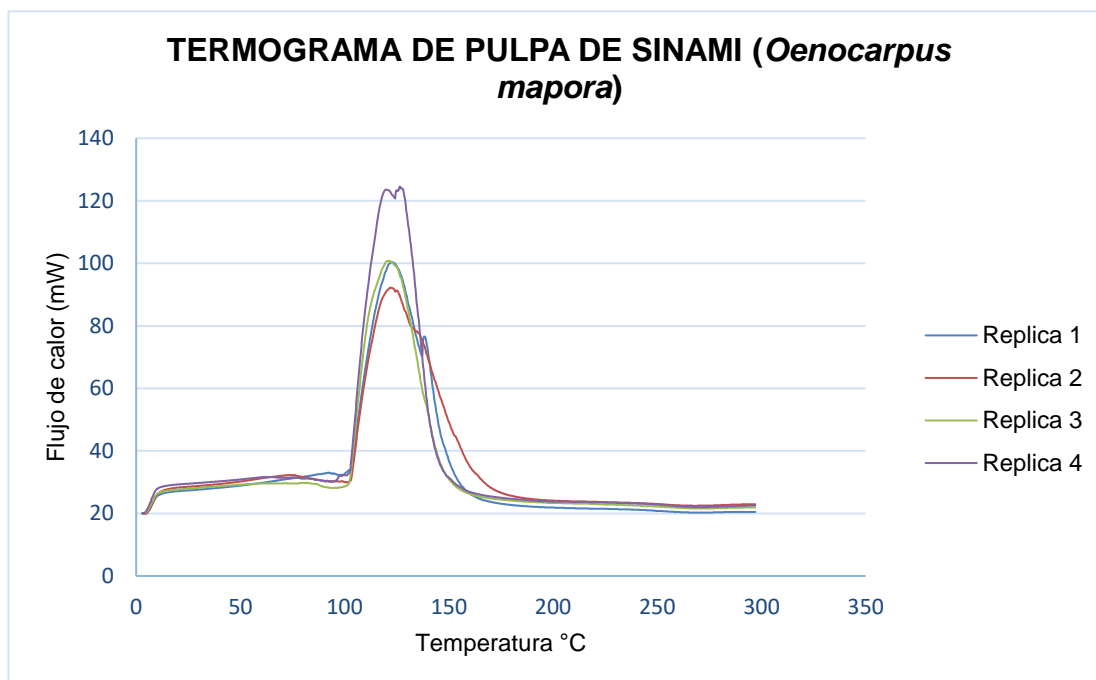


Figura 8. Termograma de la pulpa de *O. mapora*.

Fuente: Elaboración propia.

Los picos máximos que representan la temperatura de fusión fueron:

Tabla 17. Temperatura de fusión de la pulpa de *O. mapora*.

Replica	Flujo máximo de calor (mW)	Temperatura de fusión (T°)	Observación
Replica 1	100.35	122.68	Pico único y bien definido
Replica 2	92.22	117.04	Pico único y bien definido
Replica 3	100.89	121.27	Pico único y bien definido
Replica 4	124.56	120.43	El termograma presenta un pico secundario en 138.31°C

Fuente: Elaboración propia.

Los termogramas de las replicas 1, 2 y 3 (Figura 8 y Tabla 17) presentaron características muy similares, con picos bien definidos y únicos. No obstante, el termograma de la replica 4, aunque similar a las anteriores, presentó una bifurcación a 138.31°C, ocasionando que se forme un pico secundario, esta

variación podría haber influido en el análisis de rango múltiples, generando diferencias significativas entre otras replicas, causando que esta replica sea discriminada.

De acuerdo con Albella, Cintas y Miranda (1993), los termogramas describieron un proceso de fusión como resultado del aumento de la temperatura, esto genero picos endotérmicos en las temperaturas de fusión mostradas en la Tabla 17. El mayor valor de flujo de calor fue de la replica 4 (124.56 mW a 120.43°C) y el menor valor fue de la replica 2 (92.22 mW a 117.04°C). Sin embargo, la replica 1 resulto con un valor mayor de temperatura de fusión (122.68°C) en relación a las otras replicas, pero el flujo de calor fue de 100.35 mW, estando dentro del rango de experimento (92.22 – 124.56 mW). Estos valores posiblemente presentaron bajos niveles de correlación y posiblemente fue un factor más que ocasiono que el análisis de rango múltiple mostrara diferencias significadas entre cada replica.

También Albella, Cintas y Miranda (1993), indican que posterior a la temperatura máxima de fusión, se inicia un proceso de degradación de la materia. Así mismo, la pulpa de *O. mapora* por su composición química mostró características de un sistema irregular y complejo, causando que la temperatura máxima de fusión sea distinta en cada replica y, por ende, sea también diferente el inicio del proceso de degradación en cada una de ellas. Al término del proceso, las muestras degradadas sufrieron un cambio físico y químico transformándose en ceniza.

Desde el punto de vista termodinámico y en relación a la entalpia (H), el proceso de fusión aplicado sobre las replicas de *O. mapora*, ocasionaron reacciones endotérmicas generando un incremento en la entalpia (ΔH) positiva, es decir, fue mayor la energía de las replicas en comparación a la energía de la muestra padrón.

4.1.2 Pulpa de ungurahui (*O. bataua*).

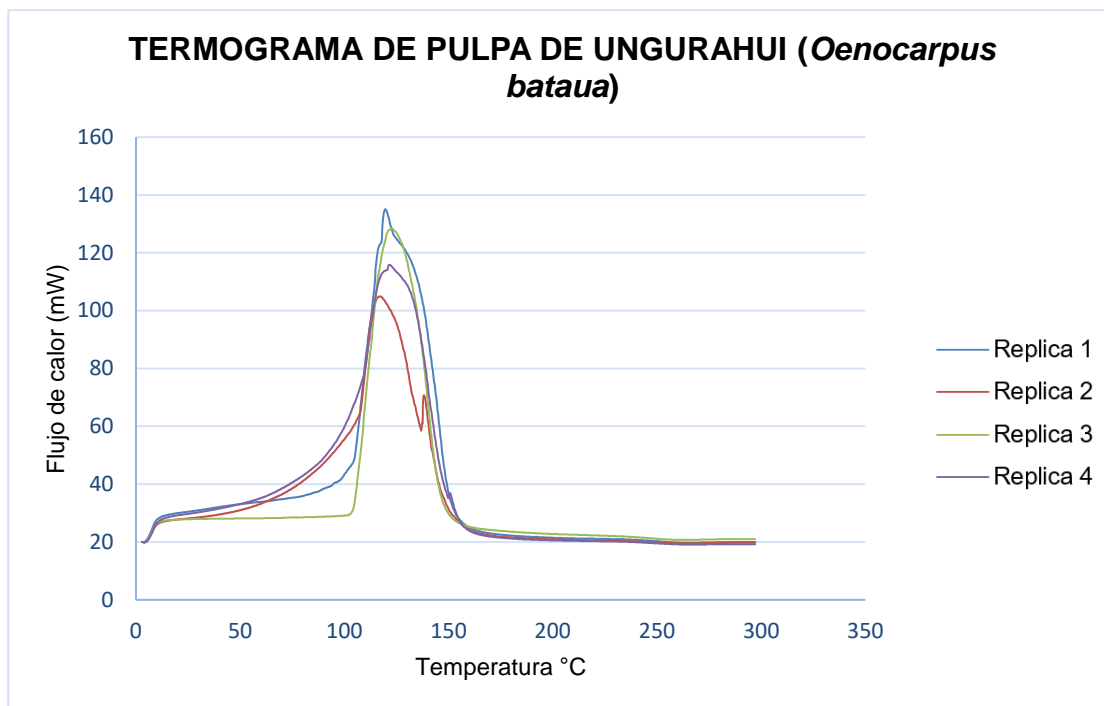


Figura 9. Termograma de la pulpa de *O. bataua*.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Temperatura de fusión de la pulpa de *O. bataua*.

Replica	Flujo máximo de calor (mW)	Temperatura de fusión (T°)	Observación
Replica 1	135.08	119.73	Pico único.
Replica 2	104.95	116.80	Pico secundario en 138.32 °C.
Replica 3	128.43	122.65	Pico único.
Replica 4	115.90	121.73	Pico único.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 9, el termograma correspondiente a la muestra de *O. bataua* muestra distintos valores de temperaturas de fusión para cada muestra, incluso el gráfico de la replica 2 presentó un segundo pico térmico a 138.32°C, esto podría influir en un análisis estadístico de 5°C a 300°C; sin embargo, en nuestro caso, hemos realizado la investigación entre los valores de 10°C a 100°C, cuyo rango muestra curvas térmicas similares, en el desarrollo del análisis estadísticos esta característica podrá ser evaluado, calculado y estimado.

4.1.3 Pulpa de huasai (*E. oleracea*).

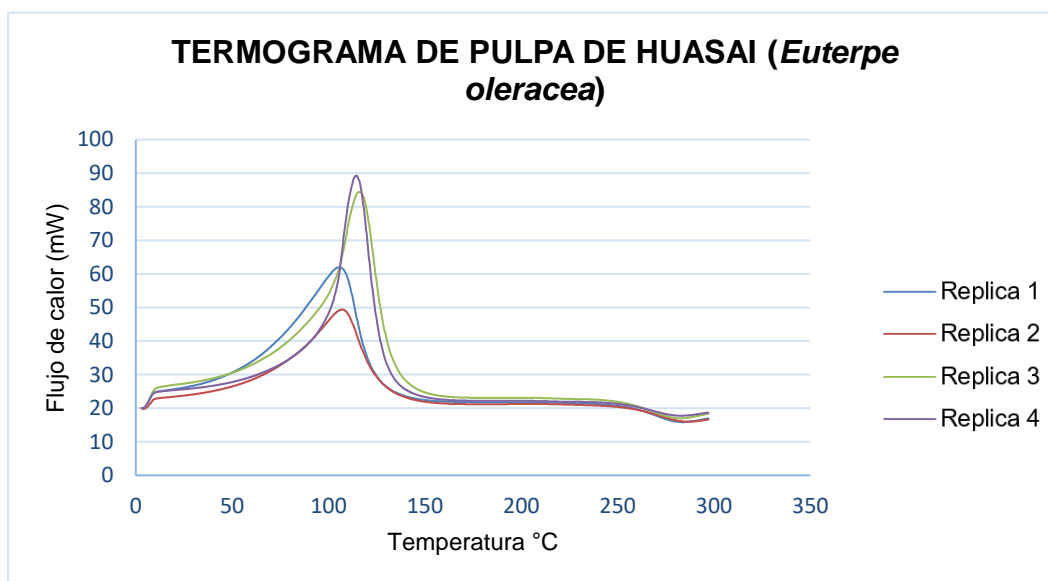


Figura 10. Termograma de la pulpa de *E. oleracea*.

Fuente: Elaboración propia.

Los máximos del pico, que representan la temperatura de fusión sería:

Tabla 19. Temperatura de fusión de la pulpa de *E. oleracea*.

Replica	Flujo máximo de calor (mW)	Temperatura de fusión (T°)	Observación
Replica 1	61.98	105.59	...
Replica 2	49.38	106.99	...
Replica 3	84.46	116.03	...
Replica 4	89.28	114.38	...

Fuente: Elaboración propia.

Los termogramas de la figura 10 presentaron picos relativamente limpios, sin embargo, las diferencias entre ellos fueron muy importantes, esto no permitió asegurar la homogeneidad de la muestra. De hecho, las diferencias entre las replicas 1-2 y replicas 3-4 son significativas, incluso en la temperatura de fusión, se observó que esta diferencia aumento con relación al aumento de la temperatura del experimento. No obstante, esta investigación se enmarco entre el intervalo de temperatura de 10°C a 100°C, la variación de los termogramas en este intervalo fue mínimas, mayor a 100°C se percibió el proceso de degradación de la muestra.

4.1.4 Pulpa de pijuayo (*B. gasipaes*).

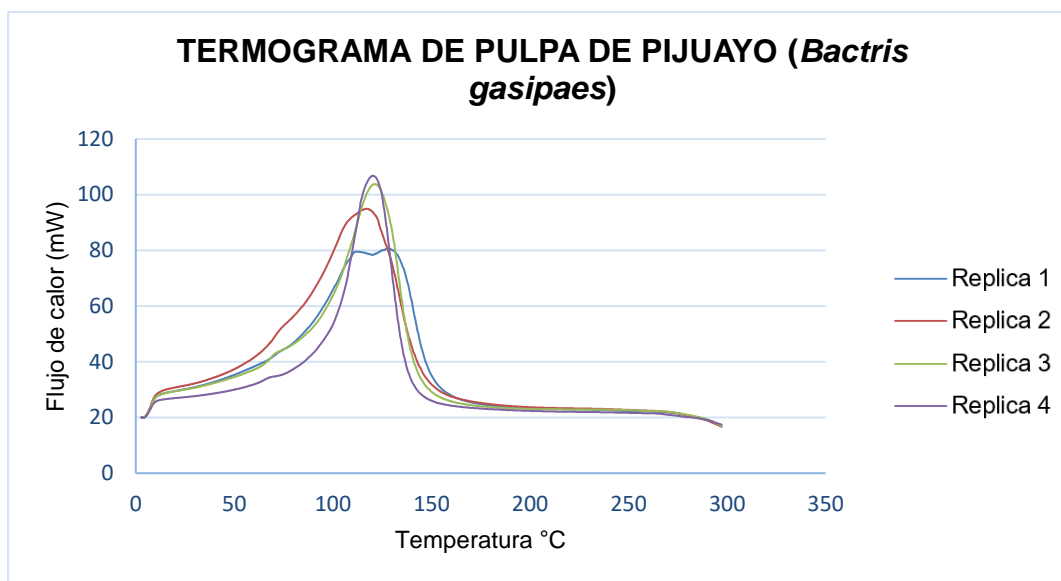


Figura 11. Termograma de la pulpa de *B. gasipaes*.

Fuente: Elaboración propia.

Los máximos del pico, que representan la temperatura de fusión sería:

Tabla 20. Temperatura de fusión de la pulpa de *B. gasipaes*.

Replica	Flujo máximo de calor (mW)	Temperatura de fusión (T°)	Observación
Replica 1	79.58 / 80.61	112.12 / 127.76	La señal presenta dos máximos. Además, el gráfico no permite asegurar que el pico no se inicie antes de la temperatura T ₀ elegida para iniciar el ensayo.
Replica 2	94.95	117.04	La señal presenta un hombro considerable a temperaturas inferiores al máximo.
Replica 3	103.78	121.27	Pico único. No se puede asegurar que el inicio sea antes de la T ₀ elegido.
Replica 4	106.81	120.43	Pico único

Fuente: Elaboración propia.

Nuevamente se percibió diferencias significativas entre los termogramas, esta característica fue clasificada como extraño tratándose de replicas de una misma muestra. Esta característica podría deberse a la composición proximal de la muestra, así como error en la metodología o en el uso del equipo DSC.

