

“Madre de Dios, Capital de la Biodiversidad del Perú”

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

TÍTULO DE LA TESIS.

Determinación experimental de las propiedades termofísicas de 06 frutos amazónicos entre el rango de temperatura de 10 °C a 100 °C por el método de calorimetría de barrido diferencial y diseño de modelos matemáticos en la región de Madre de Dios.

Tesista: Bach. Pedro Romel Nascimento Herbay

Para optar el título profesional de:
INGENIERO AGROINDUSTRIAL.

Puerto Maldonado – Perú

- 2017 -

“Madre de Dios, Capital de la Biodiversidad del Perú”
UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

TÍTULO DE LA TESIS.

Determinación experimental de las propiedades termofísicas de 06 frutos amazónicos entre el rango de temperatura de 10 °C a 100 °C por el método de calorimetría de barrido diferencial y diseño de modelos matemáticos en la región de Madre de Dios.

Tesista: Bach. Pedro Romel Nascimento Herbay

Para optar el título profesional de:
INGENIERO AGROINDUSTRIAL.

Puerto Maldonado – Perú

- 2017 -

**“Madre de Dios, Capital de la Biodiversidad del Perú”
UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

TÍTULO DE LA TESIS.

Determinación experimental de las propiedades termofísicas de 06 frutos amazónicos entre el rango de temperatura de 10 °C a 100 °C por el método de calorimetría de barrido diferencial y diseño de modelos matemáticos en la región de Madre de Dios.

Tesista: Bach. Pedro Romel Nascimento Herbay

Para optar el título profesional de:
INGENIERO AGROINDUSTRIAL.

Puerto Maldonado – Perú

- 2017 -

Tesis financiada por:



Oficina de investigación
UNAMAD



Fundación TReeS

Con la colabora de:



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATOLICA
DEL PERU



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA



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 todos cada momentos vivido.

A mi tío Evin, quien siempre fue cómplice de las sorpresas de fin de año y compañero de viaje de mi padre, gracias por los cuidados.

A Keely Allison Cornejo Rodríguez, tu ayuda fue fundamental, esta tesis no fue fácil, pero esruviste motivándome cada día hasta llegar a este momento, muchas gracias amor.

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, 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 tipo y orientación brindada al mismo, el ánimo de seguir adelante a pesar de las complicaciones que surgieron.

Al Dr. Fernando Torres y Dr. Omar Troncoso, 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 fe 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.

Al Ing. Cesar Chía Dávila, 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 todos mis amigos, en especial, a Yasmin, Liz, German, Luz Marina, Abel, Bruno, Ángel, Juan Carlos, Charo, Raúl, Guísela, Aldo, Fritz y a todas aquellas personas que me brindaron su cariño y confiaron en mí en los buenos y malos momentos.

A mis compañeros, colegas y trabajadores de la empresa Manutata S.A.C. que a pesar de las discrepancias en ideas, 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, cuñados y nueras. 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.

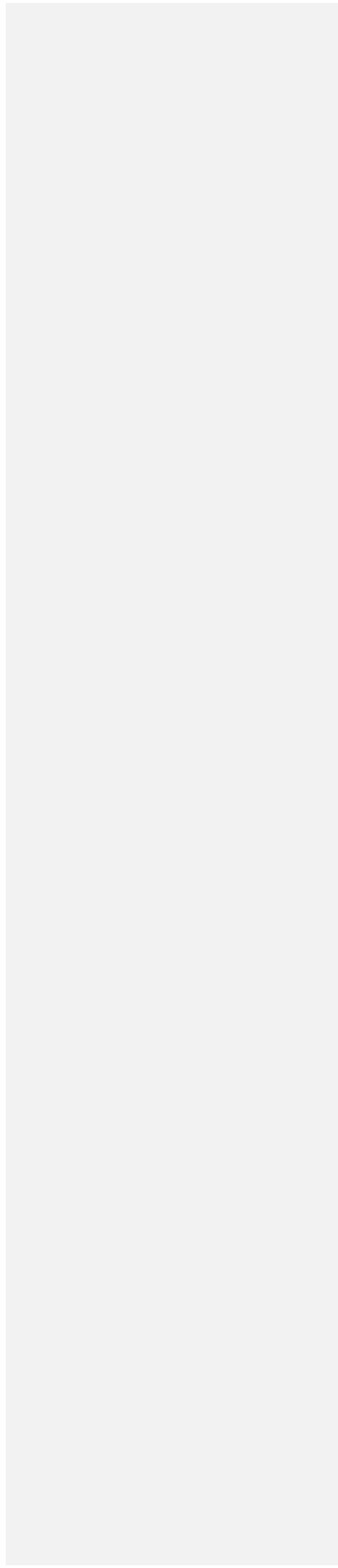
PRESENTACIÓN

La creación 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, el poder 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, haciendo 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 conlleva motivo 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, las características específicas de los distintos frutos amazónicos nos plantea el reto de desarrollar modelos matemáticos ajustados a dichas muestras.



ÍNDICE.

ÍNDICE DE TABLA.....	Error! Bookmark not defined.
INDICE DE FIGURA.....	Error! Bookmark not defined.
RESUMEN.	9
ABSTRACT	Error! Bookmark not defined.
I INTRODUCCIÓN.....	11
II MARCO TEÓRICO.....	13
2.1 Frutos amazónicos.	13
2.1.1 Sinami (<i>Oenocarpus mapora</i>).....	13
2.1.2 Ungurahui (<i>Oenocarpus bataua</i>).	15
2.1.3 Huasai (<i>Euterpe oleracea</i>).....	17
2.1.4 Pijuayo (<i>Bactris gasipaes</i>).	21
2.1.5 Copoazú (<i>Theobroma grandiflorum</i>).....	24
2.1.6 Ubos (<i>Spondias mombin</i>).	27
2.2 Propiedades termofísicas.	29
2.2.1 Calor específico.....	29
2.2.2 Conductividad térmica.	31
2.3 Modelos matemáticos teóricos y empírico.....	34
2.3.1 Propiedades termofísicas a temperatura de calentamiento.....	34
2.4 Calorimetría de barrido diferencial – DSC.	39
2.4.1 Generalidades.	39
2.4.2 Principio y utilidades.....	40
2.4.3 Utilización del DSC en la ciencia de los alimentos.	46
III MATERIALES Y MÉTODOS	46
3.1 Lugar de ensayo.....	46
3.2 Materiales.....	46
3.3 Materia prima.....	47
3.4 Metodología.....	48
IV Resultado y discusión.....	49
4.1 Termograma.	49
4.1.1 Pulpa de sinami (<i>Oenocarpus mapora</i>).	50
4.1.2 Pulpa de unguurahui (<i>Oenocarpus bataua</i>).....	52
4.1.3 Pulpa de huasai (<i>Euterpe oleracea</i>).	53
4.1.4 Pulpa de pijuayo (<i>Bactris gasipaes</i>).....	54

4.1.5	Pulpa de copoazú (<i>Theobroma grandiflorum</i>).....	55
4.1.6	Pulpa de ubos (<i>Spondias mombin</i>).....	56
4.2	Valores experimentales de calor específico y conductividad térmica. .	57
4.3	Análisis de varianza simple por réplica.....	66
4.3.1	ANOVA para Cp (kJ/kg·°k) y para K (J/(m·s·°k)) por réplicas.	66
4.3.2	Prueba de rango múltiple.....	69
4.3.3	Prueba de Kruskal-Wallis.	72
4.4	Modelos matemáticos estimados.....	74
4.4.1	Modelo matemático para estimar el calor específico.	74
4.4.2	Modelo matemático para estimar la conductividad térmica.	79
V	Conclusiones	84
VI	Recomendaciones	85
VII	Bibliografía.....	86
VIII	ANEXOS.....	Error! Bookmark not defined.
8.1	Fotos de los analisis	Error! Bookmark not defined.
8.2	Analisis estadisticos por cada muestra... Error! Bookmark not defined.	
8.2.1	pulpa de sinami (<i>Oenocarpus mapora</i>)... Error! Bookmark not defined.	
8.2.2	pulpa de ungurahui (<i>Oenocarpus bataua</i>). Error! Bookmark not defined.	
8.2.3	pulpa de huasai (<i>Euterpe oleracea</i>)..... Error! Bookmark not defined.	
8.2.4	pulpa de pijuayo (<i>Bactris gasipaes</i>)..... Error! Bookmark not defined.	
8.2.5	pulpa de copoazú (<i>Theobroma grandiflorum</i>). Error! Bookmark not defined.	
8.2.6	pulpa de ubos (<i>Spondias mombin</i>). Error! Bookmark not defined.	

RESUMEN.

Comment [C1]: Incluir en Índice

Comment [c2]:

Comment [c3]:

El desarrollo tecnológico en el campo alimentario, tanto a nivel de dimensionamiento de equipos y cálculo energético involucrado a diferentes procesos industriales se logra por medio del conocimiento de las propiedades termofísicas, reológicas, bromatológicas y física del alimento en proceso.

En el presente trabajo de investigación plantea determinar en una primera etapa 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*) y Ubos (*Spondias mombin*)] y desarrollar modelos matemáticos que permitan estimar dichos valores en diferentes etapas del proceso entre el rango de temperatura de 10°C a 100°C. Por tanto, estos modelos están ajustados en función de la temperatura de proceso.

Las muestras fueron acondicionadas y homogenizadas en función a sus características físicas, se realizaron 04 réplicas de cada muestra, el peso promedio de cada muestra fue de 40 µl dispuestos en un crisol de aluminio sellado. Se empleó el método de calorimetría de barrido diferencial - DSC, para ello se contó con el equipo DSC-4000 de la marca Perkin Elmer. El ratio de temperatura fue de 10°C/min. y la configuración térmica de operación fue entre 5°C a 300°C. Los termogramas obtenidos fueron evaluados por el software Pyris kinetic, obteniéndose valores experimentales de calor específico y conductividad térmica de cada muestra.

Debido a la complejidad y sensibilidad del análisis, los datos experimentales de C_p y K de las muestras de *O. mapora* y *S. mombin* fueron descartadas del análisis al demostrarse que presentaban diferencias altamente significativas entre sus respectivas réplicas. Las muestras de *O. bataua*, *E. oleracea*, *B. gasipaes* y *T. grandiflorum* en el análisis ANOVA y mediante comparación de rango múltiple indicaron homogeneidad entre sus respectivas réplicas. Los modelos matemáticos fueron analizados con ayuda del software Statgraphics Centurión XVI.I, dichos modelos fueron del tipo polinomial ajustados en función

de la temperatura, para el caso del calor específico C_p ($\text{kJ/kg}\cdot^\circ\text{K}$), el r^2 (promedio) fue de 99.9837%, en tanto que el r^2 ajustado (promedio) fue de 99.96335%. En la determinación de la conductividad térmica K ($\text{J}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot^\circ\text{K})$) se observa que el r^2 (promedio) es 99.8814% y el r^2 ajustado (promedio) es 99.8245%.