4.1.5 Pulpa de copoazú (*T. grandiflorum*).

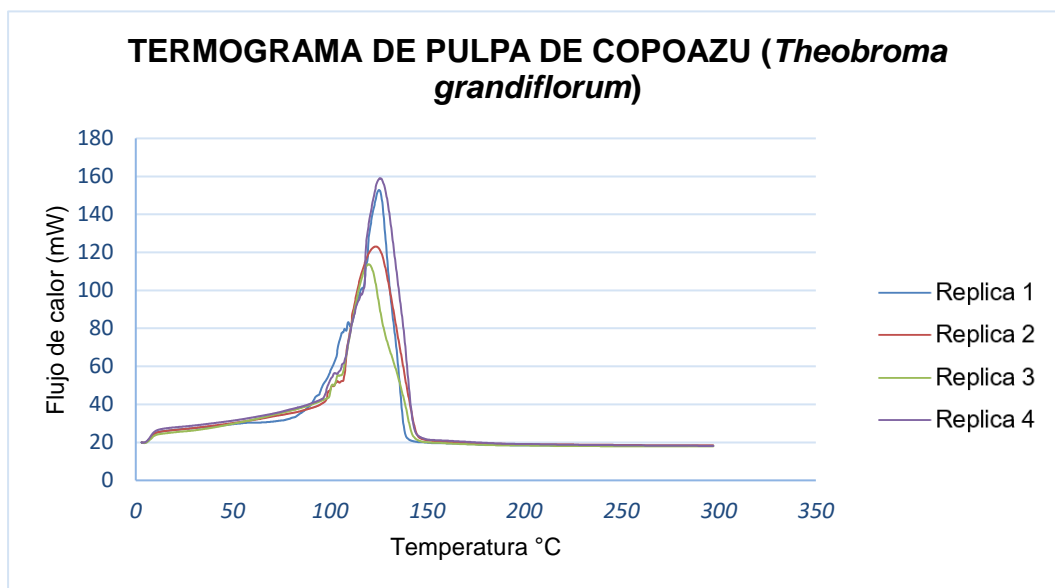


Figura 12. Termograma de la pulpa de *T. grandiflorum*.

Fuente: Elaboración propia.

Los máximos del pico, que representan la temperatura de fusión sería:

Tabla 21. Temperatura de fusión de la pulpa de *T. grandiflorum*.

Replica	Flujo máximo de calor (mW)	Temperatura de fusión (T°)	Observación
Replica 1	152.84	125.22	La señal presenta ruido en la subida.
Replica 2	123.08	123.58	La señal presenta ruido en la subida.
Replica 3	113.73	119.81	La señal presenta ruido en la subida.
Replica 4	159.08	125.58	La señal presenta ruido en la subida.

Fuente: Elaboración propia.

La forma de cada pico de los termogramas mostrado en la figura 12 fueron similares en todos los casos. Así mismo, se observó diferencias significativas en los máximos de las distintas señales. Así comparando la replica 3 y 4 tienen un inicio muy similar, desde el origen del termograma y su aumento es también similar, pero el máximo se produce a valores hasta un 25% inferiores en la replica 3 que en la replica 4.

4.1.6 Pulpa de ubos (*S. mombin*).

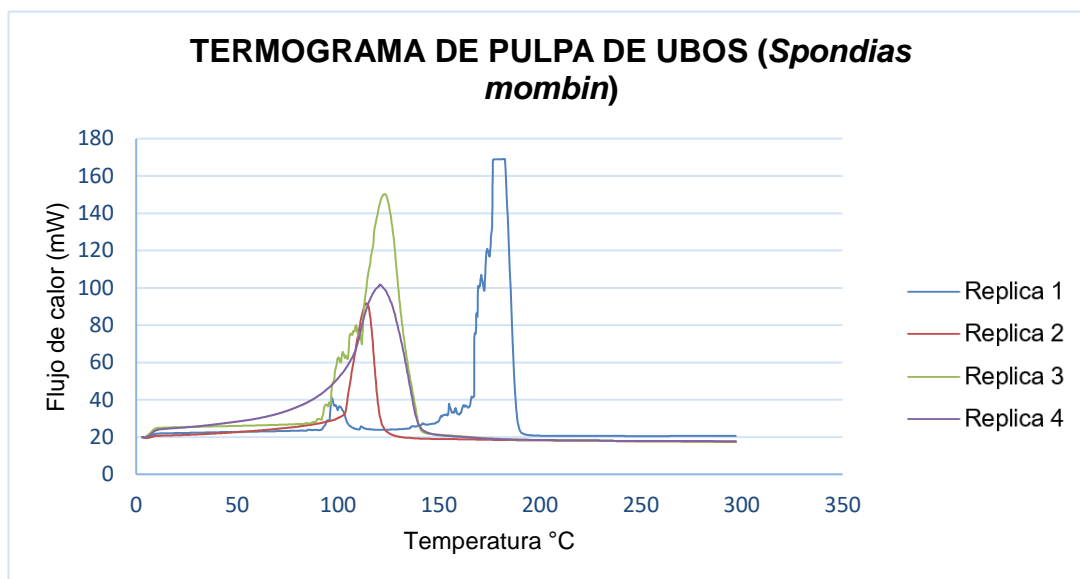


Figura 13. Termograma de la pulpa de *S. mombin*

Fuente: Elaboración propia.

Los máximos del pico, que representan la temperatura de fusión sería:

Tabla 22. Temperatura de fusión de la pulpa de *S. mombin*.

Replica	Flujo máximo de calor (mW)	Temperatura de fusión (T°)	Observación
Replica 1	40.78/169.06	97.01 / 182.77	Picos no excesivamente bien definidos.
Replica 2	91.69	114.07	Pico único y bien definido.
Replica 3	150.30	123.14	Pico único. Señal con mucho ruido en las bajas temperaturas. Se aprecia como mínimo un hombro, que podrían considerarse incluso 2 en la región de T=100°C.
Replica 4	101.79	120.79	Pico único.

Fuente: Elaboración propia.

El termograma (Tabla 22) de la replica 1 mostró un comportamiento diferente con relación a las otras replicas, ocasionando que sea descartado para efectos comparativos. Esto podría deberse a su carácter heterogéneo reflejado en la consistencia de la pulpa de *S. mombin*.

4.2 Valores experimentales de calor específico y conductividad térmica.

De acuerdo con los objetivos de la investigación, las propiedades termofísicas de las muestras fueron evaluadas entre el rango de temperatura de 10°C a 100°C. Para ello, de los termogramas visualizados anteriormente se seleccionaron los datos que estuvieran dentro del mencionado rango de temperatura y mediante el uso del programa “Pyris Software kinetic” se procedió a transformarlos en valores de calor específico y conductividad térmica, estos resultados se observan en la Tabla 23 y Tabla 24, respectivamente.

Tabla 23. Datos de calor específico Cp (kJ/Kg.K) vs temperatura T° (°C), con Cp promedio \pm desvío estándar (Cp \pm DS)

Sinami (<i>O. mapora</i>)**					
T (°C)	Cp ₁	Cp ₂	Cp ₃	Cp ₄	Cp \pm DS
10	5,661	4,743	5,243	5,755	
20	6,030	5,141	5,533	6,058	
30	6,140	5,238	5,641	6,158	
40	6,272	5,350	5,746	6,266	
50	6,427	5,494	5,845	6,388	
60	6,614	5,679	5,922	6,535	
70	6,840	5,834	5,922	6,504	
80	7,048	5,744	5,958	6,442	
90	7,278	5,524	5,703	6,309	
100	7,258	5,458	5,730	6,682	
Ungurahui (<i>O. bataua</i>)					
10	5,363	5,997	6,088	5,492	5.74 \pm 0.36
20	5,808	6,412	6,410	6,050	6.17 \pm 0.30
30	5,998	6,581	6,450	6,265	6.32 \pm 0.25
40	6,215	6,817	6,477	6,536	6.51 \pm 0.25
50	6,406	7,160	6,496	6,858	6.73 \pm 0.35
60	6,560	7,679	6,514	7,284	7.01 \pm 0.57
70	6,738	8,415	6,542	7,972	7.42 \pm 0.92
80	6,947	9,473	6,583	8,880	7.97 \pm 1.42
90	7,441	10,912	6,638	10,149	8.79 \pm 2.07
100	8,396	12,849	6,725	12,368	10.08 \pm 3.00
Huasai (<i>E. oleracea</i>)*					
10	6,740	6,211	6,711	4,938	6.55 \pm 0.30
20	7,002	6,394	7,033	5,080	6.81 \pm 0.36
30	7,288	6,579	7,242	5,186	7.04 \pm 0.40
40	7,723	6,847	7,542	5,338	7.37 \pm 0.46
50	8,350	7,221	7,969	5,559	7.85 \pm 0.57
60	9,248	7,750	8,577	5,875	8.53 \pm 0.75
70	10,456	8,485	9,421	6,324	9.45 \pm 0.99
80	12,046	9,495	10,555	6,960	10.70 \pm 1.28
90	14,034	10,811	12,042	7,910	12.30 \pm 1.63
100	16,196	12,568	14,117	9,659	14.29 \pm 1.82
Pijuayo (<i>B. gasipaes</i>)					
10	6,033	5,094	5,111	4,676	5.23 \pm 0.57

Continua de anterior.

20	6,565	5,602	5,521	4,904	5.65 ± 0.69
30	6,869	5,868	5,755	5,033	5.88 ± 0.76
40	7,296	6,262	6,078	5,215	6.21 ± 0.85
50	7,849	6,793	6,482	5,459	6.25 ± 0.98
60	8,517	7,569	6,976	5,806	7.22 ± 1.13
70	9,354	8,860	8,006	6,310	8.13 ± 1.34
80	10,423	10,252	8,703	6,808	9.05 ± 1.68
90	12,120	11,938	9,866	7,841	10.44 ± 2.01
100	14,666	14,426	11,974	9,678	12.69 ± 2.35
Copoazú (<i>T. grandiflorum</i>)					
10	7,831	7,108	6,800	7,071	7.20 ± 0.44
20	8,401	7,575	7,238	7,611	7.71 ± 0.49
30	8,680	7,881	7,517	7,877	7.99 ± 0.49
40	8,976	8,240	7,957	8,216	8.35 ± 0.44
50	9,334	8,625	8,524	8,581	8.77 ± 0.38
60	9,609	9,061	9,116	9,028	9.20 ± 0.27
70	9,760	9,592	9,803	9,548	9.68 ± 0.12
80	10,377	10,113	10,496	10,216	10.30 ± 0.17
90	12,556	10,858	11,379	11,034	11.46 ± 0.76
100	18,145	13,596	13,510	14,407	14.91 ± 2.19
Ubos (<i>S. mombin</i>)**					
10	11,876	13,758	7,792	6,760	
20	12,057	13,963	7,967	7,096	
30	12,174	14,246	8,041	7,345	
40	12,308	14,627	8,123	7,685	
50	12,410	15,077	8,200	8,080	
60	12,506	15,611	8,281	8,554	
70	12,614	16,277	8,378	9,267	
80	12,749	17,012	8,504	10,358	
90	12,948	18,127	9,400	11,995	
100	19,097	20,156	19,706	14,740	

* Datos de color rojo fueron discriminados no siendo considerados para obtener el valor promedio de Cp y desvío estándar (Cp ± DS) para dicha muestra.

** Datos de color rojo no fueron utilizados en la determinación del valor promedio de Cp y desvío estándar (Cp ± DS) para dicha muestra, por presentar el 50% de datos experimentales diferentes entre sí.

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de Cp en la Tabla 23 muestran un padrón ascendente desde 10°C a 100°C en la mayoría de los casos, investigadores como Cabral *et al.*, (2007) y Muramatsu *et al.*, (2010) demostraron que el calor específico aumenta en función del aumento de la temperatura para cada muestra y al mismo tiempo disminuye con el aumento de la concentración másica de dichas muestras. Por tanto, esta característica podría deberse a su composición de sólidos solubles y su conformación heterogénea de componentes nutricionales (Muniz *et al.*, 2006). No obstante, la muestra de *O. mapora* presento valor de Cp ascendentes y descendente en las 4 replicas, siendo los puntos de inflexión

7.278 kJ/kg.°K (90°C), 5.834 kJ/kg.°K (70°C), 5.958 kJ/kg.°K (80°C) y 6.535 kJ/kg.°K (60°C) correspondiendo a las replicas Cp₁, Cp₂, Cp₃ y Cp₄, respectivamente (Tabla 23) y se optó por no calcular el promedio de dichas replicas. Este comportamiento podría deberse a un proceso de oxidación de los lípidos totales (58.24 ± 0.07 g/100g b.s. – Tabla 2) en combinación al elevado contenido de humedad (88.60 ± 0.14 % – Tabla 2) o de alguna otra reacción de algún compuesto, en la Tabla 2 se observa la composición bromatológica de la pulpa de *O. mapora* (Nogueira *et al.*, 2014). También podría deberse a la presencia de trazas de cascara, siendo el DSC un equipo ultrasensible, cualquier variación en la composición o presencia de cuerpos extraños en la muestra producen errores de medición, pudiendo ser este uno de los casos por la cual, esta muestra presentó dicho comportamiento.

Los valores de Cp pertenecientes a las muestras de *O. batava*, *E. oleracea*, *B. gasipaes*, *T. grandiflorum* y *S. mombin* presentaron un comportamiento ascendente en función al aumento de la temperatura.

De acuerdo a lo mencionado por Ocampo, Fernández y Castro (2013), las muestras de *O. batava* presentaron altos niveles de ácidos grasos (Tabla 3), de los cuales los más representativos son el ácido oleico (81.17 ± 1.0 %), ácido palmítico (12.80 ± 1.0 %) y el ácido esteárico (4.24 ± 0.5%), con nivel de 81.93 ± 1.0 % de ácidos insaturados y 3.25 ± 0.5% de ácidos saturados, además de una comparación con el aceite de oliva. Se podría afirmar que, durante el desarrollo de los experimentos, los ácidos grasos presentes en la muestra se mantuvieron estables, por lo cual, las curvas térmicas de las distintas replicas mostraron homogeneidad entre sí, teniendo una evolución térmica ascendente y progresiva en función al aumento de la temperatura dentro del intervalo de estudio. En la Tabla 23, se observa que los valores promedio de Cp de la muestra de *O. batava* varían entre 5.735 – 10.085 kJ/kg.°K, en un rango de temperatura de 10 – 100°C. Entre las replicas, la replica Cp₁ presentó el menor valor de Cp (5.363 kJ/kg.°K a 10°C) en comparación a las otras replicas en el mismo nivel de temperatura, de igual modo, la replica Cp₂ presentó el mayor valor de Cp (12.849 kJ/kg.°K a 100°C)

en relación a los otros valores en el mismo nivel de temperatura. Cabe resaltar que la muestra Cp₃ presentó menor variación entre sus valores de Cp, teniendo un valor mínimo de Cp de 6.088 kJ/kg.°K a 10°C y un valor máximo de 6.725 kJ/kg.°K a 100°C, lo que significa que la variación entre 10°C a 100°C fue menor a 1 kJ/kg.°K, esta característica fue diferente para las replicas Cp₂ e Cp₄, en las cuales se observa que el valor Cp máximo a 100°C fue más del doble del valor de Cp a 10°C, la replica Cp₁ presentó una variación menor al doble de su valor inicial.

En la Tabla 4 y Tabla 5, Sanabria y Sangronis (2007), determinaron la composición proximal, el perfil de ácidos grasos, el contenido de minerales, taninos, polifenoles, antocianinas y la capacidad antioxidante de la pulpa del fruto de *E. oleracea*, en la cual, los investigadores afirman que este fruto es una fuente potencial de antocianinas para la industria. De igual modo, Sobottka y Pimentel (1998) por el método de mezclas, determinaron experimentalmente las propiedades termofísicas del jugo de *E. oleracea*, teniendo un valor promedio de Cp igual a 3.69 J/g.°C a 40°C, sin embargo, ninguna de las replicas resultó con valores cercano a lo determinado por Sobottka y Pimentel (1998), siendo el valor promedio de las replicas Cp₁, Cp₂ y Cp₃ igual a 7.371 kJ/kg.°K a 40°C (Tabla 23), representado el doble del valor reportado a la misma temperatura.

Buranela, Mirando y Godoy (2015), teniendo como base los valores centesimales de los componentes bromatológicos de fruto de *B. gasipaes* y mediante la aplicación de modelos matemático, determino un valor de Cp igual a 3.86 kJ/kg.°C a 25°C, no obstante, los valores promedio de Cp determinados en esta investigación estuvieron entre el rango de 5.228 a 12.686 kJ/kg.°K, una posible explicación sería el índice de madurez del fruto, así como la procedencia del mismo y los métodos de cultivo, estas son algunas de las variables que podrían ocasionar diferencia en la composición bromatológico, de igual modo, el modelo matemático empleado podía aportar cierta divergencia en el cálculo. Los valores de Cp a 10°C de las replicas Cp₁, Cp₂, Cp₃ y Cp₄ fueron: 6.003 kJ/kg.°K, 5.094 kJ/kg.°K, 5.111 kJ/kg.°K y 4.676

kJ/kg.°K respectivamente; a 100°C fueron: 14.666 kJ/kg.°K, 14.426 kJ/kg.°K, 11.974 kJ/kg.°K y 9.678 kJ/kg.°K respectivamente, cabe resaltar que la replica Cp₄ presento el menor valore en relación a las otras replicas.

Dantas (2010) realizó un estudio de las propiedades reológicas de la pulpa de *T. grandiflorum*, teniendo como variable de estudio diferentes concentraciones de sólidos solubles (14, 17, 18, 23 y 25 °Brix) y temperatura (10, 20, 25, 30, 40, 50, 60 y 70°C). En la Tabla 11, se observa que una muestra a 20°C presento valores de Cp diferentes en función de los sólidos solubles totales como se muestra a continuación: 4.17 ± 0.14 kJ/kg.°K (14 °Brix), 3.88 ± 0.09 kJ/kg.°K (17 °Brix), 3.88 ± 0.03 kJ/kg.°K (19 °Brix), 3.59 ± 0.17 kJ/kg.°K (23 °Brix) y 3.67 ± 0.07 kJ/kg.°K (25 °Brix), de igual modo, Araújo, Queiroz y Figueirêdo (2004) verificaron que los resultados medios experimentales obtenidos para el Cp de las muestras de pulpa de *T. grandiflorum* presentaron variación entre un mínimo de 3.18 kJ/kg.°C de material tamizado y máximo de 3.71 kJ/kg.°C de la muestra de 9 °Brix. Esto sugiere que existe una correspondencia entre los valores de Cp, el contenido de los sólidos solubles y temperatura. También Moura *et al.*, (1998) determinaron entre el rango de temperatura de 10 a 80°C valores de Cp igual a 3.89 kJ/kg.°C, este dato es próximo a la muestra con 14 °Brix y 17 °Brix. Sin embargo, estos valores presentan diferencias significativas entre los valores promedios determinados en esta investigación, los cuales fueron de 7.203 kJ/kg.°K a 10°C e 14.915 kJ/kg.°K a 100°C (Tabla 23). Una posible explicación sería el índice de madurez del fruto, así como las condiciones agrícolas y ambientales en la cual el fruto fue producido; también el método empleado para determinar esta propiedad podría ocasionar diferencias sustanciales, la alta sensibilidad y precisión del DSC en contraste al método de mezclas.

Igual que en el caso de la muestra de *O. mapora*, el modelo matemático para el Cp de la pulpa de *S. mombin* no fue determinado, a pesar que los valores de Cp poseen características ascendentes y progresivas (diferentes al caso de *O. mapora*). Durante el análisis de rango múltiple (Tabla 27), se determinó que existían diferencias significativas entre las replicas, observándose dos

grupos homogéneos constituidos por dos replicas cada uno, esto representa el 50 % de los datos en cada grupo, de acuerdo a la investigación de Mattietto, Lopes y Menezes (2010), la pulpa de *S. mombin* presenta un valor de sólidos solubles igual a 10.09 ± 0.00 °Brix a 28°C y 89.42 ± 0.18 % de humedad (Tabla 12), este elevado contenido de humedad podría haber tenido influencia en la medición de los resultados. A 10°C, los valores de Cp fueron de 11.876 kJ/kg.°K, 13.758 kJ/kg.°K, 7.792 kJ/kg.°K y 6.760 kJ/kg.°K correspondiente a las replicas Cp₁, Cp₂, Cp₃ y Cp₄. A 100°C, los valores de Cp fueron de 19.097 kJ/kg.°K, 20.156 kJ/kg.°K, 19.706 kJ/kg.°K y 14.740 kJ/kg.°K en comparación al valor de la replica Cp₄ tanto a 10°C e 100°C, como se mencionó anteriormente, la composición bromatológica y física del fruto, así como la manipulación de los crisoles y la muestra pudieron haber tenido incidencia significativa en la determinación.

Tabla 24. Datos de conductividad térmica K (J/m.s.°K) vs T^a (°C), con K promedio \pm desvío estándar (K \pm DS)

Sinami (<i>O. mapora</i>)					
T (°C)	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K \pm DS
10	12.832	12.393	13.193	14.003	13.11 \pm 0.68
20	12.715	13.255	12.965	13.720	13.16 \pm 0.43
30	13.757	14.346	13.219	13.946	13.82 \pm 0.47
40	14.056	14.657	14.305	14.193	14.40 \pm 0.26
50	13.557	15.058	14.550	14.470	14.41 \pm 0.62
60	13.958	15.569	14.736	14.803	14.77 \pm 0.66
70	14.439	15.043	13.865	15.642	14.75 \pm 0.77
80	14.875	14.735	13.925	14.600	14.53 \pm 0.42
90	15.366	14.212	13.321	14.214	14.28 \pm 0.84
100	15.491	13.968	13.448	16.128	14.76 \pm 1.26
Ungurahui (<i>O. bataua</i>)*					
10	14.002	13.102	13.295	12.639	13.25 \pm 0.69
20	14.956	13.840	13.823	14.577	14.46 \pm 0.57
30	14.537	14.208	13.906	14.207	14.32 \pm 0.19
40	15.065	14.729	13.140	14.829	14.87 \pm 0.17
50	15.521	15.490	13.178	15.569	15.53 \pm 0.04
60	15.890	16.645	13.215	16.563	16.37 \pm 0.41
70	16.328	17.193	13.275	19.319	17.61 \pm 1.54
80	16.864	20.654	13.363	20.297	19.27 \pm 2.09
90	18.102	22.453	13.479	24.814	21.79 \pm 3.40
100	20.774	26.534	13.660	28.755	25.35 \pm 4.12
Huasai (<i>E. oleracea</i>)					
10	11.634	11.379	12.915	11.616	11.89 \pm 0.70
20	12.792	10.987	12.638	12.646	12.27 \pm 0.86
30	12.542	11.311	13.019	12.152	12.26 \pm 0.72
40	13.306	11.779	13.570	12.515	12.79 \pm 0.81
50	14.408	13.214	14.354	13.042	13.75 \pm 0.73
60	15.990	13.363	15.473	13.802	14.66 \pm 1.27

Continúa de anterior.

70	18.126	15.575	17.029	14.878	16.40 ± 1.46
80	22.266	16.430	19.125	16.411	18.56 ± 2.78
90	24.457	18.760	23.267	18.733	21.30 ± 2.99
100	28.168	21.861	25.854	24.667	25.14 ± 2.62
Pijuayo (<i>B. gasipaes</i>)					
10	13.713	14.185	13.758	12.920	13.64 ± 0.53
20	14.731	15.368	13.815	13.433	14.34 ± 0.88
30	14.514	16.111	14.407	12.980	14.50 ± 1.28
40	15.434	17.219	16.188	14.300	15.79 ± 1.23
50	16.622	18.716	16.256	14.981	16.64 ± 1.55
60	19.188	19.680	17.521	15.017	17.85 ± 2.10
70	19.905	23.268	20.235	16.267	19.92 ± 2.87
80	23.611	26.767	23.306	18.791	23.12 ± 3.28
90	26.004	33.435	25.013	21.758	26.55 ± 4.93
100	31.703	38.330	32.729	25.609	32.09 ± 5.21
Copoazú (<i>T. grandiflorum</i>)					
10	12.484	12.515	11.946	13.067	12.50 ± 0.46
20	13.260	12.435	11.886	13.087	12.67 ± 0.63
30	12.891	12.942	12.347	13.549	12.93 ± 0.49
40	13.331	13.535	13.082	14.137	13.52 ± 0.45
50	13.869	14.172	14.021	14.769	14.21 ± 0.39
60	15.139	14.894	15.002	15.553	15.15 ± 0.45
70	15.406	15.777	16.137	16.455	15.94 ± 0.45
80	16.454	16.623	17.285	17.620	17.00 ± 0.55
90	19.045	17.894	19.949	19.080	18.99 ± 0.84
100	28.149	24.431	24.683	27.576	26.21 ± 1.93
Ubos (<i>S. mombin</i>)					
10	10.225	10.284	12.348	11.866	11.18 ± 1.09
20	10.351	9.811	11.815	12.373	11.09 ± 1.20
30	10.453	10.639	11.925	12.058	11.27 ± 0.84
40	10.567	10.926	12.050	12.623	11.54 ± 0.96
50	10.653	11.265	12.156	13.274	11.84 ± 1.14
60	11.407	11.669	12.283	14.070	12.36 ± 1.20
70	11.508	11.454	13.204	15.273	12.86 ± 1.80
80	11.629	12.733	13.392	17.117	13.72 ± 2.38
90	11.786	12.774	14.860	21.198	15.15 ± 4.23
100	17.648	15.200	29.211	24.733	21.70 ± 6.44

* Datos de color rojo fueron discriminados, no siendo considerados para obtener el valor promedio de K y desvío estándar ($K \pm DS$) para dicha muestra.

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la conductividad térmica (K), la muestra de *O. mapora* mostro puntos de inflexión parecidos a los vistos en los valores de Cp, estos puntos fueron: 14.056 J/m.s.°K (40°C), 15.569 J/m.s.°K (50°C), 14.736 J/m.s.°K (60°C) y 15.642 J/m.s.°K (70°C) correspondiente a las replicas K₁, K₂, K₃ y K₄ respectivamente. En tanto, durante el desarrollo de la prueba de rango múltiple (Tabla 27), se observó que todos los valores de K presentaban valores homogéneos entre las replicas, no existiendo diferencias estadísticas

significativas, sin embargo, por lo expuesto en el caso de la C_p y por lo observado en el ítem 4.1.1, se optó por no realizar los cálculos para determinar el modelo matemático que describa la relación entre la temperatura y el valor de K .

En relación a los valores de K para la muestra de *O. batava* (Tabla 24), por lo expuesto en el ítem 4.3, se optó por no utilizar los datos de la réplica K_3 (datos de color rojo mostrado en la Tabla 24) y se promedió el valor de K con los datos de las réplicas K_1 , K_2 y K_4 . En todos los casos, se observó valores de K ascendentes, a 10°C los valores experimentales de K fueron $14.002 \text{ J/m.s.}^\circ\text{K}$ (K_1), $13.102 \text{ J/m.s.}^\circ\text{K}$ (K_2) y $14.003 \text{ J/m.s.}^\circ\text{K}$ (K_4), y a 100°C fueron $20.774 \text{ J/m.s.}^\circ\text{K}$ (K_1), $26.534 \text{ J/m.s.}^\circ\text{K}$ (K_2) y $28.755 \text{ J/m.s.}^\circ\text{K}$ (K_4).

Sobottka y Pimentel (1998), por el método de mezclas, determinaron el valor de K para el jugo de *O. oleracea*, el cual fue de $0.575 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$, este valor teórico es significativamente diferente del valor experimental obtenido, resultando valores promedio de K de $11.89 \pm 0.70 \text{ J/m.s.}^\circ\text{K}$ a $25.14 \pm 2.62 \text{ J/m.s.}^\circ\text{K}$ entre el rango de temperatura de 10°C a 100°C , algunos factores por la cual surgió esta variación podría ser el método de determinación empleado en ambas investigaciones, errores de operación o de procedimientos, variación en las características físico-químicas del fruto o presencia de cuerpos extraños en el mismo.

Buranelo, Miranda y Godoy (2015) determinaron mediante la aplicación de modelos matemáticos el valor de K para la muestra de *B. gasipaes*, el mismo que es igual a $0.58 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$, este valor es significativamente diferente en relación a los determinados experimentalmente, el cual, entre el rango de temperatura de 10°C a 100°C fue de $13.64 \pm 0.53 \text{ J/m.s.}^\circ\text{K}$ a $32.09 \pm 5.21 \text{ J/m.s.}^\circ\text{K}$, respectivamente. Esta divergencia en los resultados experimentales con relación al valor teórico podría deberse a un error en los procedimientos u operación del equipo, así como la falta de ajuste o calibración del equipo para este tipo de análisis.

Dantas (2010) en su estudio reológico de la pulpa de *T. grandiflorum* evaluó la relación existente entre la concentración de sólidos solubles y la temperatura (Tabla 11), el valor de K fue una de las propiedades termofísicas determinadas, resultando a 20°C los siguientes valores promedio: 0.59 ± 0.02 W/m.°K (14 °Brix), 0.52 ± 0.02 W/m.°K (17 °Brix), 0.53 ± 0.01 W/m.°K (19 °Brix) y 0.51 ± 0.02 (23 °Brix). Araújo, Queiroz y Figueirêdo (2004) también realizaron una investigación con este fruto, determinando que la pulpa integral y tamizada tenían un valor de K igual a 0.44 y 0.42 W/m.°C, respectivamente. Ambas investigaciones sugieren que el valor de K está relacionado con el contenido de sólidos solubles y la temperatura. No obstante, los valores de K determinados en esta investigación presentaron valores ascendentes con relación al aumento de la temperatura, sin embargo, presentaron diferencias significativas entre los valores teóricos y experimental. El valor promedio de K entre el rango de temperatura de 10°C a 100°C fue de 12.50 ± 0.46 J/m.s.°K a 26.21 ± 1.93 J/m.s.°K. Esta diferencia podría deberse a errores de medición o de calibración del equipo, características físicas-químicas del fruto y presencia de cuerpos extraños.