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

I INTRODUCCIÓN.

La amazonia peruana posee una gran diversidad biológica, la riqueza florista es digna de resaltar. Esta abundancia incluye de manera importante a los frutos como recurso vital para las sociedades amazónicas, constituyendo fuente de primer nivel en la dieta de la población, en la alimentación de animales silvestres y domésticos, así como materia prima para la agroindustria regional (Gonzales, 2007). Sin embargo, la información científica de estos frutos amazónicos es escasa y desarrollada de manera superficial en el campo de la agroindustria y en la generación de nuevos productos.

Las propiedades termofísicas de las frutas (...) son necesarias para calcular la rapidez del proceso de calentamiento/enfriamiento o refrigeración/congelación, también para estimar las cantidades de calor requeridas en procesos como: escaldado, pasteurizado, evaporación, fritura, refrigeración, congelación, esterilización y/o secado, en los cuales hay intercambio de energía y masa (Alvis, Caicedo, & Peña, 2010). 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.

De igual modo, los modelos matemáticos también son de mucha utilidad como herramienta para simular procesos físicos, explicar y predecir el comportamiento en condiciones variadas de procesamiento en alimentos (Alvis, Caicedo, & Peña, 2012).

El proceso de simulación utilizando avanzados modelos matemáticos para predecir los cambios físicos, químicos o microbiológicos, para muchos productos comerciales han sido ampliamente validados con datos experimentales en diferentes investigaciones (Alvis, Caicedo, & Peña, 2012). Los cuales son asistidos por ordenadores en diferentes plataformas tecnológicas en la industria alimentaria. Por lo tanto, las predicciones de los procesos de alimentos se consideran altamente confiables (Alvis, Caicedo, & Peña, 2010).

Comment [C4]: las

Comment [c5]: ok

Comment [C6]: tecnológicas

Comment [c7]: ok

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

Siendo nuestras hipótesis:

- Hipótesis nula: 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: 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.

Las variables **INDEPENDIENTES** fueron: temperatura (10 °C – 100 °C), Ratio térmico (10 °C/minuto); y las variables **DEPENDIENTES**: termogramas, modelos matemáticos, valores experimentales de conductividad térmica y calor específico.

Comment [C8]: La variables independientes fueron:

Comment [C9]: Y la variable dependientes:

Comment [C10]: específico

Nuestros objetivos son:

a) Objetivo general.

Determinar los valores de las propiedades termofísicas de los frutos de *O. mapora*, *O. bataua*, *E. oleracea*, *B. gasipaes*, *T. grandiflorum* y *S. mombin* de modo experimental y mediante modelos matemáticos en función de la temperatura de proceso.

b) Objetivos específicos.

- Determinar experimentalmente los valores de calor específico y conductividad térmica de los frutos de *O. mapora*, *O. bataua*, *E. oleracea*, *B. gasipaes*, *T. grandiflorum* y *S. mombin* entre el rango de temperatura de 10°C a 100°C a partir de los 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 *O. mapora*, *O. bataua*, *E. oleracea*, *B. gasipaes*, *T. grandiflorum* y *S. mombin* en el rango de temperatura de 10 °C a 100 °C.

Comment [C11]: modelos matemáticos empíricos

Comment [C12]: específico

II MARCO TEÓRICO.

2.1 Frutos amazónicos.

2.1.1 Sinami (*Oenocarpus mapora*).

2.1.1.1 Clasificación taxonómica¹.

Reino: Plantae

Filo: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Arecales

Familia: Arecaceae

Género: *Oenocarpus*

Especie: *Oenocarpus mapora*



Figura 1. *Oenocarpus mapora*.

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

2.1.1.2 Descripción.

Palma cespitosa hasta con 12 tallos y puede alcanzar hasta 15 metros de altura y los tallos 10 a 15 cm de diámetro. La base de las hojas forma un pseudocaule de color verde (80 cm). Las hojas miden hasta 6 m de longitud y presentan en la base abundante fibras. Las inflorescencias son intrafoliares y de color rojizo cuando están fructificadas. Los frutos son elipsoides a ovoides de 2 a 3 cm de longitud y 1 a 3 cm de diámetro. Son de color morado oscuro a negro al madurar (Silva, Mota, & Farias, 2009).

2.1.1.3 Usos.

Los frutos puestos al calor o en agua caliente liberan el mesocarpio oleoso, del que se prepara una bebida agradable y refrescante (Vásquez & Baluarte, 1998) (Mejía, 1992). Las hojas son utilizadas para la fabricación de abanicos, cestas y ocasionalmente en el techado de las viviendas, los troncos son utilizados como postes y en la fabricación de flechas (Sosnowska, Ramirez, & Millán, 2010; Gutiérrez & Peralta, 2001).

2.1.1.4 Propiedades bromatológicas.

Nogueira, Carvalho, & Ramos (2014) determinaron la composición bromatológica de la pulpa de *O. mapora*. 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.

Tabla 1. 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
Solidos 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, & Ramos, 2014.

Comment [C13]: Usar el formato de tabla sin líneas verticales propio de un documento científico.

Comment [c14]: ok

2.1.2 Ungurahui (*Oenocarpus bataua*).

2.1.2.1 Clasificación taxonómica².

Reino: Plantae

Filo: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Arecales

Familia: Arecaceae

Género: *Oenocarpus*

Especie: *Oenocarpus bataua*



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

2.1.2.2 Descripción.

O. bataua es considerado como una especie promisoría, tanto por sus frutos ricos en aceite de excelente condición, similar al aceite de oliva y con proteína de alta calidad, como por su especial adaptación a suelos pobres (Cifuentes, Moreno, & Arango, 2010). Alcanza hasta 25 m de altura, de tallo solitario, de hasta 25 cm de diámetro, con cicatrices en forma de anillos muy marcados a lo largo de la palmera. Las hojas son largas (hasta 8 m). Las inflorescencias son

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

intrafoliares, tienen un pedúnculo corto y su aspecto tiene forma de “cola de caballo”, lo cual permite distinguir con relativa facilidad la especie, los frutos maduros son de color morado oscuro a negro (Silva, Mota, & Farias, 2009).

2.1.2.3 Usos.

Los frutos son consumidos directamente, en refresco, helados, postres y dulces. Del fruto maduro se extrae en forma artesanal un fino aceite como tónico para el cabello y usado como laxante. Las tortas y harinas contienen en su mayoría fibra, proteína y carbohidratos (González & Torres, 2011; Vásquez & Baluarte, 1998). Como herramientas, los frutos se usan para elaborar artesanías, las semillas para elaborar botones; las hojas jóvenes se usan para la fabricación de artesanía, abanicos, canastas, paneras y esteras; la hoja o inflorescencia se usa como escoba (Sosnowska, Ramirez, & Millán, 2010).

2.1.2.4 Propiedades bromatológicas.

Ocampo, Fernández, & Castro (2013) estudiaron el aceite proveniente del fruto de *O. bataua*, determinando su alto contenido de ácido oleico en proporción similar al aceite de oliva, mayor contenido de ácido linolénico pero con menor contenido de ácido linoleico. La composición de dicho aceite no fue alterado por la maduración del fruto, sin embargo, el fruto maduro tuvo un mayor rendimiento en cuanto a la extracción de aceite se refiere.

Tabla 2. Composición del aceite de *O. bataua*.

Ácidos grasos		Aceite de <i>O. bataua</i>	Aceite de oliva
N°	Ácido graso	Valor (%)	Valor (%) – Balick 1998
12:0	Láurico	---	---
14:0	Mirístico	0.29 ± 0.9	---
16:0	Palmitico	12.80 ± 1.0	9.4 – 11.2
16:1	Palmitoleico	0.84 ± 0.2	0.2 – 1.5
18:0	Esteárico	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, & Castro, 2013

Comment [C15]: Formato de tabla

2.1.3 Huasai (*Euterpe oleracea*).

2.1.3.1 Clasificación taxonómica³.

Reino: Plantae

Filo: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Arecales

Familia: Arecaceae

Género: *Euterpe*

Especie: *Euterpe oleracea*



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

2.1.3.2 Descripción.

Es una palma ampliamente distribuida en la cuenca amazónica. Con hasta 20 m de altura, sus tallos alcanzan 10 a 15 cm de diámetro. Presenta raíces agrupadas de color rojizo. Las hojas son entre 8 y 14 con pseudocaule prominente, de color verde, café oscuro, rojizo o amarillento. Las

Comment [C16]: La cuenca amazónica

Comment [c17]: ok

Comment [c18]:

Comment [c19]:

³ Instituto de Ciencias Naturales:

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

inflorescencias son intrafoliares densamente cubiertas por un tomento café flechas (Gutiérrez & Peralta, 2001). Su fruto es una baya de forma redonda-ovalada de color violáceo cuando está maduro y verde cuando está inmaduro (Sanabria & Sangronis, 2007).

La importancia de esta palmera ha crecido debido a que se la considera especia oleaginosa, y como potencial de uso de su biomasa para la generación de energía en la región amazónica. Tanto la pulpa como los productos derivados al ser reductores de peso, energizantes y disminución del envejecimiento, se ha vendido el 2008 a los Estados Unidos, cerca de US\$ 109 millones, siendo Brasil, el país de origen de estas exportaciones (Sotero, Maco, Merino, & Vela, 2013).

2.1.3.3 Usos.

De esta palma se extrae el “palmito” que es una importante fuente de alimento. De los frutos se prepara refrescos, postres y licor (de sus frutos maduros fermentados). Los botones florales se utilizan en la elaboración de encurtidos (Gutiérrez & Peralta, 2001).

2.1.3.4 Propiedades bromatológicas y termofísicas.

Sanabria & Sangronis (2007) mencionan que el *E. oleracea* es una fuente potencial de antocianinas para la industria, para ello determinaron la composición proximal, el perfil de ácidos grasos, el contenido de minerales, taninos, polifenoles, antocianinas, la capacidad antioxidante y el color de la pulpa. Provenientes de 2 cosechas del año 2005.

Tabla 3. Compuestos antioxidantes y capacidad antioxidante.

Compuesto (g/100g ¹)	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

Se reportan media y desviación estándar de triplicado. Letras iguales en la misma fila indican diferencias significativas ($p < 0.05$).¹Muestra seca y desgrasada

Fuente: Sanabria & Sangronis, 2007.