Lima, Queiroz y Figueirêdo (2003) estudiaron las propiedades termofísicas de la pulpa de ubos (*Spondias tuberosa*) con contenido de sólidos solubles totales de 10, 20 y 30 °Brix, obteniendo valores de 0.588, 0.5 e 0.499 W/m.°C respectivamente, sugiriendo que los valores de la conductividad térmica disminuyen con el aumento de la concentración de sólidos solubles totales. Esta especie es familiar del *S. mombin*, y los valores de K son próximos a los valores obtenidos en esta investigación, sin embargo, al igual que con las otras muestras, los valores experimentales presentaron diferencias estadísticamente significativas, el valor promedio de K en el rango de temperatura de 10°C a 100°C fueron de 11.18 ± 1.09 J/m.s.°K y 21.70 ± 6.44 J/m.s.°K respectivamente. Pinheiro (2004) menciona que el valor de K en los alimentos está directamente relacionado con el contenido de agua y de sólidos solubles totales, esto sugiere que, por el elevado contenido de agua en el fruto, así como la manipulación de las muestras pudieron haber tenido una influencia en la determinación experimental del valor K.

4.3 Análisis de varianza simple por replica.

Se ejecutó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor para Cp (kJ/kg.°K) y para K (J/(m.s.°K)) respectivamente, los cuales compararon los valores medios de Cp y K para los 4 diferentes niveles de replicas. La prueba F en la tabla 25 y Tabla 26 determinarán la existencia de diferencias significativas entre las medias. Las Pruebas de Rangos Múltiples identificaron cuáles medias eran significativamente diferentes de otras.

4.3.1 ANOVA para Cp (kJ/kg.°K) y para K (J/(m.s.°K)) por replicas.

La Tabla 25 y Tabla 26 muestran la descomposición de la varianza de Cp (kJ/kg.°K) y K (J/(m.s.°K)) respectivamente en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro de grupos. En tanto, la razón F resultó del cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos.

Tabla 25. ANOVA para Cp (kJ/kg.K) por replica.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<i>Sinami (O. mapora)</i>					
Entre grupos	8.17477	3	2.72492	20.90	0.0000
Intra grupos	4.69437	36	0.130399		
Total (Corr.)	12.8691	39			
<i>Ungurahui (O. bataua)</i>					
Entre grupos	22.5764	3	7.52548	2.92	0.0470
Intra grupos	92.6782	36	2.57439		
Total (Corr.)	115.255	39			
<i>Huasai (E. oleracea)</i>					
Entre grupos	73.0414	3	24.3471	4.20	0.0121
Intra grupos	208.886	36	5.80238		
Total (Corr.)	281.927	39			
<i>Pijuayo (B. gasipaes)</i>					
Entre grupos	43.2639	3	14.4213	2.38	0.0861
Intra grupos	218.524	36	6.07011		
Total (Corr.)	261.788	39			
<i>Copoazú (T. grandiflorum)</i>					
Entre grupos	8.84799	3	2.94933	0.54	0.6583
Intra grupos	196.796	36	5.46656		
Total (Corr.)	205.644	39			
<i>Ubos (S. mombin)</i>					
Entre grupos	306.707	3	102.236	14.40	0.0000
Intra grupos	255.645	36	7.10125		
Total (Corr.)	562.352	39			

Fuente: Elaboración propia.

En el caso del Cp (Tabla 25) para las muestras de *O. mapora* y *S. mombin* los valores P (0.0000 y 0.0000 correspondientemente) de la razón F fueron menores que 0.05, esto sugirió que existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de Cp (kJ/kg.°K) y los niveles de replicas y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

En tanto, para las muestras de *O. bataua* y *E. oleracea*, los valores P de la razón F son iguales a 0.0470 y 0.0121 respectivamente, fueron menores que 0.05, sugiriendo de este modo la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre la media de Cp (kJ/kg.°K) y los niveles de replicas y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. Sin embargo, para el caso de las muestras de *B. gasipaes* y *T. grandiflorum*, estas presentaron valores P iguales a 0.0861 y 0.6583, las mismas que fueron mayores que 0.05, indicando de este modo que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de Cp (kJ/kg.°K) y los niveles de replicas y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 26. ANOVA para K (J/(m.s.K)) por replica.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<i>Sinami (O. mapora)</i>					
Entre grupos	3.62465	3	1.20822	1.75	0.1748
Intra grupos	24.9007	36	0.691686		
Total (Corr.)	28.5254	39			
<i>Ungurahui (O. bataua)</i>					
Entre grupos	130.76	3	43.5866	3.48	0.0256
Intra grupos	450.603	36	12.5167		
Total (Corr.)	581.362	39			
<i>Huasai (E. oleracea)</i>					
Entre grupos	56.2312	3	18.7437	0.89	0.4541
Intra grupos	755.564	36	20.9879		
Total (Corr.)	811.796	39			
<i>Pijuayo (B. gasipaes)</i>					
Entre grupos	162.829	3	54.2763	1.39	0.2629
Intra grupos	1410.34	36	39.1762		
Total (Corr.)	1573.17	39			
<i>Copoazú (T. grandiflorum)</i>					
Entre grupos	5.71456	3	1.90485	0.11	0.9554
Intra grupos	640.667	36	17.7963		
Total (Corr.)	646.381	39			
<i>Ubos (S. mombin)</i>					
Entre grupos	111.584	3	37.1947	2.73	0.0579
Intra grupos	489.884	36	13.6079		
Total (Corr.)	601.468	39			

Fuente: Elaboración propia.

No obstante, la Tabla 26 mostro resultados diferentes para las muestras de *O. mapora*, *E. oleracea*, *B. gasipaes*, *T. grandiflorum* y *S. mombin*, presentando valores P iguales a 0.1748, 0.4541, 0.2629, 0.9554 y 0.0579 respectivamente, resultando mayores que 0.05, determinando que no existen unas diferencias estadísticamente significativas entre las medias de K ($J/(m.s.^{\circ}K)$) y los niveles de las replicas y otro. Sin embargo, el valor P (0.0256) de la muestra de *O. bataua* resulto ser menor que 0.05, existiendo una diferencia estadísticamente significativa entre la media de K ($J/(m.s.^{\circ}K)$) y el nivel de replicas y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

4.3.2 Prueba de rango múltiple.

En tal sentido, se desarrolló la prueba de rango múltiple con el objeto de identificar grupos homogéneos entre las distintas replicas de cada muestra. El método empleado para discriminar entre las medias fue: procedimiento de Diferencia Honestamente Significativa (HDS) de Tukey 95.0% y los resultados son presentados en la Tabla 27.

En la Tabla 27, se han identificado grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existe diferencia estadísticamente significativa entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. De este modo, la comparación múltiple aplicada en las muestras determino que medias eran significativamente diferentes de otras.

Para el caso del calor específico C_p ($kJ/kg.^{\circ}K$), las muestras de *O. mapora* ($C_{p1}-C_{p4}$ y $C_{p2}-C_{p3}$) y de *S. mombin* ($C_{p1}-C_{p2}$ y $C_{p3}-C_{p4}$) presentaron dos grupos homogéneos compuestos por dos (02) replicas cada uno. Al presentar dos grupos homogéneos con estas características, el modelamiento matemático de esta propiedad no se logró efectuar debido a que se contó con el 50% de los datos, procediendo a descartar todas las replicas de estas dos muestras. Con relación a la conductividad térmicas K ($J/(m.s.^{\circ}K)$), no se observó diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95.0% de confianza. Sin embargo, se optó por eliminar las replicas de estas muestras al encontrar divergencia con relación

a los resultados obtenidos en el caso del Calor específico, esta decisión también se fundamentó durante el análisis de los termogramas efectuado en los ítems 4.1.1 y 4.1.6.

Tabla 27. Resultados del análisis de rango múltiple utilizando Tukey HSD 95.0%

Calor específico Cp (kJ/kg.°K)			Conductividad térmica K (J/(m.s.°K))		
Replicas	Media	Grupos Homogéneos	Replicas	Media	Grupos Homogéneos
Sinami (<i>O. mapora</i>)					
Cp ₁	6.55678	X	K ₁	14.1045	X
Cp ₂	5.42055	X	K ₂	14.3237	X
Cp ₃	5.72452	X	K ₃	13.7527	X
Cp ₄	6.30961	X	K ₄	14.5721	X
Ungurahui (<i>O. bataua</i>)					
Cp ₁	6.58716	X	K ₁	16.204	XX
Cp ₂	8.22957	X	K ₂	17.4847	XX
Cp ₃	6.49221	X	K ₃	13.4335	X
Cp ₄	7.78545	X	K ₄	18.1569	X
Huasai (<i>E. oleracea</i>)					
Cp ₁	9.90843	X	K ₁	17.3689	X
Cp ₂	8.23625	X X	K ₂	14.4659	X
Cp ₃	9.12093	X X	K ₃	16.7244	X
Cp ₄	6.28272	X	K ₄	15.0462	X
Pijuayo (<i>B. gasipaes</i>)					
Cp ₁	8.96912	X	K ₁	19.5426	X
Cp ₂	8.26643	X	K ₂	22.3079	X
Cp ₃	7.44715	X	K ₃	19.323	X
Cp ₄	6.173	X	K ₄	16.6055	X
Copoazú (<i>T. grandiflorum</i>)					
Cp ₁	10.3669	X	K ₁	16.0027	X
Cp ₂	9.26505	X	K ₂	15.5217	X
Cp ₃	9.23394	X	K ₃	15.6336	X
Cp ₄	9.35887	X	K ₄	16.4894	X
Ubos (<i>S. mombin</i>)					
Cp ₁	13.074	X	K ₁	11.6227	X
Cp ₂	15.8854	X	K ₂	11.6754	X
Cp ₃	9.43932	X	K ₃	14.3245	X
Cp ₄	9.18811	X	K ₄	15.4585	X

Fuente: Elaboración propia.

Durante el análisis de rango múltiple efectuado sobre la muestra de *E. oleracea* para el caso del calor específico, se identificó dos grupos homogéneos constituidos por tres (03) replicas y una replica (01) libre, las que fueron: primer grupo (Cp₁-Cp₂-Cp₃, Cp₄) y segundo grupo (Cp₂-Cp₃-Cp₄, Cp₁). Para proceder con el modelamiento matemático, se ha procedido a elegir uno

de los dos grupos, el criterio utilizado para discriminar uno de los grupos fue que el valor de la replica libre sea la más distante en comparación de las demás replicas, en este caso la replica libre Cp₄ (6.28272 kJ/kg.°K) del segundo grupo tiene mayor diferencia con relación a las demás replicas en comparación de la replica libre Cp₁ (9.90843 kJ/kg.°K) de primer grupo, esta decisión se sustenta también en la evaluación del termograma efectuado en el ítem 4.2. de esta forma, se eliminó el primer grupo y se procedió al modelamiento con el segundo grupo, en este cálculo, se eliminó la replica libre Cp₄ y se utilizó las tres (03) replicas Cp₁-Cp₂-Cp₃ por tener características homogéneas. En el caso de la conductividad térmica, no hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95.0% de confianza.

En el caso de la muestra de *O. batava*, en el análisis realizado no se observa diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95.0% de confianza. Sin embargo, en el caso de la conductividad térmica, al igual que en la muestra de *E. oleracea*, este presentó dos grupos homogéneos con una replica libre en cada uno, primer grupo (K₁-K₂-K₃, K₄) y segundo grupo (K₁-K₂-K₄, K₃), se procedió a discriminar de igual manera que en el caso anterior, se optó por el segundo grupo (K₁-K₂-K₄, K₃), de este se eliminó la replica libre K₃ y el modelamiento se efectuó utilizando las tres (03) replicas que constituyen dicho grupo.

Las muestras de *B. gasipaes* y *T. grandiflorum* durante el análisis de rango múltiples presentaron un solo grupo homogéneo respectivamente, tanto para el caso del calor específico como de la conductividad térmica, y no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias. Este tipo de resultado nos indicó que el barrido térmico efectuado por el DSC para estos frutos fue correcto y exacto, por ello hemos obtenido replicas homogéneas.

4.4 Modelos matemáticos estimado.

Por lo expuesto en los ítem 4.1.1, 4.1.6, 4.2 y 4.3, los datos de las muestras de *O. mapora* y *S. mombin* no se consideraron en la determinación de los modelos matemáticos que describan el comportamiento del calor específico - C_p (kJ/kg.°K) y de la conductividad térmica - K (J/(m.s.°K)) entre el rango de temperatura de 10 °C a 100 °C.

4.4.1 Modelo matemático para estimar el calor específico.

4.4.1.1 ANOVA para los parámetros según su orden de ajuste.

La Tabla 28 muestra las diferencias significativas de cada componente que constituye el modelo de regresión polinomial. El ANOVA aplicado en las variables según su orden de ajuste ayudo a determinar si un polinomio de menor grado sería suficiente para describir la relación observada entre K (kJ/kg.°K) y T° (°C).

Tabla 28. ANOVA para los parámetros según su orden de ajuste.

CALOR ESPECÍFICO - C_p (kJ/kg.°K)					
Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-p
Sinami (<i>o. mapora</i>)					
ND					
Ungurahui (<i>o. bataua</i>)					
T° (°C)	14,2958	1	14,2958	55868,12	0,0000
T° (°C) ²	1,44164	1	1,44164	5633,95	0,0000
T° (°C) ³	0,377916	1	0,377916	1476,90	0,0000
T° (°C) ⁴	0,00131498	1	0,00131498	5,14	0,0860
T° (°C) ⁵	0,010294	1	0,010294	40,23	0,0032
modelo	16,127	5			
Huasai (<i>e. oleracea</i>)					
T° (°C)	53.8316	1	53.8316	785069.77	0.0000
T° (°C) ²	6.65045	1	6.65045	96988.91	0.0000
T° (°C) ³	0.259473	1	0.259473	3784.11	0.0000
T° (°C) ⁴	0.000711083	1	0.000711083	10.37	0.0235
modelo	60.7422	4			
Pijuayo (<i>b. gasipaes</i>)					
T° (°C)	45.7026	1	45.7026	18223.54	0.0000
T° (°C) ²	5.22475	1	5.22475	2083.32	0.0000
T° (°C) ³	0.56302	1	0.56302	224.50	0.0001
T° (°C) ⁴	0.0202288	1	0.0202288	8.07	0.0469
T° (°C) ⁵	0.0378555	1	0.0378555	15.09	0.0178
modelo	51.5485	5			
Copoazú (<i>t. grandiflorum</i>)					
T° (°C)	37.7676	1	37.7676	8349.05	0.0000
T° (°C) ²	5.43744	1	5.43744	1202.02	0.0000
T° (°C) ³	2.41558	1	2.41558	534.00	0.0000
T° (°C) ⁴	0.650372	1	0.650372	143.77	0.0003
T° (°C) ⁵	0.231562	1	0.231562	51.19	0.0020
modelo	46.5025	5			
Ubos (<i>s. mombin</i>)					
ND					

ND: No determinado
fuente: elaboración propia.

Puesto que el valor-P correspondiente a los parámetros de orden 5, 4, 5 y 5 de las muestras de *O. mapora*, *E. oleracea*, *B. gasipaes* y *T. grandiflorum* respectivamente son menores que 0.05. El ANOVA determinó que los modelos matemáticos ajustados de orden 5, 4, 5 y 5 respectivamente son estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95%, describiendo así la relación entre C_p (kJ/kg.°K) y T° (°C).