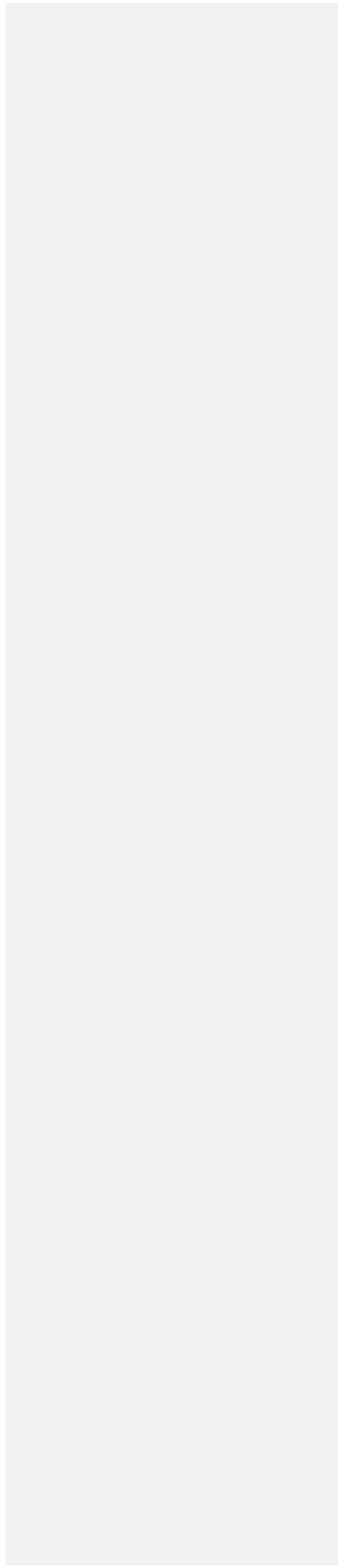


Tabla 4. Composición del *E. oleracea* de la primera y segunda cosecha expresados en base se (g/100 g)¹.

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 & Sangronis, 2007.

A través del método de mezclas de Hwang & Hayakawa (1979), (Sobottka & Pimentel, 1998) determino experimentalmente las propiedades termofísicas de los jugos 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 5. 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 & Pimentel, 1998.

2.1.4 Pijuayo (BACTRIS GASIPAES).

2.1.4.1 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>

2.1.4.2 Descripción.

Es una palmera con varios tallos o estípites cilíndricos de 15 a 30 cm de diámetro, que pueden alcanzar hasta 25 m de altura. Presenta entre 9 y 20 hojas pinnadas que están recubiertas con espinas en la base, el pecíolo, el raquis. Estas son de color negro o café y miden 1 cm. La inflorescencia son intrafoliares y presentan una bráctea espinosa. Los frutos son drupas de coloración diferente, verduzcos, amarillos, anaranjados, rojos o colores intermedios; tienen diversas formas, cónicas, ovoide o elipsoide; son de distintos tamaño, desde muy pequeña (de 1 a 1.5 cm de diámetro sin semilla) hasta muy grande (7 cm de diámetro en frutos normales) (Pasquel & del Castillo, 2002).

2.1.4.3 Usos.

Frutos y semillas comestibles; de los frutos cocidos se prepara la bebida regional “masato” y también se extrae aceite en forma artesanal. Las yemas foliares son comestibles al natural o en ensaladas (Vásquez & Baluarte, 1998).

También se extrae harina, el cual es empleado en la alimentación de animales domésticos. En Costa Rica existen grandes plantaciones destinadas a producir palmito para exportación (Gutiérrez & Peralta, 2001).

2.1.4.4 Propiedades bromatológicas y termofísicas.

Castillo (2006) realizó un estudio comparativo en la harina de *B. gasipaes* crudo y procesado con el objeto de evaluar los efectos de estos tratamientos sobre la composición química de dicha harina, observando en la muestra procesada una disminución del valor nutricional, especialmente en el contenido de micronutrientes, como minerales y vitaminas C, así como también en el contenido de polifenoles.

No se encontró presencia de azúcar reductores en el análisis proximal realizado a la harina de *B. gasipaes* por Castillo (2006). Sin embargo (Pacheco, Alvarado, Salas, & Trujillo, 1999) reporta 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 6. 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, & 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 7. 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, & Estupiñan, 2012.

Buranelo, Miranda, & 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 8. Propiedades termofísicas de *B. gasipaes*.

Calor específico (kJ/kg.°C)	
- 25°C	3.86
Conductividad térmica (W/m.°C)	
- 25°C	0.58

Fuente: Buranelo, Miranda, & Godoy, 2015.

2.1.5 Copoazú (*Theobroma grandiflorum*).

2.1.5.1 Clasificación taxonómica⁵.

Reino: Plantae

Filo: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Malvales

Familia: Sterculiaceae

Género: *Theobroma*

Especies: *Theobroma grandiflorum*



Figura 5. *Theobroma grandiflorum*.

⁵ Disponible en: arch/taxa/taxa.aspx?tsn=506108
Fuente: Elaboración propio.

2.1.5.2 Descripción.

Se conoce con el nombre de copoazú y se menciona como cacao silvestre. Es específicamente una baya drupácea elipsoide u oblonga, de extremos redondeados, con una longitud aproximada de 15 – 32 cm y de 10 – 15 cm de ancho; su peso promedio es de 1500 g, posee un epicarpio (cascara) leñoso y quebrantable (Hernández & Barrera, 2004).

La pulpa (endocarpio) que envuelve la semilla es comestible, de coloración amarilla, cremosa, sabor ácido. La semilla contiene una grasa aromática parecida a la manteca de cacao con un punto de fusión de 32°C, índice de saponificación de 188 y un índice de yodo de 45 (Hernández & Barrera, 2004).

El rendimiento de la pulpa varía de acuerdo con el tamaño, procedencia y periodo de zafra y el método de extracción, en promedio, los frutos pesan 1.275 kg, con 43% de cascara, 38.5% de pulpa, 17.19% de semilla y 2.85% otros componentes, la pulpa comestible es de color amarillo o blanquecina, de sabor ácido y aroma fuerte, siendo muy apreciado organolépticamente (Ferreira G. , 2008).

2.1.5.3 Usos.

El copoazú presenta más pulpa que semilla, en una relación de 2 a 1, así que se puede aprovechar la pulpa, aspecto que no es posible con el cacao. La pulpa contienen niveles altos de fosforo, pectina, calcio y vitamina C. Se utiliza en la elaboración de jugos, néctares, mermeladas, compotas, gelatinas y dulces. Del fruto también se aprovecha la semilla, que contiene alto contenido de proteína y grasa, para preparar el cupulate, un producto con características similares al chocolate y la cascara puede ser utilizado en la producción de abono orgánico (Hernández & Barrera, 2004).

2.1.5.4 Propiedades bromatológicas y termofísicas.

Tabla 9. Análisis químico de *T. grandiflorum*.

Calcio (mg)	Fosforo (mg)	Hierro (mg)	Retinol (mg)	Vit. B1 (mg)	Vit. B2 (mg)	Niacina (mg)	Vit. C (mg)
23	26	2.60	30	0.04	0.04	0.50	33

Fuente: Ferreira G. , 2008.

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.

Dantas (2010) realizó un estudio de las propiedades reológicas 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.

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/m.°K)	Difusividad térmica (mm ² /s)	Calor específico Volumétrico (10 ³ J/kg.°K)	Masa específica (g/m ³)
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
30	14	0.57 ± 0.04	0.141 ± 0.002	4.00 ± 0.22	1041.7 ± 12.38
	17	0.52 ± 0.02	0.139 ± 0.001	3.71 ± 0.16	1084.7 ± 14.33
	19	0.55 ± 0.02	0.139 ± 0.001	3.94 ± 0.12	1082.0 ± 2.12
	23	0.53 ± 0.01	0.138 ± 0.001	3.85 ± 0.08	1077.8 ± 4.93
	25	0.53 ± 0.01	0.135 ± 0.001	3.98 ± 0.09	1106.4 ± 3.26

Fuente: Dantas, 2010.

2.1.6 Ubos (*Spondias mombin*).

2.1.6.1 Clasificación taxonómica⁶.

Reino: Plantae

Filo: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Sapindales

Familia: Anacardiaceae

Género: *Spondias*

Especie: *Spondias mombin*



Figura 6. *Spondias mombin*.

Fuente: <http://selvanet20.blogspot.com>

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

2.1.6.2 Descripción.

El fruto de Ubos tiene un peso promedio entre 2.18 a 24.33 g, largo 2.17 a 3.97 cm y diámetro de 1.85 a 3.38 cm. Las semillas pesan entre 0.85 a 9.05 g, largo 1.79 a 3.17 cm y diámetro de 1.42 a 2.40 cm, la cascara entre 0.4 a 8.4 g. La pulpa representa entre 10 a 53% del peso del fruto, la cáscara entre 8.3 a 53.5 % y la semilla entre 36.1 a 53.8% (González & Torres, 2011).

2.1.6.3 Usos.

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

2.1.6.4 Propiedades bromatológicas.

Mattietto, Lopes, & Menezes (2010) realizaron la caracterización físico-química de la pulpa del fruto del *S. mombin* L.

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

Parámetros	Valor (*)
pH	2.53 ± 0.01
Acidez titulable total (% ácido cítrico)	1.86 ± 0.01
Sólidos solubles (expresado en °Brix a 28°C)	10.09 ± 0.00
Humedad (%)	89.42 ± 0.18
Proteína (%)	0.82 ± 0.01
Lípidos totales (%)	0.26 ± 0.09
Ceniza (%)	0.58 ± 0.02
Fibra dietética (%)	1.18 ± 0.10
Fibra insoluble (%)	0.43 ± 0.12
Fibra soluble (%)	0.75 ± 0.12
Azúcares totales (g/100g)	4.54 ± 0.25
Azúcares reductores (g/100g)	4.25 ± 0.34
Azúcares no reductores (g/100g)	0.29 ± 0.27
Carotenoides totales (µg/g)	28.30 ± 0.18
Taninos (mg/100g)	299.81 ± 0.48
Vitamina C (mg ácido ascórbico/100g)	23.72 ± 0.08

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

Fuente: Mattietto, Lopes, & Menezes, 2010.

2.2 Propiedades termofísicas.

2.2.1 Calor específico.

El calor específico es definido como la cantidad de energía térmica que es absorbida o perdida por unidad de masa del producto para efectuar una variación en la temperatura, sin provocar cambio de estado, esto representa apenas el calor sensible (Singh & Heldman, 1998; Silva S. , 1997). Puede ser referenciado a presión constante (C_p), y a volumen constante (C_v), que son llamados “calores específicos principales” (Aviara & Haque, 2001).

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 de productos homogéneos son una de las ventajas de resaltar del uso de DSC (Lozano, 2006).

El calor específico puede ser determinado, con la utilización de un calorímetro de mezcla, construido con un envase térmico, con capacidad para 1000 ml, **envuelto** por una cámara de 0.05 m de aislamiento térmico construido de vidrio y teniendo como envoltura un cilindro de PVC de 0.15 m de diámetro (Santos, Marques, Fontan, Fontan, & Bonomo, 2006).

Comment [C20]: envuelto

Comment [c21]: ok

También puede medirse directamente por el método de sonda caliente en régimen transitorio (Van-Gelder, 1998), utilizando, por ejemplo el equipo KD2 Pro, que es un analizador automático de propiedades térmicas (Cabral, Orrego-Alzate, Gabas, & Telis-Romero, 2007).