4.4.1.2 ANOVA para los modelos ajustados.

Cada modelo matemático ajustado fue evaluado por el ANOVA, determinando valores P menores que 0,05 en cada caso (Tabla 29), evidenciando la existencia de una relación estadísticamente significativa entre C_p (kJ/kg.°K) y T° (°C) con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 29. ANOVA para los modelos matemáticos ajustados.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<i>Sinami (O. mapora)</i>					
ND					
<i>Ungurahui (O. bataua)</i>					
Modelo	16,127	5	3,22539	12604,87	0,0000
Residual	0,00102354	4	0,000255885		
Total (Corr.)	16,128	9			
<i>Huasai (E. oleracea)</i>					
Modelo	60.7422	4	15.1856	221463.29	0.0000
Residual	0.000342846	5	0.0000685692		
Total (Corr.)	60.7426	9			
<i>Pijuayo (B. gasipaes)</i>					
Modelo	51.5485	5	10.3097	4110.90	0.0000
Residual	0.0100316	4	0.00250789		
Total (Corr.)	51.5585	9			
<i>Copoazú (T. grandiflorum)</i>					
Modelo	46.5025	5	9.3005	2056.01	0.0000
Residual	0.0180943	4	0.00452358		
Total (Corr.)	46.5206	9			
<i>Ubos (S. mombin)</i>					
ND					

ND: No determinado

fuelle: elaboración propia.

4.4.1.3 Modelos matemáticos.

Tabla 30. Modelos matemáticos ajustados.

Modelos matemáticos ajustados	r ²	r ² ajustado
<i>Oenocarpus mapora</i> ND	0.00 %	0.00 %
<i>Oenocarpus bataua</i> Cp= 4,7538 + 0,142063*T - 0,00535663*T ² + 0,000105447*T ³ - 9,70324x10 ⁻⁷ *T ⁴ + 3,62625x10 ⁻⁹ *T ⁵	99.9937 %	99.9857 %
<i>Euterpe oleracea</i> Cp= 6.25338 + 0.0362965*T - 0.000725196*T ² + 0.0000137099*T ³ - 2.07236x10 ⁻⁸ *T ⁴	99.9994 %	99.999 %
<i>Bactris gasipaes</i> Cp= 4.02026 + 0.184538*T - 0.00811983*T ² + 0.000182625*T ³ - 0.00000181008*T ⁴ + 6.9778x10 ⁻⁹ *T ⁵	99.9805 %	99.9562 %
<i>Theobroma grandiflorum</i> Cp= 5.3321 + 0.301167*T - 0.0148917*T ² + 0.000367516*T ³ - 0.00000411333*T ⁴ + 1.72133x10 ⁻⁸ *T ⁵	99.9611 %	99.9125 %
<i>Spondias mombin</i> ND	0.00 %	0.00 %

ND: No determinado

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 30 se observan los modelos matemáticos para cada muestra con sus respectivos estadísticos r² y r² ajustado, los cuales están indicando que los modelos así ajustados explican en promedio 99,9% la variabilidad en Cp (kJ/kg.°K). Cabe mencionar que el estadístico r² ajustado es el más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes.

4.4.1.4 Valores estimados por medio del modelo ajustado.

En la Tabla 31 se presentan los valores estimados de Cp (kJ/kg.°K) usando el modelo ajustado para cada muestra. De igual modo, en las Figuras 14, 15, 16 y 17 se han graficado curvas con valores experimentales de Cp sobreponiéndose las curvas con valores estimado por el modelo ajustado en cada muestra, así como las curvas que describen los límites de confianza y límites de predicción. Cabe resaltar que los valores estimados presentan alta correlación respecto a los valores experimentales.

Tabla 31. Valores estimados por el modelo para calor específico C_p (kJ/kg.°K).

Muestra	Temperatura (°C)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
<i>Oenocarpus mapora</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Oenocarpus bataua</i>	5,73	6,15	6,34	6,50	6,71	7,01	7,41	7,96	8,77	10,07
<i>Euterpe oleracea</i>	6,55	6,79	7,04	7,36	7,83	8,51	9,44	10,68	12,28	14,26
<i>Bactris gasipaes</i>	5,21	5,65	5,88	6,17	6,64	7,27	8,05	9,04	10,43	12,67
<i>Theobroma grandiflorum</i>	7,18	7,73	7,97	8,30	8,77	9,25	9,67	10,20	11,50	14,84
<i>Spondias mombin</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND: No determinado

Fuente: elaboración propia.

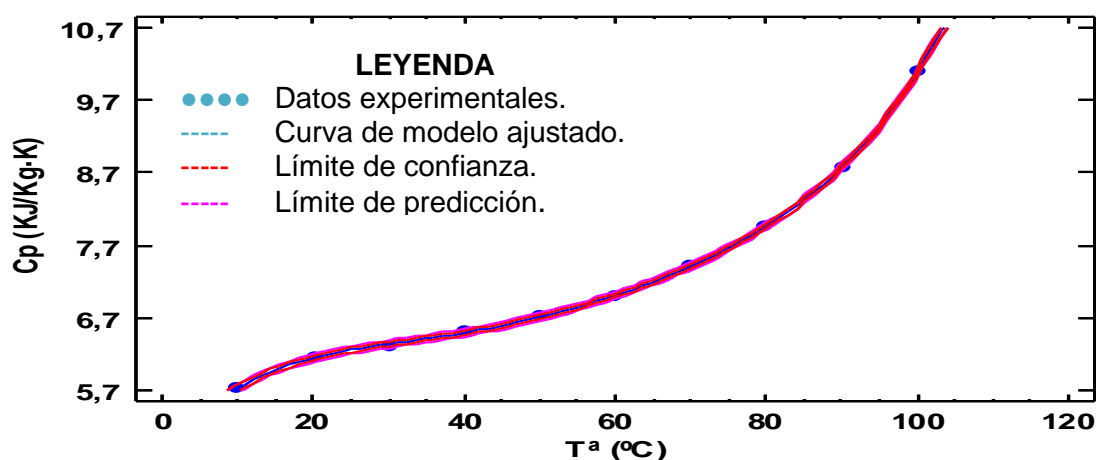


Figura 14. Modelo ajustado para la muestra *O. bataua*.

Fuente: Elaboración propia.

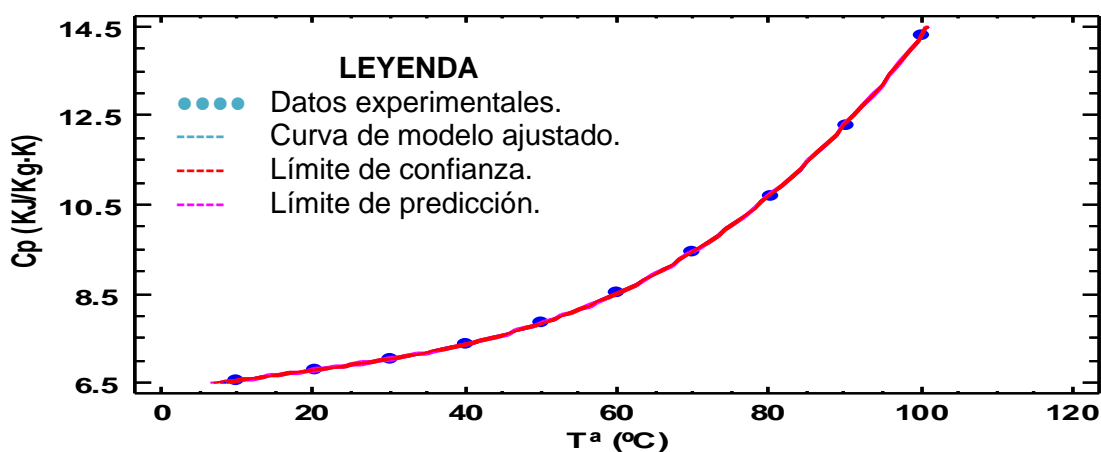


Figura 15. Modelo ajustado para la muestra *E. oleracea*.

Fuente: Elaboración propia.

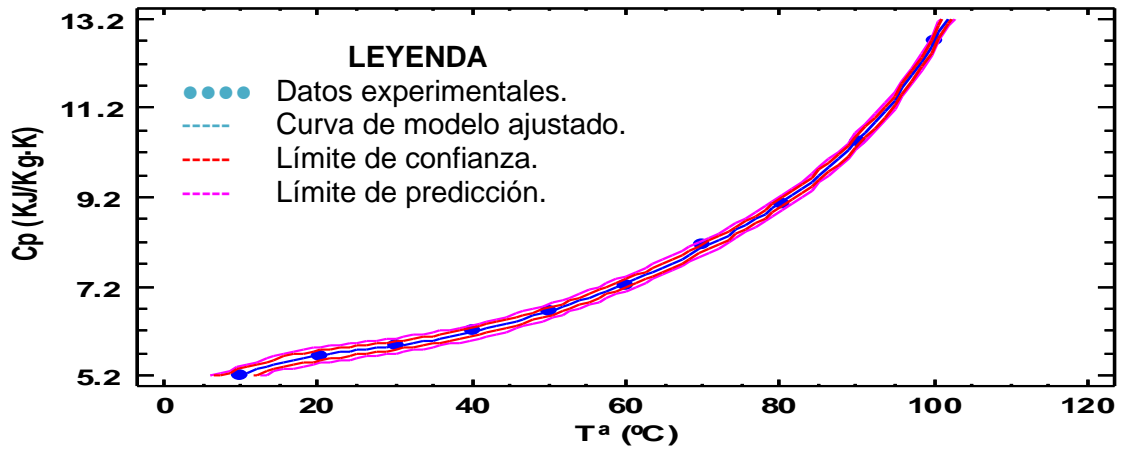


Figura 16. Modelo ajustado para la muestra *B. gasipaes*.
Fuente: Elaboración propia.

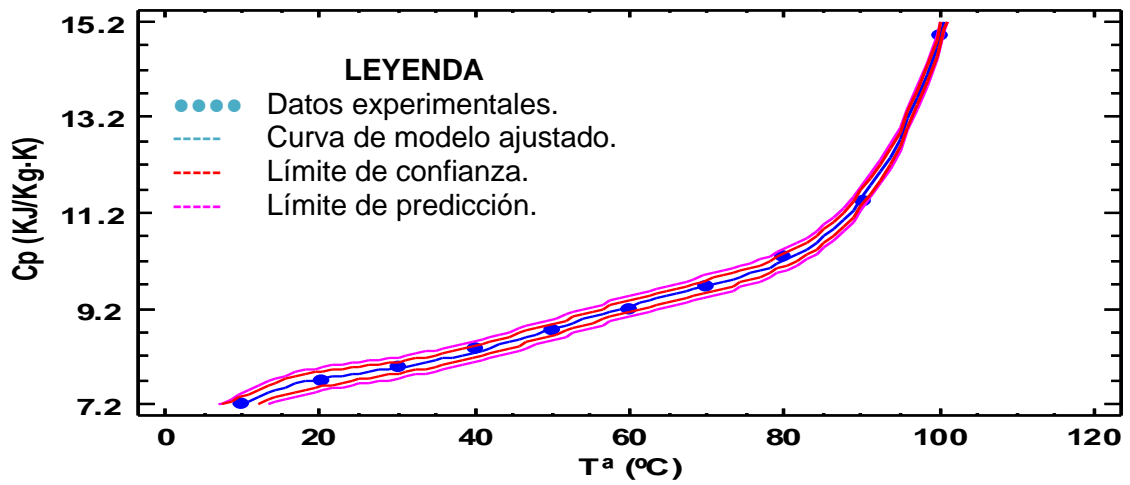


Figura 1714. Modelo ajustado para la muestra *T. grandiflorum*.
Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 Modelo matemático para estimar la conductividad térmica.

4.4.2.1 ANOVA para los parámetros según su orden de ajuste.

La Tabla 32 muestra las diferencias significativas de cada potencia de T° ($^\circ\text{C}$) conforme fue incluida en el modelo de regresión polinomial. El ANOVA aplicado en las variables según su orden de ajuste ayudo a determinar si un polinomio de menor grado sería suficiente para describir la relación observada entre K ($\text{J}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot^\circ\text{K})$) y T^a ($^\circ\text{C}$).

Tabla 32. ANOVA para las variables según su orden de ajuste.

Conductividad térmica - k ($\text{J}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{k})$)					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-f	Valor-p
<i>Sinami (o. mapora)</i>					
ND					
<i>Ungurahui (o. bataua)</i>					
t° ($^\circ\text{C}$)	114.187	1	114.187	2662.22	0.0000
t° ($^\circ\text{C}$) ²	15.6659	1	15.6659	365.24	0.0000
t° ($^\circ\text{C}$) ³	2.19618	1	2.19618	51.20	0.0004
Modelo	132.049	3			
<i>Huasai (e. oleracea)</i>					
t° ($^\circ\text{C}$)	171.557	1	171.557	4039.46	0.0000
t° ($^\circ\text{C}$) ²	23.4108	1	23.4108	551.23	0.0000
Modelo	194.968	2			
<i>Pijuayo (b. gasipaes)</i>					
t° ($^\circ\text{C}$)	287.799	1	287.799	4631.94	0.0000
t° ($^\circ\text{C}$) ²	40.9463	1	40.9463	659.00	0.0000
t° ($^\circ\text{C}$) ³	3.02768	1	3.02768	48.73	0.0004
Modelo	331.773	3			
<i>Copoazú (t. grandiflorum)</i>					
t° ($^\circ\text{C}$)	116.593	1	116.593	14609.46	0.0000
t° ($^\circ\text{C}$) ²	27.1275	1	27.1275	3399.16	0.0000
t° ($^\circ\text{C}$) ³	7.77634	1	7.77634	974.40	0.0001
t° ($^\circ\text{C}$) ⁴	4.10898	1	4.10898	514.87	0.0002
t° ($^\circ\text{C}$) ⁵	1.17236	1	1.17236	146.90	0.0012
t° ($^\circ\text{C}$) ⁶	0.131235	1	0.131235	16.44	0.0270
Modelo	156.909	6			
<i>Ubos (s. Mombin)</i>					
ND					

ND: no determinado.

fuentes: elaboración propia.

Los valores P correspondiente a los parámetros de orden 3, 2, 3 y 6 de las muestras de *O. mapora*, *E. oleracea*, *B. gasipaes* y *T. grandiflorum* respectivamente son menores que 0.05. El ANOVA determino que los modelos matemáticos ajustados de orden 3, 2, 3 y 6 respectivamente son estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95%, describiendo así la relación entre K ($\text{J}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot^\circ\text{K})$) y T° ($^\circ\text{C}$).

4.4.2.2 ANOVA para los modelos ajustados.

Cada modelo matemático ajustado fue evaluado por el ANOVA, determinando valores-P menores que 0,05 en cada caso (Tabla 23), evidenciando la existencia de una relación estadísticamente significativa entre K (J/(m.s.°K)) y T° (°C) con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 33. ANOVA para los modelos matemáticos ajustados.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<i>Sinami (O. mapora)</i>					
ND					
<i>Ungurahui (O. bataua)</i>					
Modelo	132.049	3	44.0163	1026.22	0.0000
Residual	0.257349	6	0.0428916		
Total (Corr.)	132.306	9			
<i>Huasai (E. oleracea)</i>					
Modelo	194.968	2	97.484	2295.34	0.0000
Residual	0.297293	7	0.0424704		
Total (Corr.)	195.265	9			
<i>Pijuayo (B. gasipaes)</i>					
Modelo	331.773	3	110.591	1779.89	0.0000
Residual	0.372802	6	0.0621336		
Total (Corr.)	332.146	9			
<i>Copoazú (T. grandiflorum)</i>					
Modelo	156.909	6	26.1515	3276.87	0.0000
Residual	0.0239419	3	0.00798064		
Total (Corr.)	156.933	9			
<i>Ubos (S. mombin)</i>					
ND					

ND: No determinado.

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2.3 Modelos matemáticos.

En la se observan los modelos matemáticos para cada muestra con sus respectivos estadísticos r^2 y r^2 ajustado, los cuales están indicando que los modelos así ajustados explican en promedio 99,9% la variabilidad en K (J/(m.s.°K)). Cabe mencionar que el estadístico r^2 ajustado es el más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes.

Tabla 34. Modelos matemáticos desarrollados.

Modelos matemáticos ajustados	r ²	r ² ajustado
<i>Oenocarpus mapora</i> ND	0.00 %	0.00 %
<i>Oenocarpus bataua</i> K= 12.3035 + 0.131462*T - 0.00268257*T ² + 0.0000266595*T ³	99.8055 %	99.7082 %
<i>Euterpe oleracea</i> K= 12.885-0.0873536*T + 0.00210168*T ²	99.8477 %	99.8042 %
<i>Bactris gasipaes</i> K= 12.6046 + 0.119003*T - 0.00239177*T ² + 0.0000313558*T ³	99.8878 %	99.8316 %
<i>Theobroma grandiflorum</i> K= 13.9874-0.328715*T + 0.0259002*T ² - 0.000943947*T ³ + 0.000018287*T ⁴ - 1.74329x10 ⁻⁷ *T ⁵ + 6.44503x10 ⁻¹⁰ *T ⁶	99.9847 %	99.9542 %
<i>Spondias mombin</i> ND	0.00 %	0.00 %

ND: No determinado.

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2.4 Valores estimados por medio del modelo ajustado.

En la Tabla 35 se presenta los valores estimados de K (J/(m.s.°K)) usando el modelo ajustado para cada muestra. De igual modo, en las Figuras 18, 19, 20 y 21 se han graficado curvas con valores experimentales de Cp sobreponiéndose las curvas con valores estimado por el modelo ajustado en cada muestra, así como las curvas que describen los límites de confianza y límites de predicción. Cabe resaltar que los valores estimados presentan alta correlación respecto a los valores experimentales.

Tabla 35. Valores estimados de calor específico y conductividad térmicas.

Muestra	Temperatura (°C)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Conductividad térmica - k (J/m.s.°K)										
<i>Oenocarpus mapora</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Oenocarpus bataua</i>	13.3	14.0	14.5	14.9	15.5	16.2	17.5	19.3	21.8	25.2
<i>Euterpe oleracea</i>	7	7	5	7	0	9	0	0	4	8
<i>Bactris gasipaes</i>	11.9	12.2	12.1	12.7	13.7	15.2	17.0	19.3	22.0	25.1
<i>Theobroma grandiflorum</i>	7	2	5	5	7	0	6	4	4	6
<i>Spondias mombin</i>	13.5	14.2	14.8	15.5	16.4	17.9	19.9	22.8	26.7	31.9
	8	7	6	4	9	0	7	7	9	4
	12.5	12.6	12.9	13.4	14.1	15.1	16.0	16.8	18.9	26.0
	1	3	9	6	9	2	1	9	8	8
<i>Spondias mombin</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND: No determinado.

Fuente: Elaboración propia.

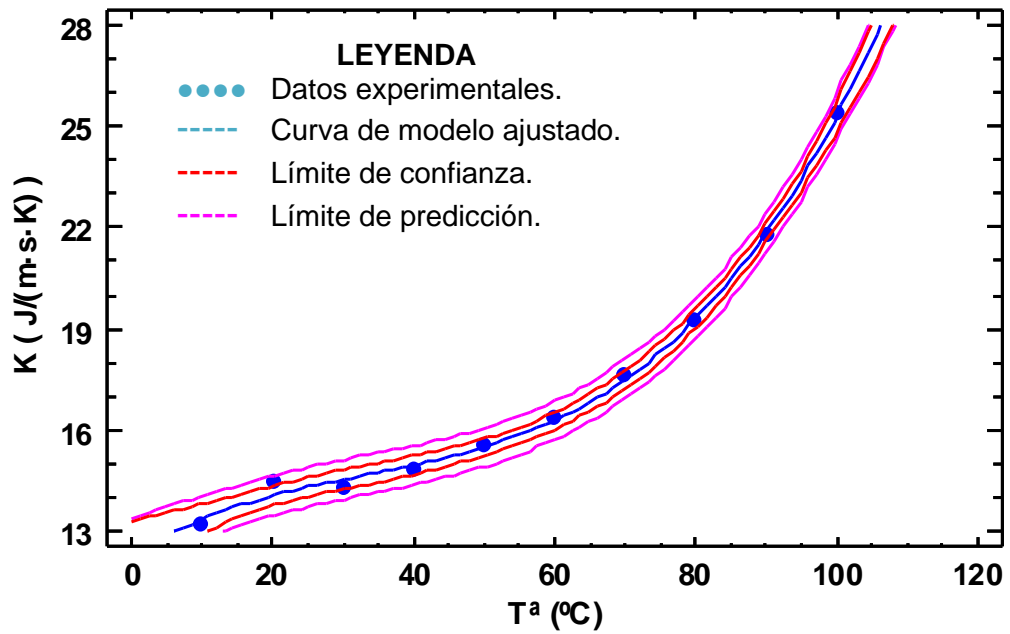


Figura 18. Modelo ajustado para la muestra *O. batava*.
Fuente: Elaboración propia.

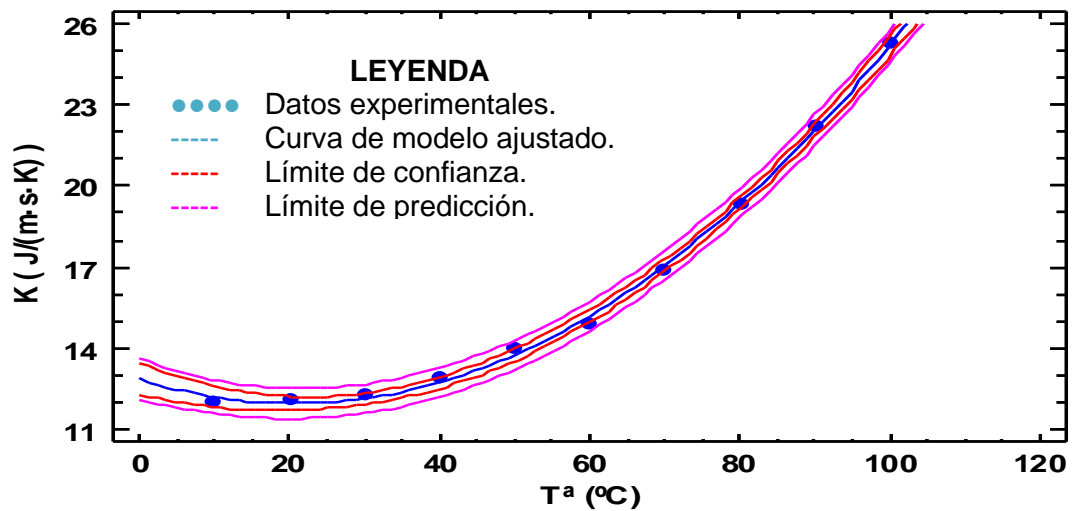


Figura 19. Modelo ajustado para la muestra *E. oleracea*.
Fuente: Elaboración propia.

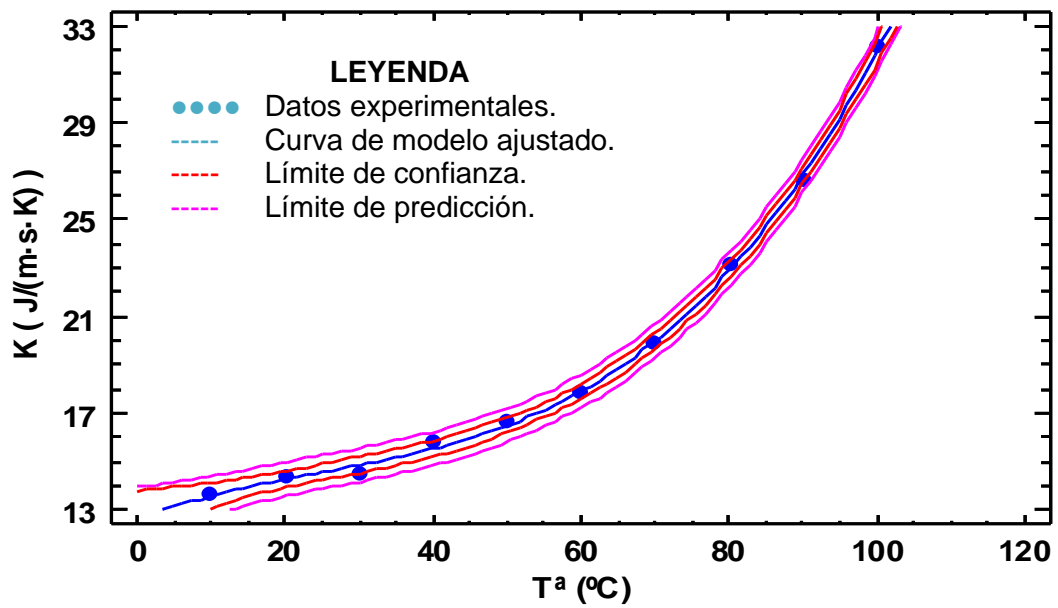


Figura 20. Modelo ajustado para la muestra *B. gasipaes*.
Fuente: Elaboración propia.

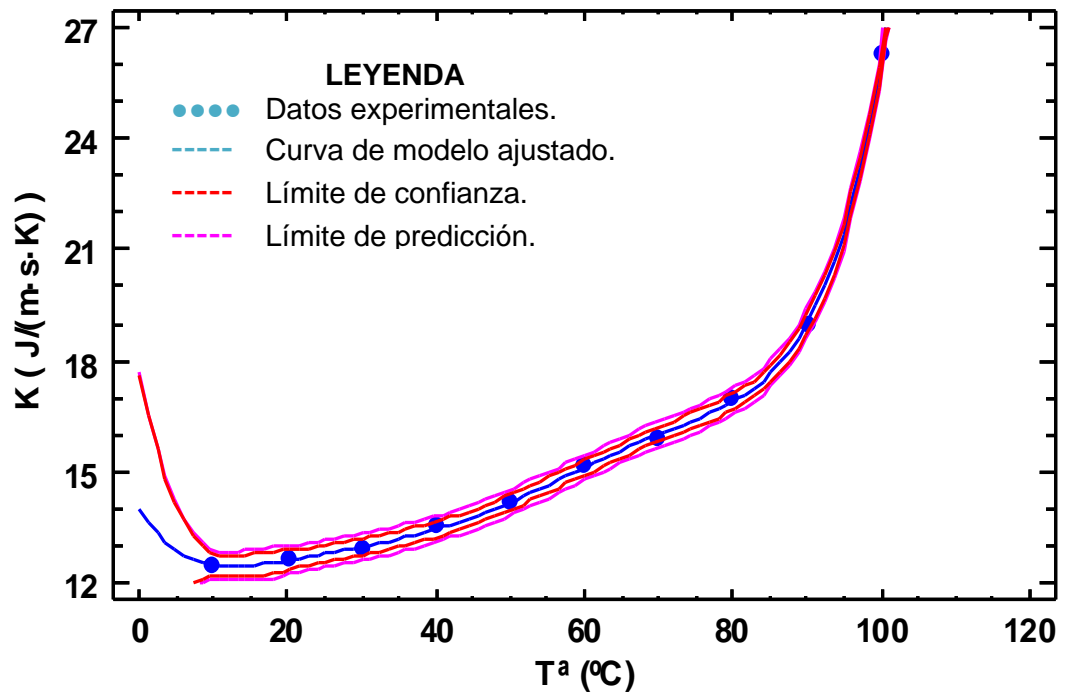


Figura 21. Modelo ajustado para la muestra *T. grandiflorum*.
Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Los valores de calor específico y conductividad térmica estimados mediante los modelos matemáticos presentaron alta correlación en comparación a los valores determinados experimentalmente entre el rango de temperatura de 10 °C a 100 °C; para el caso del calor específico C_p (kJ/kg.°K), el r^2 (promedio) fue de 99.98%, en tanto que el r^2 ajustado (promedio) fue de 99.96%. En la determinación de la conductividad térmica K (J/(m.s.°K)) se observa que el r^2 (promedio) es 99.88% y el r^2 ajustado (promedio) es 99.82%.

Las pruebas estadísticas determinaron que los termogramas de las muestras de pulpa de los frutos de *O. batava*, *E. oleracea*, *B. gasipaes*, *T. grandiflorum* presentaron mínima diferencia significativas, lo cual permitió obtener sus valores experimentales de conductividad térmica y calor específico con mayor exactitud. Sin embargo, los valores experimentales de las muestras de *O. mapora* y *S. mombin* presentaron diferencias estadísticamente significativas.

Mediante el uso de los modelos matemáticos determinados, se logró estimar con mayor precisión las propiedades termofísicas de las pulpas de los frutos de *O. batava*, *E. oleracea*, *B. gasipaes*, *T. grandiflorum*. Con excepción de las muestras de *O. mapora* y *S. mombin* cuyas diferencias significativas se observaron en el análisis de Rangos Múltiples.

RECOMENDACIONES

- Los valores del calor específico y la conductividad térmica determinados experimentalmente y por medio de los modelos matemáticos estuvieron solo en función de la temperatura; sin embargo, se recomienda considerar la composición bromatológica, procedencia, factores ambientales y agrícolas en futuras investigaciones.
- Se recomienda evaluar diferentes protocolos de operación del DSC para determinar las propiedades termofísicas de muestras alimentarias, debido a que estas presentan características físicas y químicas variables en función al tiempo y el ambiente.
- El intervalo de temperatura en la presente investigación estuvo dentro del proceso de calentamiento/enfriamiento, se sugiere que futuras investigaciones experimenten estas propiedades termofísicas en el rango de temperatura de congelación/refrigeración.
- Se sugiere que se determina las propiedades termofísicas de más frutos amazónicos, debido al gran potencial agroindustrial que representa, así como una alternativa más de desarrollo social, económico y ambiental

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akintude, M. A. (2008). Modeling of thermal properties of food components. *The Pacific Journal of Science and Technology*, Vol. 9(2), Pag. 629-639.
- Albella, j., Cintas, a., & Miranda. (1993). *Introducción a la ciencia de materiales*. Obtenido de Open Course Ware: http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/caracterizacion-de-materiales/material-de-clase-1/Analisis_termico.pdf
- Alvis, A., Caicedo, I., & Peña, P. (2010). Determinación del coeficiente de transferencia de calor a través de una aplicación de computadora. *Información Tecnológica*, 21(5), 95 - 103.
- 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. *Información Tecnológica*, Vol. 23(1), Pag. 111-116. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642012000100012>.
- Araújo, J., Queiroz, A., & Figueirêdo, R. (2004). Propriedades termofísicas da polpa do cupuacu com diferentes teores de sólidos. *Ciênc. agrotec.*, 28(1), 126 - 134.
- ASHRAE. (2010). *"Fundamentals Handbook". Capítulo 19: Thermal properties of food*. Atlanta, Estados Unidos.
- Beldarraín, A. (2001). Aplicaciones de la calorimetría diferencial de barrido al estudio de la estabilidad de las proteínas. *Biología Aplicada*, 18(1), 10 - 16.
- Buranelo, M., Miranda, M., & Godoy, E. (2015). APLICAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS PREDITIVOS PARA O CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DO PALMITO PUPUNHA. *Revista Brasileira de Productos agroindustriales*, 17(2), 179 - 187.
- Cabral, R., Orrego-Alzate, C., Gabas, A., & Telis-Romero, J. (2007). Rheological and thermophysical properties of blackberry juice. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 27(3), 589 - 596.
- Castillo, E. (2006). *Caracterización química de la harina de un fruto del amazonas (Bactris gasipaes) crudo y procesado*. Sartenejas, Venezuela: Universidad Simón Bolívar.