Moura, Germer, Jardim, & Sadahira (1998) determinaron experimentalmente las propiedades termofísicas del jugo de frutas tropicales (*T. grandiflorum*, *E. oleracea*, guanábana [*Annona muricata*]) entre el rango de temperatura de 10 a 80°C, en calor específico vario de 3.69 kJ/kg·°C para el jugo de huasai, 3.89 kJ/kg·°C para la pulpa de copoazú y 3.97 kJ/kg·°C para la pulpa de guanábana (*Annona muricata*).

Comment [C22]: Guanábana (Annona muricata)

Comment [c23]: Ok

Lima, Queiroz, & Figueirêdo (2003) estudiaron las propiedades termofísicas de la pulpa de Ubos (*Spondias tuberosa*) a diferentes contenidos de sólidos (10, 20 y 30) °Brix, observando diferencias significativas en cuanto al calor específico de las muestras, 10 °Brix (3.67 kJ/kg.°C); 20 °Brix (3.48kJ/kg.°C) y 30 °Brix (3.2148 kJ/kg.°C), concluyendo en que el calor específico aumenta o disminuye con la concentración de sólidos solubles.

Araújo, Queiroz, & Figueirêdo (2004), determinaron el calor específico de la pulpa de *T. grandiflorum* sobre tres condiciones de contenido de sólidos: Integral (12 °Brix), 9 °Brix y tamizado y verificaron que los resultados medios experimentales obtenidos para el calor específico de las muestras 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. Observaron la correspondencia entre los valores de calor específico y el contenido de sólidos solubles.

Muniz, Queiroz, Figueirêdo, & Duarte (2006), estudiaron el calor específico de la pulpa de bacuri (*Platonia insignis*) en diferentes concentraciones de 5 a 20 °Brix, verificaron que el calor específico de las muestras disminuyó con el aumento de la concentración, con menor valor determinado para la muestra de 20 °Brix en contraste al valor a 5 °Brix, este estudio reflejó que la muestra de mayor valor estuvo relacionado a la muestra con mayor fracción de agua.

Cabral, Orrego-Alzate, Gabas, & Telis-Romero (2007), determinaron las propiedades termofísicas del jugo de mora (*Morus nigra*) entre 9.4 a 58.4 °Brix, siendo concentrados en rotavapor al vacío, en las temperaturas de 0.5 a 80.8 °C, el calor específico presentó valores mínimos de 2.4162 kJ/kg.°C en la concentración de 58.4 °Brix a 9.3 °C y máximo de 4.3003 kJ/kg.°C en la concentración de 9.4 °Brix a 80.8 °C.

Muramatsu, Sakaguchi, Orikasa, & Tagawa (2010) midieron las propiedades termofísicas de tres tipos de jugos de frutos (uva, pepino y naranja), variando la temperatura entre 10 a 50°C y concentración de 10 a 50%. Observaron que el calor específico aumenta con el aumento de la temperatura para cada concentración y disminuye con el aumento de la concentración.

2.2.2 Conductividad térmica.

La conductividad térmica (k , con unidades en el SI $W/m \cdot ^\circ K$) de un material está relacionado con la medida de su capacidad para conducir calor. En los alimentos, la conductividad térmica depende principalmente de la composición y a factores que afectan la trayectoria del calor a lo largo del material, tales como porcentaje de poros, forma, tamaño y distribución; homogeneidad y orientación de las fibras, como por ejemplo, en carnes congeladas (Silva S. , 1997).

Existen, actualmente, varios métodos para medir la conductividad térmica de los materiales. Estos métodos pueden ser clasificados en método en estado estacionario y método en estado no estacionario. El primero es más fácil de ser realizado, sin embargo, demanda de tiempo para alcanzar el régimen estacionario para realizar el análisis (Moura, Franca, & Leal, 2003). El método basado en estado no estacionario, a pesar de ser más difícil de realizar, es el más apropiado para alimentos, las mediciones son realizadas en pocos minutos, evitando así alteraciones en la muestra como consecuencia de su actividad microbiológica y/o química (Fontana, Varith, Ikediala, Reyes, & Wacker, 1999). Este modelo se basa en obtener perfiles de temperatura a lo largo de un tiempo pre-definido (Mohsenin, 1980), además, permite determinar otras propiedades termofísicas como la difusividad térmica y la capacidad térmica volumétrica (Van-Gelder, 1998). El método no estacionario puede ser utilizado en varios materiales, pero es menos exacto que el método estacionario cuando se trata de materiales secos (Mohsenin, 1980).

La conductividad térmica de los alimentos y su relación con el contenido de agua es una de las más importantes propiedades de transporte requerida para modelar procesos en que masa y energía son intercambiados (Pinheiro, 2004).

Telis-Romero, Telis, Gabas, & Yamashitah (1998) determinaron la variación de la conductividad térmica de jugo de naranja entre las temperaturas de 0.5 a 62°C en función del contenido de agua del producto, expresando en fracción másica (0.34 a 0.73%). Verificaron que al aumento de los valores de la conductividad térmica estaba relacionada con la elevación de la temperatura y

el incremento del contenido de humedad. Azoubel, Cipriani, El-aouar, & Murr (2005), determinaron la conductividad térmica de jugo de marañón en función del contenido de sólidos totales del producto, entre 5 a 25 °Brix. Los autores observaron una fuerte dependencia de las propiedades con el contenido de sólidos, mostrando la misma tendencia observada por Telis-Romero, Telis, Gabas, & Yamashitah (1998).

Oliveira, Camargo, Machado, & Borges (2001) determinaron la conductividad térmica "k" del jugo de naranja en diferentes concentraciones (11 a 59) °Brix, los valores de "k" variaron de (0.2 a 0.57) W/m.°C.

Silva, Mata, Duarte, & Nascimento (2002) al estudiar la cinética de enfriamiento del frutos de marañón a temperatura de 5, 10 y 15°C, observaron que los valores de la conductividad térmica variaron de 0.406 a 0.435 W/m.°C, aumentando en función de la disminución de la temperatura de 15 a 5 °C.

Lima, Queiroz, & 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, 0.500 y 0.499 W/m.°C respectivamente, permitiendo observar que los valores de la conductividad térmica disminuyen con el aumento de la concentración de sólidos solubles totales.

Araújo, Queiroz, & Figueirêdo (2004) al determinar las propiedades termofísicas de la pulpa de *T. grandiflorum*, la diferencia de contenido de sólidos: integral, 9°Brix y tamizado; observaron estadísticamente que las pulpas integrales y tamizadas no se diferenciaron en cuanto a los valores obtenidos para la conductividad térmica (0.44 y 0.42) W/m.°C respectivamente, diferenciando de la pulpa de 9 °Brix a 0.50 W/m.°C.

Baumer, Mariani, & Mendes (2006) al investigar experimentalmente la conductividad térmica del banano relacionando con la humedad, verificaron que la conductividad se comportó de forma irregular, la relación debería ser que en cuanto menor humedad, menor debería ser la conductividad, la conductividad

vario de 0.442744 – 0.333358 W/m.°K para humedad de 73.35000 – 69.96157%, debido a que la conductividad no **presentó** una secuencia de reducción, los autores atribuyen ese resultado a la presencia de porosidad y dirección de las fibras.

Comment [C24]: presentó

Comment [c25]: ok

Muniz, Queiroz, Figueirêdo, & Duarte (2006) estudiaron las propiedades termofísicas de la pulpa de bacuri (*Platonia insignis*), entre las temperaturas de 25 y 30°C y concentraciones de: 5,7.5, 10, 12.5, 15; 17.5, 20 °Brix y observaron que la conductividad térmica **disminuyó** con el aumento de la concentración, significando que la capacidad para conducir el calor en la pulpa de **bacuri** disminuye con la concentración, los valores varían de 0.64 W/m.°K (5 °Brix) a 0.50 W/m.°K (20 °Brix).

Comment [C26]: disminuyó

Comment [c27]: ok

Comment [C28]: bacurí

Comment [c29]: ok

Cabral, Orrego-Alzate, Gabas, & Telis-Romero (2007) **determinaron** las propiedades termofísicas del jugo de mora (*Morus nigra*) con valores de 9.4 a 58.4 °Brix y concentrada en rotavapor al vacío, dentro del rango de temperatura de 0.5 a 80 °C, la conductividad térmica **presentó** un mínimo de 0.389 W/m.°C en la concentración de 58.9 °Brix y 0.5 °C y máximo de 0.652 W/m.°C en la concentración 9.4 °Brix a 80.8°C.

Comment [C30]: determinaron

Comment [c31]: ok

Comment [C32]: presentó

Comment [c33]: ok

Mariani, Amarante, & Coelho (2009), al estimar la conductividad térmica aparente del puré de zanahoria durante congelación, **observaron que ésta propiedad disminuyó** con el aumento de la temperatura variando de 0.6473 W/m.°K (20°C) a 0.6153 W/m.°K (40°C).

Comment [C34]: observaron que ésta propiedad disminuyó

Comment [c35]: ok

Muramatsu, Sakaguchi, Orikasa, & Tagawa (2010) midieron las propiedades termofísicas de 2 tipo de jugos de frutas (uva y naranja), entre 10 y 50°C y con concentraciones que variaron de 10 a 50%. 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. Verificando también que dicha propiedad aumenta linealmente con el aumento de la temperatura y disminuye con el aumento de la concentración.

2.3 Modelos matemáticos teóricos y empírico.

2.3.1 Propiedades termofísicas a temperatura de calentamiento.

2.3.1.1 Ecuación teórica – modelo de la solución binaria.

Los alimentos constituyen un sistema complejo de agua, solutos y macromoléculas. En un sentido físico-químico del alimento típico puede tratarse como una mezcla de sólidos insolubles y una solución de varios compuestos solubles en agua. Sin embargo para propósitos de Ingeniería son considerados frecuentemente como una solución binaria, es decir, una mezcla de dos fracciones físicamente distintas: agua y sólidos totales. En esta composición los sólidos totales consisten de los sólidos solubles e insolubles (Morales, 2009)

Considerando al alimento como una solución binaria ideal se puede desarrollar un modelo teórico para la estimación de las propiedades termofísicas del alimento, en el rango de temperaturas de 0 a 100°C, utilizando las fracciones en peso y las propiedades físicas de sus componentes (agua y sólidos) (Morales, 2009).

a) Densidad.

$$\frac{1}{\rho(T)} = \frac{Y_{WZ}}{\rho_W(T)} + \frac{Y_S}{\rho_S} \quad \text{Ec. 01}$$

b) Calor específico.

$$Cp(T) = Cp(T)Y_{WZ} + Cp_S Y_S \quad \text{Ec. 02}$$

c) Conductividad térmica.

En la formulación del modelo teórico, siguiendo el procedimiento de Kopelman (1966) y considerando al agua presente en el alimento como la fase continua (Kc), y a los productos sólidos como la fase discontinua (Kd), la expresión resultante es:

$$K(T) = \frac{K_W[K_S M^2 + K_W(1-M^2)]}{K_S M^2(1-M) + K_W(1-M^2 + M^3)} \quad \text{Ec. 03}$$

Dónde: $K_w = K_w(T)$

La ecuación anterior es válida para un sistema de dos componentes (agua y sólidos).