- Choi, Y., & Okos, M. (1986). Effects of temperature and composition on the thermal properties of foods. *Food engineering and process applications*, 1.
- Dantas, A. (2010). *Propriedades termofísicas e comportamento reológico da polpa de cupuacu (Theobroma grandiflorum) em diferentes concentrações e temperaturas*. Bahia: Universidad de Estadual do Sudoeste da Bahia.
- Fontana, A., Varith, J., Ikediala, J., Reyes, J., & Wacker, B. (1999). Thermal properties of selected foods using a dual needle heat-pulse sensor. *ASAE/CSAE Anual International Meeting*.
- Gómez, L. (2009). *Determinación de la fracción de agua no congelada en murta (Ugni molinae Turcz) mediante termoanálisis con el calorímetro diferencial de barrido*. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.
- Gonzales, A. (2007). *Frutos Nativos Amazónicos, patrimonio alimenticio de la humanidad*. Iquitos: IIAP. Recuperado el 22 de Febrero de 2016, de <http://www.iiap.org.pe/cdpublicaciones2011/documentos/pdf/libros/3.pdf>
- González, A., & Torres, G. (2011a). *Manual de producción de plantones de Spondias mombin L. "Ubos"*. Iquitos: IIAP.
- González, A., & Torres, G. (2011b). *Manual de producción de plantones de ungurahui*. Iquitos, Perú: IIAP. Recuperado el 7 de Febrero de 2016, de <http://www.iiap.org.pe/cdpublicaciones2011/documentos/pdf/libros/25.pdf>
- Gutiérrez, C., & Peralta, R. (2001). *Palmas comunes de pando*. Pando, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.
- Hernández, M., & Barrera, J. (2004). *Bases técnicas para el aprovechamiento agroindustrial de especies nativas de la amazonia*. Bogotá, Colombia: SINCHI.
- Lima, J., Queiroz, A., & Figueirêdo, R. (2003). Propriedades termofísicas da polpa de umbu. *Revista brasileira de productos agroindustriais*(1), 31 - 42.

- Lozano, J. (2006). Fruit manufacturing - Scientific basis, Engineering properties and deteriorative reactions of technological importance. *Springer Science Business*.
- Manals, E., & Penedo, M. (2011). Análisis termogravimétrico y térmico diferencial de diferentes biomásas vegetales. *Tecnología Química*, 2, 36 – 42.
- Mariani, V., Amarante, A., & Coelho, L. (2009). Estimation of apparent thermal conductivity of carrot purée during freezing using inverse problem. *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 1292 - 1303.
- Martinez, N. (1998). *Termodinámica y cinética de sistemas*. España: Universidad de Politécnica de Valencia.
- Mattietto, R., Lopes, A., & Menezes, H. (2010). Caracterização física e físico-química dos frutos da cajazeira (*Spondias mombin* L.) e de suas polpas obtidas por dois tipos de extrator. *Braz. J. Food Technol.*, 13(3), 156 - 164. doi:10.4260/BJFT2010130300021
- Mohsenin, N. (1980). Thermal properties of food and agricultural materials. *Gordon and Breach*, 428.
- Moura, S., Franca, V., & Leal, M. (2003). Propriedades termofísicas de soluções modelos similares a sucos - Parte I. *Ciência tecnologia alimentos*, 23(1).
- Moura, S., Germer, S., Jardim, D., & Sadahira, M. (1998). Thermophysical properties of tropical fruit juices. *Brazilian Journal of Food Technology*, 1(1-2), 70 - 76.
- Muniz, M., Queiroz, A., Figueirêdo, R., & Duarte, M. (2006). Caracterização termofísica de polpas de bacuri. *Ciência Tecnologia Alimentos*, 26(2), 360 - 368.
- Muramatsu, Y., Sakaguchi, E., Orikasa, T., & Tagawa, A. (2010). Simultaneous estimation of the thermophysical properties of three kinds of fruit juices based on the measured result by a transient heat flow probe method. *Journal of Food Engineering*, 96, 607 - 613.
- Nogueira, A., Carvalho, A., & Ramos, C. (2014). *Caracterização Físico-Química da Polpa de Bacabi (*Oenocarpus mapora* H. Karsten)*. Belém, Brasil: EMBRAPA.

- Ocampo, Á., Fernández, A., & Castro, F. (2013). Aceite de la palma de seje *Oenocarpus bataua* Mart. por su calidad nutricional puede contribuir a la conservación y uso sostenible de los bosques de galería en la Orinoquia Colombiana. *Orinoquia*, 17(2), 215 - 229.
- Pacheco, E., Alvarado, A., Salas, R., & Trujillo, A. (1999). Composición química y digestibilidad de la proteína de veinte ecotipos de Pijigao (*Bactris gassipaes*) del Amazonas de Venezuela. *Archivo Latinoamericano de Nutrición*, 49(4), 384 - 387.
- Pinheiro, G. (2004). *Propriedades físicas, termofísicas e fisico-químicas de purê de banana adicionados de açúcar*. Lavras, Brasil: Universidad Federal de Lavras.
- Restrepo, J., Vinasco, L., & Estupiñan, J. (2012). Estudio comparativo del contenido de ácidos grasos en 4 variedades de chontaduro (*Bactris gasipaes*) de la región del pacífico colombiano. *Revista de ciencia*, 16, 123 - 129.
- Sadqi, M. (2000). *Estudio termodinámico de los estados parcialmente plegados del dominio SH3 de α -espectrina*. Granada: Universidad de Granada.
- Sanabria, N., & Sangronis, E. (2007). Caracterización del acai o manaca (*Euterpe olerácea* Mart.): un fruto del Amazonas. *Archivo latinoamericanos de nutrición*, 57(1), 94 - 98.
- Silva, S. (1997). *Propriedades termofísicas da polpa de abacaxi*. Campinas, Brasil: Universidad Estadual de Campinas.
- Singh, R., & Heldman, D. (1998). *Introducción a la Ingeniería de los alimentos*. Zaragoza: Acribia.
- Sobottka, S., & Pimentel, S. (1998). Thermophysical properties of tropical fruit juices. *Braz. J. Food Technol.*, 1(1,2), 70-76.
- Sosnowska, J., Ramirez, D., & Millán, B. (2010). Palmeras usadas por los indígenas Asháninkas en la Amazonía Peruana. *Revista Peruana de Biología*, 17(3), 347 - 352.
- Suriñach, S., Baro, M., Bordas, S., Clavaguera, N., & Clavaguera-mora, M. (1992). La calorimetría diferencial de barrido y su aplicación a la Ciencia de Materiales. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr*, 31(1), 11 - 17. Recuperado

el 7 de Febrero de 2016, de
<http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/65456/1/098218.pdf>

- Telis-Romero, J., Telis, V., Gabas, A., & Yamashitah, F. (1998). Thermophysical properties of brasilian orange juice as affected by temperature an water content. *Journal of Food Engineering*, 38, 27 - 40.
- Van-Gelder, M. (1998). *Thermistor based method for measurement of thermal conductivity and thermal diffusivity of moist food materials at high temperatures*. Blacksburg, Estados Unidos: Virginia Polytechnic Institute.
- Vásquez, M., & Baluarte, J. (1998). La extracción de productos forestales diferentes de la madera en el ambito de iquitos – Perú. *Folia Amazonica*, 9(1 - 2), 69 - 92.

ANEXOS.

4.5 Fotos de los análisis



Figura 22. Instrumentos utilizados: pinzas, bisturí, placa Petri



Figura 23. Balanza analítica y determinador de humedad automática



Figura 24. Comparación de tamaño del crisol vs moneda de 50 centavos

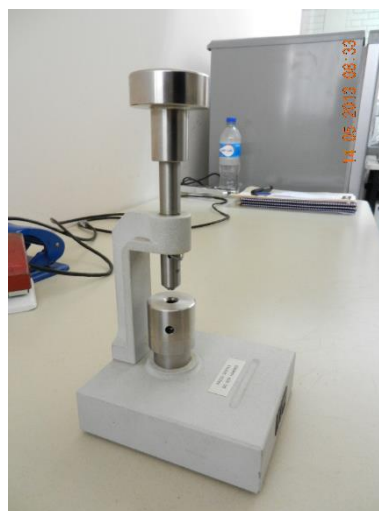


Figura 25. Sellador de crisoles



Figura 26. Crisoles de 40 µl (tapa + crisol)



Figura 27. Crisoles de 40 µl (tapa + crisol)



Figura 28. Equipo de control de DSC



Figura 29. Nitrógeno UHP (ultra alta pureza)

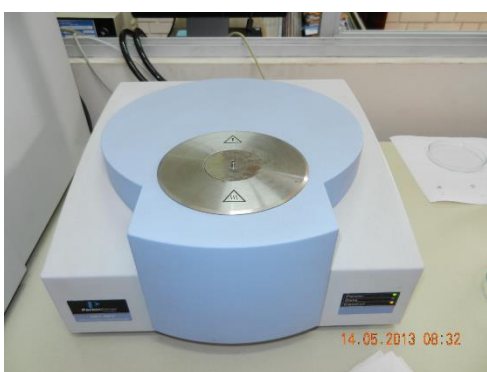


Figura 30. Equipo de calorimetría de barrido diferencial - DSC



Figura 31. DSC con crisol muestra (plateado) + crisol padrón (dorado)



Figura 32. Chiller



Figura 33. Muestra de Simani (*O. mapora*)



Figura 34. Pulpa de *O. mapora*



Figura 35. Muestra de Ungurahui (*O. bataua*)



Figura 36. Pulpa de *O. bataua*



Figura 37. Muestra de Huasai (*E. oleracea*)



Figura 38. Pulpa con cascara de *E. oleracea*



Figura 39. Muestra de Pijuayo (*B. gasipaes*)



Figura 40. Pulpa de *B. gasipaes*



Figura 41. Muestra de Copuazu (*T. grandiflorum*)



Figura 42. Pulpa de *T. grandiflorum* + crisol con muestra



Figura 43. Muestra de Ubus (*S. mombin*)



Figura 44. Extracción de la cascara de *S. mombin*



Figura 45. Extracción de pulpa de la muestra de *S. mombin*



Figura 46. Muestra acondicionada para el análisis por DSC



Figura 47. Llenado de crisol con muestra de pulpa de *S. mombin*



Figura 48. Crisol con muestra de pulpa de *S. mombin*



Figura 49. Balanza + crisol vacío



Figura 50. Balanza + crisol con muestra



Figura 51. Sellado de crisol

4.6 Datos térmicos.

4.6.1 Sinami (*O. mapora*).

Filename: F:\IIAP\Termofísicas\Resultados\DSC\Copia de Sinami\S-P1.d6d

Sample ID: S-P1

Comment: Primera replica con Pulpa de Sinami

Serial Number: 520A9062905

Sample Weight: 27.000 mg

Switch the Gas to Nitrogen at 20.0 ml/min

1) Heat from 5.00°C to 300.00°C at 10.00°C/min

1) DSC Temperature Scan

Time	Unsubtracted Heat Flow	Baseline Heat Flow	Program Temperature	Sample Temperature	Approx. Gas Flow
0.000000	20.002.291	0.000000	5.166.667	3.057.458	19.800.000
0.500000	22.309.509	0.000000	10.000.000	7.271.314	19.800.000
1.500.000	26.938.010	0.000000	20.000.000	17.138.744	19.800.000
2.500.000	27.479.004	0.000000	30.000.000	27.127.924	19.800.000
3.500.000	28.040.403	0.000000	40.000.000	37.116.696	19.800.000
4.500.000	28.699.260	0.000000	50.000.000	47.103.519	19.800.000
5.500.000	29.499.394	0.000000	60.000.000	57.087.516	19.800.000
6.500.000	30.462.519	0.000000	70.000.000	67.068.254	19.700.000
7.500.000	31.409.372	0.000000	80.000.000	77.059.317	19.800.000
8.500.000	32.505.381	0.000000	90.000.000	87.037.397	19.800.000
9.500.000	32.330.441	0.000000	100.000.000	97.040.895	19.800.000
10.500.000	50.856.971	0.000000	110.000.000	106.670.365	19.800.000
11.500.000	88.735.584	0.000000	120.000.000	115.912.793	19.800.000
12.500.000	98.307.456	0.000000	130.000.000	125.721.355	19.800.000
13.500.000	72.004.832	0.000000	140.000.000	136.247.408	19.800.000
14.500.000	43.409.284	0.000000	150.000.000	146.819.319	19.800.000
15.500.000	28.130.725	0.000000	160.000.000	157.124.890	19.800.000
16.500.000	24.163.301	0.000000	170.000.000	167.204.238	19.800.000
17.500.000	22.925.589	0.000000	180.000.000	177.228.992	19.800.000
18.500.000	22.296.720	0.000000	190.000.000	187.241.570	19.800.000
19.500.000	21.936.467	0.000000	200.000.000	197.248.775	19.800.000

20.500.000	21.716.958	0.000000	210.000.000	207.253.165	19.800.000
20.516.667	21.713.586	0.000000	210.166.667	207.413.233	19.800.000
21.500.000	21.560.703	0.000000	220.000.000	217.256.290	19.800.000
22.500.000	21.435.621	0.000000	230.000.000	227.248.792	19.800.000
23.500.000	21.252.645	0.000000	240.000.000	237.262.451	19.800.000
24.500.000	20.958.365	0.000000	250.000.000	247.268.337	19.800.000
25.500.000	20.558.245	0.000000	260.000.000	257.266.339	19.800.000
27.500.000	20.340.455	0.000000	280.000.000	277.280.695	19.800.000
28.500.000	20.443.442	0.000000	290.000.000	287.268.635	19.800.000
29.483.333	20.516.017	0.000000	299.833.333	297.107.184	19.800.000