El volumen del cubo de sólidos (m^3) del modelo de Kopelman puede calcularse utilizando el modelo de densidad de la siguiente manera:

$$M^3 = 1 - \frac{Y_{WZ}\rho(T)}{\rho_W(T)} \quad \text{Ec. 04}$$

Donde $\rho(T)$ y $\rho_W(T)$ se calculan a la misma temperatura.

d) Entalpía.

La variación de la entalpía del producto para el rango de 0 – 100°C se calculará mediante la siguiente expresión:

$$H = Y_S C_{pS} \int_{T_D}^T dT + Y_{WZ} \int_{T_D}^T C_{pW}(T) dT \quad \text{Ec. 05}$$

Donde el sufijo D denota el punto de referencia. Además se debe verificar que $273 \text{ °K (0°C)} \leq T_D \leq 373 \text{ °K (100°C)}$. Recordar que T y T_D están en °K.

e) Cálculo de las propiedades efectivas de los sólidos del alimento.

- Densidad efectiva de los sólidos.

La densidad efectiva de los sólidos del alimento, el cual es considerado constante con respecto a la temperatura, puede calcularse de la siguiente manera:

$$\rho_S = \frac{\rho_{UZ}\rho_W(1-Y_{WZ})}{\rho_W - \rho_{UZ}Y_{WZ}} \quad \text{Ec. 06}$$

- Calor específico efectivo de los sólidos.

Puede calcularse utilizando el modelo aditivo lineal expresado en términos de las fracciones en peso y los calores específicos de sus componentes (agua y sólidos). La expresión resultante es:

Comment [C36]: específico

Comment [c37]: ok

$$Cp_S = \frac{Cp_{UZ} - Cp_W Y_{WZ}}{Y_S} \quad \text{Ec. 07}$$

- Conductividad térmica efectiva de los sólidos.

$$K_S = \frac{K_W}{M^2} \left[\frac{K_W(1-M^2) - K_{UZ}(1-M^2+M^3)}{K_{UZ}(1-M) - K_W} \right] \quad \text{Ec. 08}$$

El valor de K_S se considera constante con respecto a la temperatura. En este caso, la fracción de volumen de los sólidos (m^3) en la mezcla se calcula utilizando el modelo de densidad como sigue:

$$M^2 = 1 - \frac{Y_{WZ} \rho_{UZ}}{\rho_W} \quad \text{Ec. 09}$$

Para el cálculo de las propiedades térmicas de los sólidos (ρ_S , Cp_S , K_S), las propiedades del agua (ρ_W , Cp_W , K_W) y del producto (ρ_{UZ} , Cp_{UZ} , K_{UZ}) deben estar referidas a la misma temperatura.

f) **Propiedades termofísicas del agua (rango 0 – 100 °C).**

Se expresan mediante las siguientes relaciones obtenidas de los datos reportados en HANDBOOK OF CHEMISTRY AND PHYSICS (1996) citado por Morales (2009).

$$\rho_w(T) = \rho_{w0} + \rho_{w1}T + \rho_{w2}T^2 + \rho_{w3}T^3 \quad \text{Ec. 10}$$

Donde

$$\begin{aligned} \rho_{W0} &= 233.172 \text{ kg/m}^3 \\ \rho_{W1} &= 6.76474 \text{ kg/m}^3\text{K} \\ \rho_{W2} &= -1.87743 \times 10^{-2} \text{ kg/m}^3\text{K}^2 \\ \rho_{W3} &= 1.56896 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^3\text{K}^3 \end{aligned}$$

$$K_w(T) = K_{w0} + K_{w1}T + K_{w2}T^2 + K_{w3}T^3 \quad \text{Ec. 12}$$

Donde

$$\begin{aligned} K_{W0} &= -4.98411 \times 10^{-1} \text{ W/mK} \\ K_{W1} &= 517.006 \times 10^{-5} \text{ W/mK}^2 \\ K_{W2} &= -29.1489 \times 10^{-7} \text{ W/mK}^3 \\ K_{W3} &= -6.66278 \times 10^{-9} \text{ W/mK}^4 \end{aligned}$$

Comment [C38]: propiedades

Comment [c39]: ok

$$Cp_w(T) = Cp_{w0} + Cp_{w1}T + Cp_{w2}T^2 + Cp_{w3}T^3 \quad \text{Ec. 13}$$

Donde

$$\begin{aligned} CpW0 &= 106.907 \times 10^2 \text{ J/kgK} \\ CpW1 &= -56.5815 \text{ J/kgK}^2 \\ CpW2 &= 161.938 \times 10^{-3} \text{ J/kgK}^3 \\ CpW3 &= -0.152273 \times 10^{-3} \text{ J/kgK}^4 \end{aligned}$$

Para todos los casos T está en K.

2.3.1.2 Modelos empíricos basados en la humedad o composición proximal.

a) Calor específico.

Cuando se disponga de información detallada acerca de la composición proximal del producto puede utilizarse la siguiente expresión, recomendada para los alimentos en general, obtenida de los resultados de Choi & Okos (1986), para el rango de 0 a 100°C, citado por Morales (2009):

$$Cp_{UZ} = \sum_i^n Cp_i(T)Y_i \quad \text{Ec. 14}$$

$$Cp_{UZ} = Cp_w(T)Y_{WZ} + Cp_p(T)Y_p + Cp_c(T)Y_c + Cp_f(T)Y_f + Cp_l(T)Y_l + Cp_m(T)Y_m \quad \text{Ec. 15}$$

Los valores de los calores específicos de cada componente se calcularán a la temperatura T a partir de las funciones respectivas disponibles en la.

b) Calor específico.

Cuando se conozca la composición proximal completa del producto puede aplicarse la siguiente expresión obtenida por Choi & Okos (1986) para el rango de 0 a 100°C, citado por Morales (2009):

$$K_{UZ} = \sum_i^a K_i(T)Y_i^V \quad \text{Ec. 16}$$

$$K_{UZ} = K_w(T)Y_{WZ}^V + K_p(T)Y_p^V + K_c(T)Y_c^V + K_f(T)Y_f^V + K_l(T)Y_l^V + K_m(T)Y_m^V \quad \text{Ec. 17}$$

Comment [C40]: específico

Comment [c41]: ok

Donde:

$$Y_i^V = \frac{Y_i/\rho_i}{1/\rho_{UZ}} = \frac{Y_i/\rho_i}{\sum_i^n (Y_i/\rho_i)} \quad \text{Ec. 18}$$

Los valores de los calores específicos de cada componente se calcularán a la temperatura "T" a partir de las funciones respectivas disponibles en la Tabla 13.

c) Densidad.

En ausencia de información experimental, Choi & Okos (1986) recomienda utilizar un modelo basado en la aditividad de los volúmenes de los componentes de la siguiente manera, citado por Morales (2009):

$$\frac{1}{\rho_{UZ}} = \sum_i^n \frac{Y_i}{\rho_i(T)} \quad \text{Ec. 19}$$

$$\frac{1}{\rho_{UZ}} = \frac{Y_{WZ}}{\rho_W(T)} + \frac{Y_P}{\rho_P(T)} + \frac{Y_F}{\rho_F(T)} + \frac{Y_C}{\rho_C(T)} + \frac{Y_L}{\rho_L(T)} + \frac{Y_M}{\rho_M(T)} \quad \text{Ec. 20}$$

Los valores de los calores específicos de cada componente se calcularán a la temperatura T a partir de las funciones respectivas disponibles en la Tabla 13.

.

d) Entalpia.

La variación de la entalpia del producto para el rango de 0 a 100°C se calculará mediante la siguiente expresión Morales (2009):

$$H = Y_{WZ} \int_{T_D}^T C_{pW}(T) dT + Y_P \int_{T_D}^T C_{pP}(T) dT + Y_C \int_{T_D}^T C_{pC}(T) dT + Y_F \int_{T_D}^T C_{pF}(T) dT + Y_L \int_{T_D}^T C_{pL}(T) dT + Y_M \int_{T_D}^T C_{pM}(T) dT \quad \text{Ec. 17}$$

Los valores de los calores específicos de cada componente se calcularán a la temperatura T a partir de las funciones respectivas disponibles 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
DENSIDAD			
kg/m3		kg/m3	
Proteína	$\rho_P = 1.3299 \times 10^{-3} - 5.1840 \times 10^{-1}t$	$\rho_P = 1329.8 \exp(-0.0004t)$	1.000
Lípidos	$\rho_L = 9.2559 \times 10^{-2} - 4.1757 \times 10^{-1}t$	$\rho_L = 925.53 \exp(-0.0005t)$	1.000
Carbohidratos	$\rho_C = 1.5991 \times 10^{-3} - 3.1046 \times 10^{-1}t$	$\rho_C = 1599.1 \exp(-0.0002t)$	1.000
Fibra	$\rho_F = 1.3115 \times 10^{-3} - 3.6589 \times 10^{-1}t$	$\rho_F = 1311.5 \exp(-0.0003t)$	1.000
Minerales	$\rho_M = 2.4238 \times 10^{-3} - 2.8063 \times 10^{-1}t$	$\rho_M = 2423.8 \exp(-0.0001t)$	1.000
Agua	$\rho_W = 9.9718 \times 10^2 + 3.1439 \times 10^{-3}t - 3.7574 \times 10^{-3}t^2$		
Hielo	$\rho_I = 9.1689 \times 10^2 - 1.3071 \times 10^{-1}t$		
CALOR ESPECIFICO			
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			
m2/s		m2/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
NÚMEROS DIMENSIONALES			
$Ak = \frac{k}{\rho \alpha C_p}$			
Proteína		$Ak_P = 980.45 \exp(-0.0005t)$	0.8498
Lípidos		$Ak_L = 910.51 \exp(-0.0161t)$	0.9578
Carbohidratos		$Ak_C = 1012.7 \exp(-0.0008t)$	0.9195
Fibra		$Ak_F = 1036.3 \exp(-0.0011t)$	0.8523
Minerales		$Ak_M = 39.27t + 877.59$	0.9885

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), Akintude (2008), Choi & Okos (1986).

2.4 Calorimetría de barrido diferencial – DSC.

2.4.1 Generalidades.

El término Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) se confundía inicialmente con el Análisis de Diferencia Térmica (DTA), técnica pionera en el análisis térmico. El propósito de los instrumentos térmicos diferenciales es registrar la

Comment [C42]: térmicos

Comment [c43]: ok

diferencia entre el cambio de entalpia que ocurre en una muestra y un material inerte de referencia cuando ambos se calientan (Sadqi, 2000).