4.6.2 Ungurahui (*O. bataua*).

Filename: F:\IIAP\Termofísicas\Resultados\DSC\Ungurahui\Un-P1.d6d

Sample ID: Un-P1

Comment: Primera replica con pulpa de Ungurahui

Seríal Number: 520A9062905

Sample Weight: 31.000 mg

Switch the Gas to Nitrogen at 20.0 ml/min

1) Heat from 5.00°C to 300.00°C at 10.00°C/min

1) DSC Temperature Scan

Time	Unsubtracted Heat Flow	Baseline Heat Flow	Program Temperature	Sample Temperature	Approx. Gas Flow
0.000000	20.004.543	0.000000	5.166.667	3.055.648	19.800.000
0.500000	23.852.015	0.000000	10.000.000	7.328.699	19.800.000
1.500.000	29.673.982	0.000000	20.000.000	17.162.259	19.800.000
2.500.000	30.685.487	0.000000	30.000.000	27.142.029	19.800.000
3.500.000	31.761.032	0.000000	40.000.000	37.130.518	19.800.000
4.500.000	32.832.430	0.000000	50.000.000	47.109.090	19.800.000
5.500.000	33.707.181	0.000000	60.000.000	57.091.595	19.800.000
6.500.000	34.532.645	0.000000	70.000.000	67.075.086	19.800.000
7.500.000	35.480.031	0.000000	80.000.000	77.056.138	19.800.000
8.500.000	37.371.430	0.000000	90.000.000	87.018.310	19.800.000
9.500.000	40.932.350	0.000000	100.000.000	96.947.092	19.800.000
10.500.000	58.903.833	0.000000	110.000.000	106.587.662	19.800.000
11.500.000	117.095.890	0.000000	120.000.000	115.423.821	19.800.000
12.500.000	124.583.559	0.000000	130.000.000	125.274.068	19.800.000
13.500.000	109.368.394	0.000000	140.000.000	135.578.371	19.800.000
14.500.000	52.615.934	0.000000	150.000.000	146.713.420	19.800.000
15.500.000	26.338.950	0.000000	160.000.000	157.238.960	19.800.000
16.500.000	23.330.189	0.000000	170.000.000	167.299.135	19.800.000
17.500.000	22.396.826	0.000000	180.000.000	177.317.803	19.800.000
18.500.000	21.890.456	0.000000	190.000.000	187.327.930	19.800.000
19.500.000	21.554.559	0.000000	200.000.000	197.334.648	19.800.000

20.500.000	21.315.580	0.000000	210.000.000	207.339.427	19.800.000
21.500.000	21.186.389	0.000000	220.000.000	217.342.011	19.800.000
22.500.000	21.037.060	0.000000	230.000.000	227.344.998	19.800.000
23.500.000	20.829.532	0.000000	240.000.000	237.349.148	19.800.000
24.500.000	20.423.176	0.000000	250.000.000	247.357.276	19.800.000
25.500.000	19.923.035	0.000000	260.000.000	257.367.278	19.800.000
26.500.000	19.763.756	0.000000	270.000.000	267.370.464	19.800.000
27.500.000	19.917.751	0.000000	280.000.000	277.367.384	19.800.000
28.500.000	19.999.655	0.000000	290.000.000	287.365.746	19.800.000
29.483.333	20.029.664	0.000000	299.833.333	297.195.146	19.800.000

4.6.3 Huasai (*E. oleracea*).

Filename: F:\IIAP\Termofísicas\Resultados\DSC\Huaisai\H-P1.d6d

Sample ID: H-P1

Comment: Primera replica con pulpa de huasai

Seríal

Number: 520A9062905

Sample

Weight: 22.000 mg

Switch the Gas to Nitrogen at 20.0 ml/min

1) Heat from 5.00°C to 300.00°C at 10.00°C/min

1) DSC Temperature Scan

Time	Unsubtracted Heat Flow	Baseline Heat Flow	Program Temperature	Sample Temperature	Approx. Gas Flow
0.000000	20.001.639	0.000000	5.166.667	3.058.686	19.800.000
0.500000	22.665.409	0.000000	10.000.000	7.235.411	19.800.000
1.500.000	25.419.526	0.000000	20.000.000	17.140.329	19.800.000
2.500.000	26.364.514	0.000000	30.000.000	27.131.429	19.800.000
3.500.000	27.775.547	0.000000	40.000.000	37.103.208	19.800.000
4.500.000	29.841.814	0.000000	50.000.000	47.061.883	19.800.000
5.500.000	32.767.552	0.000000	60.000.000	57.003.368	19.800.000
6.500.000	36.798.522	0.000000	70.000.000	66.922.749	19.800.000
7.500.000	42.084.404	0.000000	80.000.000	76.817.031	19.800.000
8.500.000	48.822.725	0.000000	90.000.000	86.682.265	19.800.000
9.500.000	56.590.853	0.000000	100.000.000	96.526.902	19.800.000
10.500.000	61.884.292	0.000000	110.000.000	106.421.033	19.800.000
11.500.000	41.356.131	0.000000	120.000.000	116.831.597	19.900.000
13.500.000	24.104.418	0.000000	140.000.000	137.176.631	19.800.000
14.500.000	22.654.450	0.000000	150.000.000	147.205.630	19.800.000
15.500.000	22.079.614	0.000000	160.000.000	157.217.127	19.800.000
17.500.000	21.766.743	0.000000	180.000.000	177.223.384	19.900.000
18.500.000	21.731.706	0.000000	190.000.000	187.224.085	19.800.000
19.500.000	21.743.330	0.000000	200.000.000	197.223.853	19.800.000

20.500.000	21.741.826	0.000000	210.000.000	207.223.883	19.800.000
21.500.000	21.651.271	0.000000	220.000.000	217.225.694	19.800.000
22.500.000	21.513.777	0.000000	230.000.000	227.228.444	19.800.000
23.500.000	21.323.863	0.000000	240.000.000	237.232.242	19.800.000
24.500.000	20.888.493	0.000000	250.000.000	247.240.949	19.800.000
25.500.000	20.007.795	0.000000	260.000.000	257.258.563	19.800.000
26.500.000	18.366.015	0.000000	270.000.000	267.291.399	19.800.000
27.500.000	16.381.916	0.000000	280.000.000	277.331.081	19.800.000
28.500.000	15.987.395	0.000000	290.000.000	287.338.971	19.800.000
29.483.333	16.961.449	0.000000	299.833.333	297.149.490	19.900.000

4.6.4 Pijuayo (*B. gasipaes*).

Filename: F:\IIAP\Termofísicas\Resultados\DSC\PIJUAYO\P-P1.d6d

Sample ID: P-P1

Comment: Primera replica con pulpa de Pijuayo

Seríal

Number: 520A9062905

Sample

Weight: 33.000 mg

Switch the Gas to Nitrogen at 20.0 ml/min

1) Heat from 5.00°C to 300.00°C at 10.00°C/min

1) DSC Temperature Scan

Time	Unsubtracted Heat Flow	Baseline Flow	Program Temperature	Sample Temperature	Approx. Gas Flow
0.000000	20.002.730	0.000000	5.166.667	3.061.669	19.800.000
0.500000	23.390.570	0.000000	10.000.000	7.273.913	19.800.000
1.500.000	29.146.497	0.000000	20.000.000	17.118.794	19.800.000
2.500.000	30.459.819	0.000000	30.000.000	27.092.528	19.800.000
3.500.000	32.206.615	0.000000	40.000.000	37.067.592	19.800.000
4.500.000	34.513.723	0.000000	50.000.000	47.021.449	19.800.000
5.500.000	37.350.288	0.000000	60.000.000	56.964.718	19.800.000
6.500.000	40.610.611	0.000000	70.000.000	66.899.512	19.800.000
7.500.000	45.182.859	0.000000	80.000.000	76.808.067	19.700.000
8.500.000	51.553.802	0.000000	90.000.000	86.680.648	19.800.000
9.500.000	61.368.727	0.000000	100.000.000	96.484.349	19.800.000
10.500.000	74.592.071	0.000000	110.000.000	106.219.883	19.800.000
11.500.000	79.118.237	0.000000	120.000.000	116.129.359	19.800.000
12.500.000	80.108.704	0.000000	130.000.000	126.109.550	19.800.000
13.500.000	72.555.778	0.000000	140.000.000	136.260.608	19.800.000
14.500.000	40.373.089	0.000000	150.000.000	146.904.262	19.800.000
15.500.000	29.184.104	0.000000	160.000.000	157.128.042	19.800.000
16.500.000	25.959.274	0.000000	170.000.000	167.192.538	19.800.000
17.500.000	24.571.757	0.000000	180.000.000	177.220.289	19.800.000

18.500.000	23.819.760	0.000000	190.000.000	187.235.329	19.800.000
19.500.000	23.368.964	0.000000	200.000.000	197.244.345	19.900.000
20.500.000	23.120.354	0.000000	210.000.000	207.249.317	19.800.000
21.500.000	22.975.417	0.000000	220.000.000	217.252.216	19.800.000
22.500.000	22.865.584	0.000000	230.000.000	227.254.412	19.800.000
23.500.000	22.685.067	0.000000	240.000.000	237.258.023	19.800.000
24.500.000	22.343.908	0.000000	250.000.000	247.264.846	19.800.000
25.500.000	22.137.966	0.000000	260.000.000	257.268.965	19.800.000
27.500.000	21.183.862	0.000000	280.000.000	277.288.047	19.800.000
28.500.000	19.559.036	0.000000	290.000.000	287.320.543	19.800.000
29.483.333	16.786.353	0.000000	299.833.333	297.205.997	19.800.000

4.6.5 Copoazu (*T. grandiflorum*).

Filename: F:\IIAP\Termofísicas\Resultados\DSC\Copoazu\C-P1.d6d

Sample ID: C-P1

Comment: Primera replica con Pc

Seríal

Number: 520A9062905

Sample

Weight: 19.000 mg

Switch the Gas to Nitrogen at 20.0 ml/min

1) Heat from 5.00°C to 300.00°C at 10.00°C/min

1) DSC Temperature Scan

Time	Unsubtracted Heat Flow	Baseline Heat Flow	Program Temperature	Sample Temperature	Approx. Gas Flow
0.000000	19.999.715	0.000000	5.166.667	3.036.100	19.800.000
0.500000	21.703.695	0.000000	10.000.000	7.202.020	19.800.000
1.500.000	26.269.630	0.000000	20.000.000	17.070.701	19.800.000
2.500.000	27.225.878	0.000000	30.000.000	27.061.576	19.800.000
3.500.000	28.131.121	0.000000	40.000.000	37.043.471	19.800.000
4.500.000	29.202.015	0.000000	50.000.000	47.022.054	19.700.000
5.500.000	30.300.306	0.000000	60.000.000	57.000.088	19.900.000
6.500.000	30.603.538	0.000000	70.000.000	66.994.023	19.700.000
7.500.000	31.849.647	0.000000	80.000.000	76.969.101	19.700.000
8.500.000	36.737.529	0.000000	90.000.000	86.871.343	19.800.000
9.500.000	50.685.362	0.000000	100.000.000	96.592.387	19.800.000
10.500.000	77.629.596	0.000000	110.000.000	106.053.502	19.800.000
11.500.000	100.100.782	0.000000	120.000.000	115.604.078	19.800.000
12.500.000	152.149.108	0.000000	130.000.000	124.563.112	19.800.000
13.500.000	38.309.980	0.000000	140.000.000	136.839.894	19.800.000
15.500.000	19.626.601	0.000000	160.000.000	157.213.562	19.800.000
16.500.000	19.266.298	0.000000	170.000.000	167.220.768	19.800.000
17.500.000	18.783.052	0.000000	180.000.000	177.230.433	19.800.000

18.500.000	18.636.577	0.000000	190.000.000	187.233.362	19.800.000
19.500.000	18.461.246	0.000000	200.000.000	197.236.869	19.800.000
20.500.000	18.393.345	0.000000	210.000.000	207.238.227	19.800.000
21.500.000	18.312.002	0.000000	220.000.000	217.239.854	19.800.000
23.500.000	18.315.895	0.000000	240.000.000	237.239.776	19.800.000
24.500.000	18.307.660	0.000000	250.000.000	247.239.941	19.800.000
25.500.000	18.294.276	0.000000	260.000.000	257.240.208	19.800.000
26.500.000	18.282.994	0.000000	270.000.000	267.240.434	19.800.000
27.500.000	18.283.342	0.000000	280.000.000	277.240.427	19.800.000
28.500.000	18.281.493	0.000000	290.000.000	287.240.464	19.800.000
29.483.333	18.277.024	0.000000	299.833.333	297.070.553	19.700.000
29.500.000	18.277.164	0.000000	300.000.000	297.240.551	19.700.000

4.6.6 Ubus (*S. mombin*).

Filename: F:\IIAP\Termofísicas\Resultados\DSC\UBOS\U-P1.d6d

Sample ID: U-P1

Comment: Primera replica con pulpa de Ubos.

Seríal

Number: 520A9062905

Sample

Weight: 11.000 mg

Switch the Gas to Nitrogen at 20.0 ml/min

1) Heat from 5.00°C to 300.00°C at 10.00°C/min

1) DSC Temperature Scan

Time	Unsubtracted Heat Flow	Baseline Heat Flow	Program Temperature	Sample Temperature	Approx. Gas Flow
0.000000	19.999.122	0.000000	5.166.667	3.069.610	19.800.000
0.500000	20.535.684	0.000000	10.000.000	7.278.879	19.800.000
1.500.000	22.039.148	0.000000	20.000.000	17.208.810	19.900.000
2.500.000	22.259.490	0.000000	30.000.000	27.214.403	19.800.000
3.500.000	22.496.841	0.000000	40.000.000	37.209.656	19.800.000
4.500.000	22.702.441	0.000000	50.000.000	47.205.544	19.800.000
5.500.000	22.876.902	0.000000	60.000.000	57.202.055	19.700.000
6.500.000	23.065.437	0.000000	70.000.000	67.198.284	19.900.000
7.500.000	23.288.719	0.000000	80.000.000	77.193.818	19.800.000
8.500.000	23.766.958	0.000000	90.000.000	87.184.254	19.700.000
10.500.000	25.051.006	0.000000	110.000.000	107.158.573	19.800.000
11.500.000	24.036.864	0.000000	120.000.000	117.178.855	19.800.000
12.500.000	24.028.878	0.000000	130.000.000	127.179.015	19.800.000
13.500.000	25.746.192	0.000000	140.000.000	137.144.669	19.900.000
14.500.000	27.175.250	0.000000	150.000.000	147.116.088	19.900.000
15.500.000	33.345.580	0.000000	160.000.000	156.992.681	19.800.000
16.500.000	41.284.302	0.000000	170.000.000	166.833.907	19.800.000
17.500.000	118.331.765	0.000000	180.000.000	175.292.957	19.900.000
18.500.000	89.690.478	0.000000	190.000.000	185.865.783	19.900.000

19.500.000	20.812.878	0.000000	200.000.000	197.243.335	19.900.000
20.500.000	20.621.748	0.000000	210.000.000	207.247.158	19.900.000
21.500.000	20.606.023	0.000000	220.000.000	217.247.472	19.800.000
22.500.000	20.627.135	0.000000	230.000.000	227.247.050	19.800.000
23.500.000	20.575.380	0.000000	240.000.000	237.248.085	19.800.000
24.500.000	20.507.227	0.000000	250.000.000	247.249.448	19.800.000
25.500.000	20.511.475	0.000000	260.000.000	257.249.363	19.900.000
26.500.000	20.545.340	0.000000	270.000.000	267.248.686	19.900.000
27.500.000	20.588.521	0.000000	280.000.000	277.247.822	19.700.000
28.500.000	20.636.941	0.000000	290.000.000	287.246.854	19.800.000
29.483.333	20.683.645	0.000000	299.833.333	297.075.920	19.800.000