En el DSC, la muestra y la referencia se calientan independientemente, por lo que se puede medir directamente la diferencia en flujo de calor para mantener una temperatura igual en ambas. Así, los datos se obtienen en forma de entradas diferenciales de calor (dH/dt) en función de la temperatura (Sadqi, 2000). Es decir, nos permite determinar la cantidad de calor que adsorbe o libera una sustancia, cuando es mantenida a temperatura constante, durante un tiempo determinado, o cuando es calentada o enfriada a velocidad constante, en un determinado intervalo de temperatura (Manals & Penedo, 2011; Suriñach, Baro, Bordas, Clavaguera, & Clavaguera-mora, 1992). Con estos datos se pueden obtener temperaturas y entalpias de transición o de

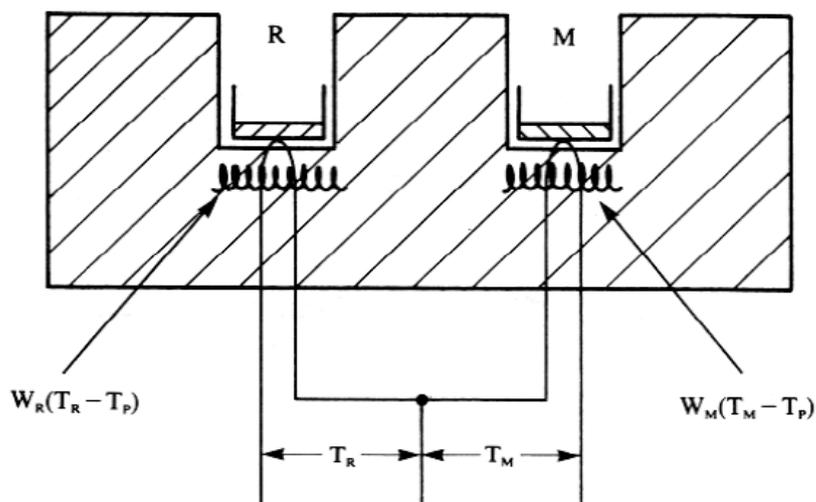


Figura 7. Esquema de un equipo DSC.

Fuente: Albella; Cintas; Miranda & Serratos (1993).

reacción (Beldarraín, 2001).

2.4.2 Principio y utilidades.

En la Figura 7 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

Comment [C44]: , respectivamente

Comment [c45]: ok

independientes. Un sistema de control permite que las temperaturas instantáneas de cada crisol (T_M y T_R) se midan y se comparen continuamente con el valor de 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):

$$E_M = W_M(T_M - T_p) \quad \text{Ec. 18}$$

$$E_R = W_R(T_R - T_p) \quad \text{Ec. 19}$$

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

2.4.2.1 Transiciones en polímeros.

A continuación vamos a ver cómo se manifiestan estos procesos en los termogramas que se obtienen por DSC. En la Figura 10.15, se muestra la forma general de un termograma para un polímero semicristalino típico, que ha sido enfriado rápidamente hasta una temperatura inferior a su T_g , obteniéndose después el termograma a una cierta velocidad de calentamiento.

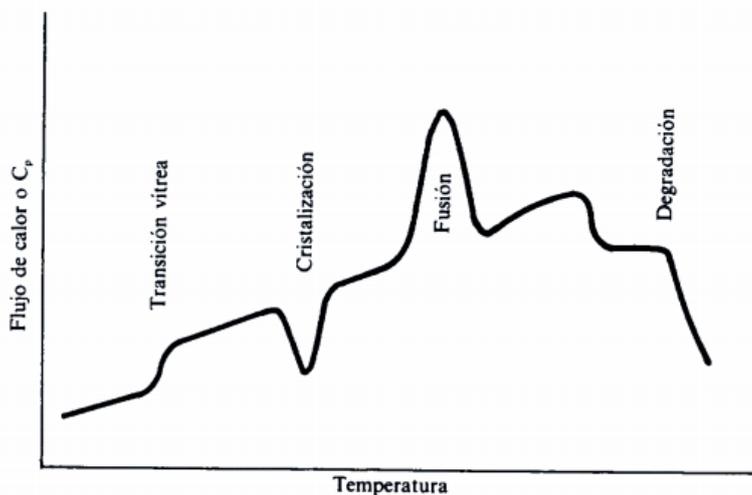


Figura 8. Termograma típico de un polímero semicristalino. Figuras tomadas de: LLORENTE UCETA, M.A. y HORTA ZUBIAGA, A.: "Técnicas de caracterización de polímeros". UNED, 1991

- Transición vítrea (transición isofásica): A temperaturas bajas, el polímero se encuentra en su estado vítreo, en el que los movimientos moleculares (saltos conformacionales) están "congelados". La variación de la capacidad calorífica con la temperatura es de forma lineal. Al llegar a la transición vítrea

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.

comienzan ya a tener lugar movimientos de segmentos de las cadenas del polímero, aumenta de forma brusca el volumen libre, haciéndose el material más blando. La capacidad calorífica de este estado es diferente del correspondiente al estado vítreo, teniendo lugar un salto en C_p a la temperatura de transición vítrea, T_g . Desde un punto de vista termodinámico, la transición vítrea, puede considerarse como una transición de segundo orden, ya que es la segunda derivada de la función característica termodinámica, la energía libre de Gibbs G , la que sufre un salto durante la transición [$C_p/T = (\partial^2 G/\partial T^2)_p$]. Por tanto, la transición vítrea no lleva asociado ningún cambio de fase (transición isofásica). El factor más importante que determina el valor de la temperatura de transición vítrea, es la flexibilidad de la cadena polimérica considerada aisladamente y de las interacciones entre tales cadenas. La flexibilidad de la cadena viene determinada, pues, por la estructura química. Las cadenas formadas por enlaces C-C y C-O, son notablemente flexibles y así las poliolefinas tienen T_g s relativamente bajas. La rotación alrededor del enlace C-C viene limitada por la sustitución por grupos alquilo y, así, el polipropileno y otras poliolefinas ramificadas tienen una T_g más alta que la del polietileno. Estructuras poliméricas mucho más rígidas, como la del polimetacrilato de metilo y los policarbonatos, presentan T_g altas (ALBELLA, CINTAS, & MIRANDA, 1993).

- ii) **Cristalización:** Al seguir calentando la muestra (Figura 8) puede que el polímero cristalice. Al enfriar rápidamente el polímero, quedaron impedidos los movimientos moleculares y no fue posible el que tuviera lugar la cristalización. Al calentar lentamente el polímero por encima de su T_g , las cadenas tienen ya suficiente movilidad para cristalizar a temperaturas por debajo de su punto de fusión. El proceso de cristalización es un proceso exotérmico, manifestándose en el termograma mediante un pico (ALBELLA, CINTAS, & MIRANDA, 1993).
- iii) **Fusión (transición bifásica):** El proceso de fusión que ocurre al seguir aumentando la temperatura da lugar a un pico endotérmico a la temperatura T_m . Al igual que la cristalización, la fusión es una transición termodinámica de primer orden, ya que es la primera derivada de la función característica

termodinámica la que sufre un salto durante el proceso. Los factores que determinan la temperatura de fusión de un polímero cristalino o parcialmente cristalino son dos: a) las fuerzas intermoleculares, que son las responsables de la agregación molecular y pueden expresarse como la energía cohesiva o la energía necesaria para separar una molécula del agregado sólido o líquido. Cuando los polímeros tienen valores de energía cohesiva por encima de 5 kcal/mol, son muy cristalinos; y b) la rigidez o flexibilidad de cadena, dependiendo ésta de la mayor o menor facilidad para la rotación alrededor de los enlaces covalentes de la cadena. Por tanto, un polímero será tanto más cristalino cuanto más rígidas sean sus cadenas y cuantos más fuertes sean las interacciones existentes entre ellas (ALBELLA, CINTAS, & MIRANDA, 1993).

iv) Degradación: A temperaturas muy altas tiene lugar la degradación del polímero. El termograma indicado en la Figura 8 es un caso ideal ya que existen numerosos factores que alteran la forma de las diferentes transiciones. Una característica general de las mismas es que no ocurren a una temperatura fija, sino que cubren un amplio intervalo de temperaturas. Esto es debido a la naturaleza irregular de los sistemas poliméricos: polidispersidad, distinto tamaño de cristales, etc. (ALBELLA, CINTAS, & MIRANDA, 1993).

Lógicamente, para identificar el tipo de transformación que tiene lugar a una determinada temperatura, es preciso acudir, la mayor parte de las veces, a técnicas experimentales complementarias que nos permitan ratificar la validez de las conclusiones extraídas de las curvas de DSC (Sadqi, 2000).

Esta técnica se utiliza para detectar cambios endotérmicos o exotérmicos que ocurren durante una medida dinámica en función de la temperatura. Estos cambios son denominados transiciones térmicas o eventos térmicos. Las transiciones térmicas de primer orden (Figura 9) producen picos y las de segundo orden (Figura 10) presentan saltos en el flujo de calor.

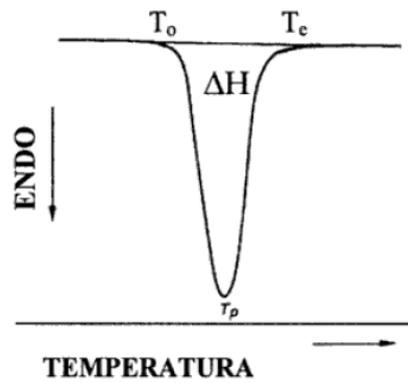


Figura 9. Representación esquemática de un termograma obtenido por DSC de una reacción de primer orden (Fusión).

Fuente: Martínez (1998).

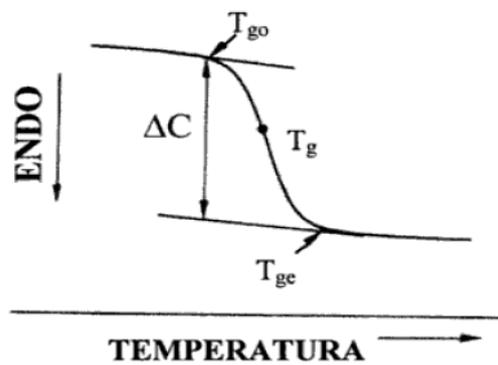


Figura 10. Representación esquemática de un termograma obtenido por DSC de una reacción de segundo orden (Transición vítrea).

Fuente: Martínez (1998).

- Dónde:
- T_o = Inicio de la transición (Onset).
 - T_p = Temperatura en el pico.
 - T_e = Temperatura final de transición (Offset).
 - T_{go} = Inicio de la transición vítrea.
 - T_g = Temperatura del punto medio.
 - T_{ge} = Temperatura final de transición vítrea.

2.4.3 Utilización del DSC en la ciencia de los alimentos.

La Calorimetría de barrido diferencial ha sido utilizada en los últimos años como una metodología de trabajo fundamental para el estudio de temas tales como: transiciones inducidas térmicamente en proteínas, lípidos, ácidos nucleicos, determinación de producción de calor por células, microorganismos; y además, es frecuente su uso en análisis de combustibles, polímeros y en el ámbito farmacéutico en el análisis de sustancias (Gómez, 2009).

Debido a su capacidad de analizar sistemas complejos, poco a poco ha sido introducido en el campo de la Ciencia de los Alimentos como una herramienta útil y de precisión para realizar un estudio, debido a que en los alimentos, dada su compleja composición y su carácter multifásica, pueden tener lugar transiciones de primer o segundo orden en el intervalo de temperatura y presiones a las que son manipuladas: fusión o transiciones entre formas polimórficas de grasas, gelatinización de almidón, desnaturalización de proteínas, cristalización de hielo o azúcar, transiciones vítreas de fase amorfas con biopolímeros o solutos moleculares y baja proporción de agua (Martinez, 1998).

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de ensayo.

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 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 μ l.
- 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 Machete.
- 01 GPS Garmin 78S.
- 5 m de malla raschel.
- 01 cuaderno de apuntes y 02 lapiceros.
- 01 cinta adhesiva (para codificar).
- 01 Marcador permanente.

3.3 MATERIA PRIMA

Los frutos de *O. batua*, *E. oleracea*, *B. gasipaes* y *T. grandiflorum* fueron recolectado 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.

Comment [C46]: Se puede incluir mapa de Madre de Dios y los puntos de muestreo

Comment [c47]: ok



Figura 11. Mapa y punto de muestreo
Fuente: Google Maps.

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.

3.4 Metodología

Cada muestra fue **acondicionada** de acuerdo a sus características, las pulpas de *O. mapora*, *O. bataua* y *B. gasipaes* fueron extraído con relativa facilidad. Sin embargo, el caso 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**. *T. grandiflorum* y *S. mombin* por su carácter de frutos pulposos, la extracción de las muestras fue realizada de manera rápida y sencilla.

Comment [C48]: acondicionada

Comment [c49]: ok

Comment [C50]: presentó

Comment [c51]: ok

Comment [C52]: para los análisis se han incluido la cáscara?

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.

Comment [C53]: Y codificado??

Comment [c54]: ok

Se procedió a configurar el programa Pyris StepScan, software que controla el DSC, el rango de temperatura fue de 5 $^{\circ}\text{C}$ a 300 $^{\circ}\text{C}$, 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 de gran 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 patrón 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 réplicas por cada muestra.

Comment [C55]: colocó

Comment [c56]: ok

Comment [C57]: inició

Comment [c58]: ok

Comment [C59]: térmica

Comment [c60]: ok

Cada muestra con sus respectivas réplicas 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^a ($^{\circ}\text{C}$) y K ($\text{J}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot^{\circ}\text{K})$) con T^a ($^{\circ}\text{C}$).

Comment [C61]: análisis

Comment [c62]: ok

IV RESULTADO Y DISCUSIÓN.

4.1 Termograma.

Comment [C63]: Verificar orden de presentación de resultados por cada fruto. Discusión de cuadros e interpretación de la estadística que permita inferir conclusiones. IMPORTANTE!!!!

4.1.1 Pulpa de sinami (*Oenocarpus mapora*).

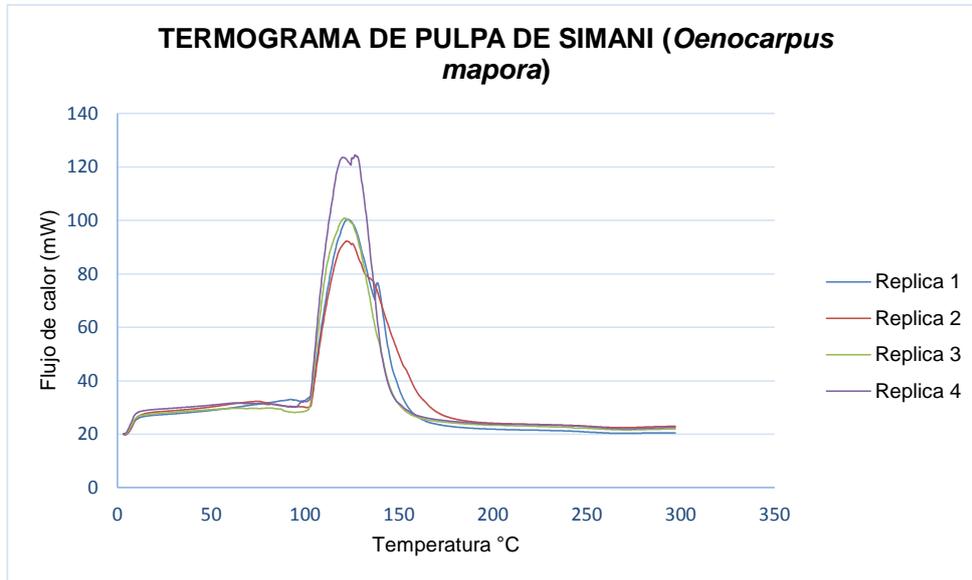


Figura 12. Termograma de la pulpa de *O. mapora*.

Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Biomecánica, Biomateriales y Biomimética – PUCP, 2015.

Los picos máximos que representan la temperatura de fusión fueron:

Tabla 15. 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: Fundación Tecnalia Research & Innovation, 2015

Los 03 primeros termogramas presentaron características muy similares, con picos bien definidos y únicos. No obstante, el termograma de la réplica 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 Albella, Cintas, & Miranda (1993), los termogramas describieron un proceso de fusión como resultado del aumento de la temperatura, esto genero picos endotermicos en las temperatura de fusion mostradas en la Tabla 15. El mayor valor del 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 fusion (122.68 °C) en relacion a las otras replicas, pero el flujo de calor fue de 100.35 mW, estando dentro del rango del experimento (92.22 – 124.56 mW). Estos valores posiblemente presentaron bajos niveles de correlacion y posiblemente fue un factor más que ocasionó que el analisis de rango multiple mostrara diferencias significativas entre cada replica.

También Albella, Cintas, & 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. Las muestras al término del proceso de degradación sufrieron un cambio físico y químico transformándose en ceniza.

Desde el punto de vista termodinamico y en relacion a la entalpia (H), el proceso de fusion aplicado sobre las replicas de *O. mapora*, ocasionaron reacciones endotermicas generando un incremento en la entalpia (ΔH) positiva, es decir, fue mayor la energia de las replicas en comparacion a la energia de la muestra patron.

4.1.2 Pulpa de unguirahui (*Oenocarpus bataua*).

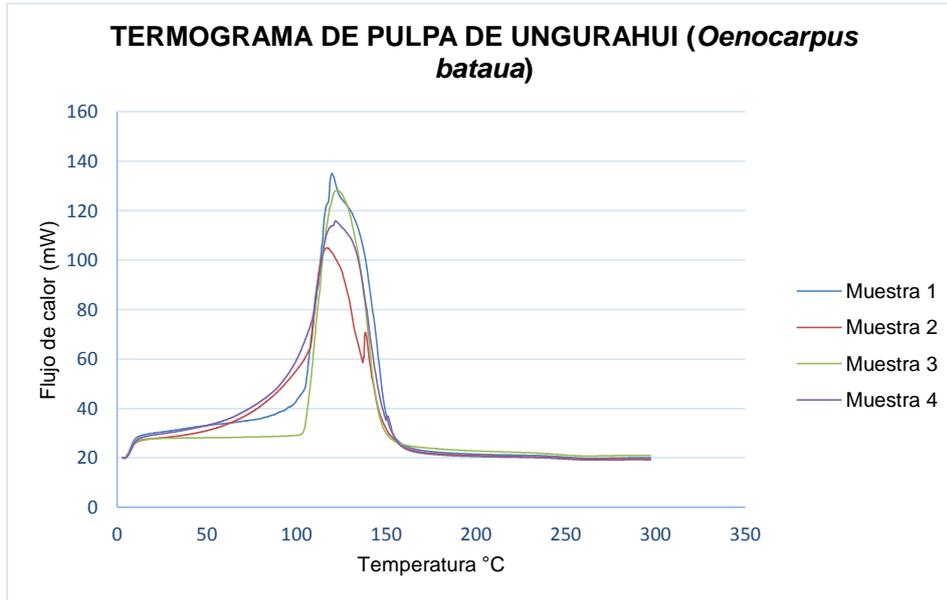


Figura 13. Termograma de la pulpa de *O. bataua*.

Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Biomecánica, Biomateriales y Biomimética – PUCP, 2015.

Los picos máximos que representan la temperatura de fusión fueron:

Tabla 16. Temperatura de fusión de la pulpa de *O. bataua*.

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

Fuente: Fundación Tecnalia Research & Innovation, 2015

En la Figura 13, el termograma correspondiente a la muestra de *O. bataua* muestra distintos valores de temperaturas de fusión para cada muestra, incluso el gráfico de la muestra 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 3 °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 (*Euterpe oleracea*).

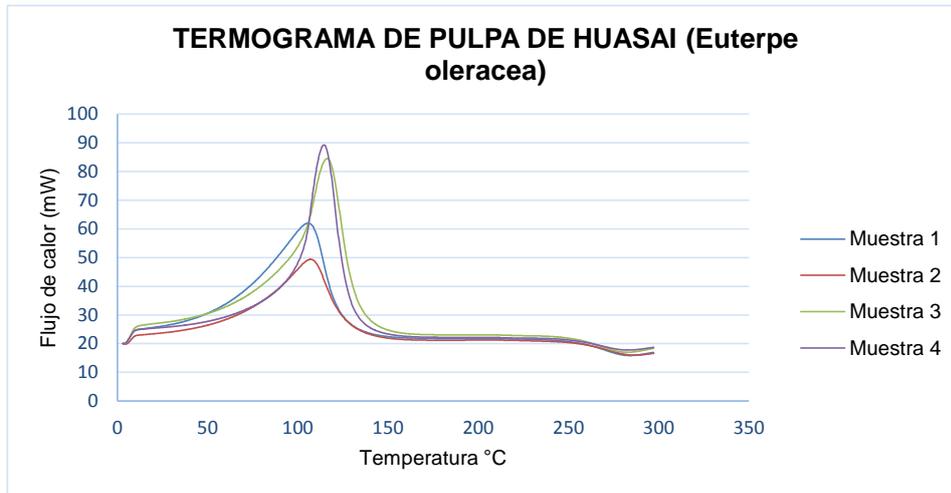


Figura 14. Termograma de la pulpa de *E. oleracea*.

Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Biomecánica, Biomateriales y Biomimética – PUCP, 2015.

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

Tabla 17. Temperatura de fusión de la pulpa de *E. oleracea*.

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

Fuente: Fundación Tecnalia Research & Innovation, 2015

Los termogramas de la Figura 14 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 dos primeras réplicas y las 2 finales son significativas incluso en la temperatura de fusión, se observó que esta diferencia aumento en relación al aumento de la temperatura del experimento. No obstante, nuestra investigación se enmarco entre el intervalo de temperatura de 10 °C a 100 °C, la variación de los termogramas en este intervalo fueron mínimas, mayor a 100 °C se percibió el proceso de degradación de la muestra.

4.1.4 Pulpa de pijuayo (*Bactris gasipaes*).

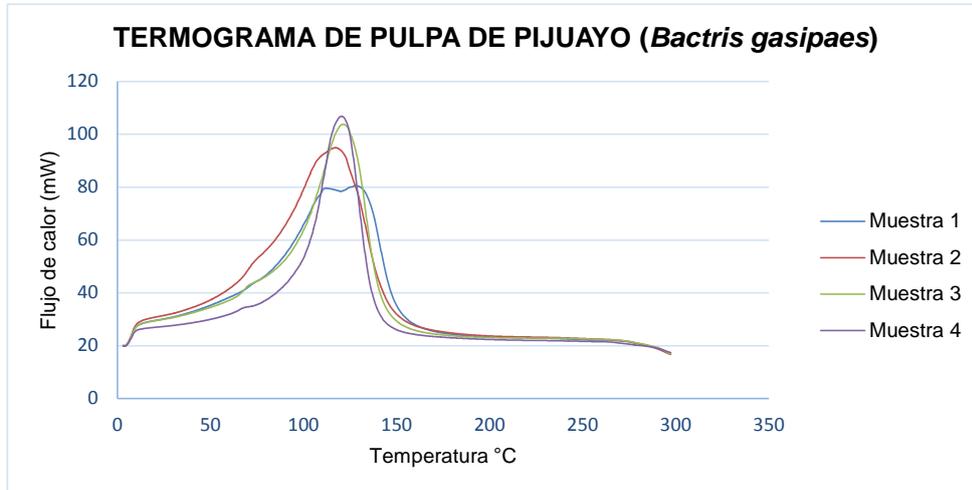


Figura 15. Termograma de la pulpa de *B. gasipaes*.

Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Biomecánica, Biomateriales y Biomimética – PUCP, 2015.

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

Tabla 18. Temperatura de fusión de la pulpa de pijuayo.

Replica	Flujo máximo de calor (mW)	Temperatura de fusión (T°)	Observación
Muestra 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 T0 elegida para iniciar el ensayo.
Muestra 2	94.95	117.04	La señal presenta un hombro considerable a temperaturas inferiores al máximo.
Muestra 3	103.78	121.27	Pico único. No se puede asegurar que el inicio sea antes de la T0 elegido.
Muestra 4	106.81	120.43	Pico único

Fuente: Fundación Tecnalia Research & Innovation, 2015.

Nuevamente se percibió diferencias significativas entre los termogramas, esta característica fue clasificada como extraño tratándose de réplicas 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 (*Theobroma grandiflorum*).

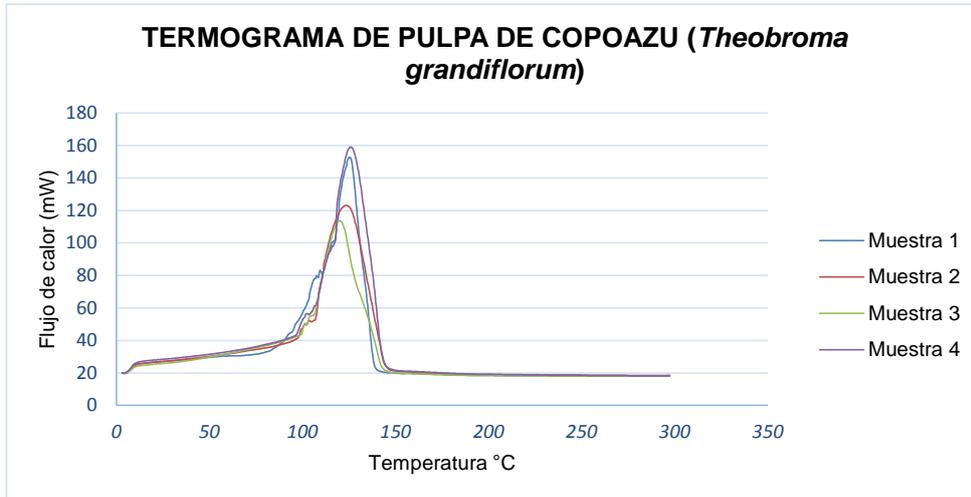


Figura 16. Termograma de la pulpa de *T. grandiflorum*.

Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Biomecánica, Biomateriales y Biomimética – PUCP, 2015.

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

Tabla 19. Temperatura de fusión de la pulpa de copoazú.

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

Fuente: Fundación Tecnalía Research & Innovation, 2015.

La forma de cada pico de los termogramas mostrado en la Figura 16 fueron similares en todos los casos, si bien la primera replica era más estrecha que las otras. Así mismo se apreció diferencias de altura significativas en los máximos de las distintas señales. Así comparando la réplica 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 tercera replica que en la cuarta.

4.1.6 Pulpa de ubos (*Spondias mombin*).

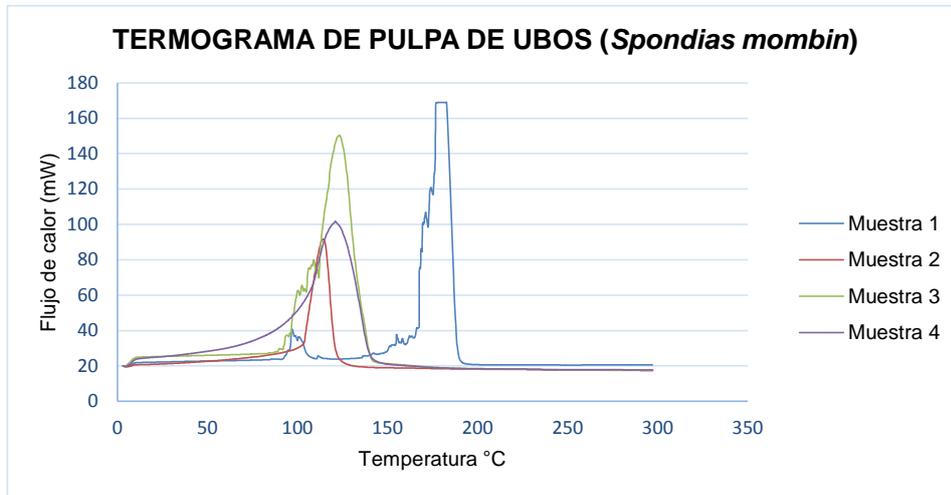


Figura 17. Termograma de la pulpa de *S. mombin*

Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Biomecánica, Biomateriales y Biomimética – PUCP, 2015.

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

Tabla 20. Temperatura de fusión de la pulpa de *S. mombin*.

Replica	Flujo máximo de calor (mW)	Temperatura de fusión (T°)	Observación
Muestra 1	40.78/169.06	97.01 / 182.77	Picos no excesivamente bien definidos.
Muestra 2	91.69	114.07	Pico único y bien definido.
Muestra 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.
Muestra 4	101.79	120.79	Pico único.

Fuente: Fundación Tecnalia Research & Innovation, 2015.

El termograma de la muestra 1 mostro un comportamiento diferente en relación a las otras muestras, 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 lo cual, 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 21 y tabla 22 respectivamente.

Tabla 21. Datos de calor específico Cp (kJ/Kg·°K) vs temperatura T^a (°C).

P1		P2		P3		P4		Promedio	
T ^a	Cp	T ^a	Cp	T ^a	Cp	T ^a	Cp	T ^a	Cp
<i>Sinami (O. mapora)**</i>									
10,028	5,661	10,139	4,743	10,014	5,243	10,006	5,755		
20,135	6,030	20,066	5,141	20,125	5,533	20,116	6,058		
30,125	6,140	30,055	5,238	30,114	5,641	30,107	6,158		
40,113	6,272	40,043	5,350	40,104	5,746	40,096	6,266		
50,109	6,427	50,027	5,494	50,094	5,845	50,084	6,388		
60,092	6,614	60,006	5,679	60,086	5,922	60,070	6,535		
70,072	6,840	70,159	5,834	70,096	5,922	70,073	6,504		
80,053	7,048	80,169	5,744	80,092	5,958	80,079	6,442		
90,032	7,278	90,033	5,524	90,118	5,703	90,102	6,309		
100,034	7,258	100,041	5,458	100,115	5,730	100,056	6,682		
<i>Ungurahui (O. bataua)</i>									
10,062	5,363	10,066	5,997	10,045	6,088	10,043	5,492	10,054	5,735
20,156	5,808	20,000	6,412	20,157	6,410	20,119	6,050	20,108	6,170
30,146	5,998	30,155	6,581	30,154	6,450	30,108	6,265	30,141	6,324
40,124	6,215	40,135	6,817	40,161	6,477	40,082	6,536	40,126	6,511
50,104	6,406	50,105	7,160	50,160	6,496	50,051	6,858	50,105	6,730
60,088	6,560	60,060	7,679	60,158	6,514	60,010	7,284	60,079	7,009
70,069	6,738	70,006	8,415	70,156	6,542	70,103	7,972	70,084	7,417
80,048	6,947	80,075	9,473	80,152	6,583	80,026	8,880	80,075	7,971
90,167	7,441	90,120	10,912	90,147	6,638	90,063	10,149	90,124	8,785
100,068	8,396	100,122	12,849	100,140	6,725	100,018	12,368	100,087	10,085
<i>Huasai (E. oleracea)*</i>									
10,024	6,740	10,044	6,211	10,050	6,711	10,031	4,938	10,040	6,554
20,135	7,002	20,000	6,394	20,006	7,033	20,147	5,080	20,047	6,810
30,124	7,288	30,157	6,579	30,160	7,242	30,146	5,186	30,147	7,036
40,092	7,723	40,137	6,847	40,137	7,542	40,131	5,338	40,122	7,371
50,046	8,350	50,110	7,221	50,104	7,969	50,109	5,559	50,087	7,847
60,151	9,248	60,071	7,750	60,057	8,577	60,077	5,875	60,093	8,525
70,062	10,456	70,017	8,485	70,163	9,421	70,032	6,324	70,081	9,454
80,105	12,046	80,113	9,495	80,076	10,555	80,139	6,960	80,098	10,699
90,130	14,034	90,017	10,811	90,122	12,042	90,044	7,910	90,089	12,296
100,141	16,196	100,058	12,568	100,133	14,117	100,029	9,659	100,110	14,294
<i>Pijuayo (B. gasipaes)</i>									
10,019	6,033	10,073	5,094	10,147	5,111	10,070	4,676	10,077	5,228
20,111	6,565	20,157	5,602	20,083	5,521	20,015	4,904	20,092	5,648
30,094	6,869	30,128	5,868	30,058	5,755	30,011	5,033	30,073	5,881
40,055	7,296	40,084	6,262	40,024	6,078	40,151	5,215	40,079	6,213
50,005	7,849	50,026	6,793	50,151	6,482	50,124	5,459	50,077	6,645
60,105	8,517	60,110	7,569	60,098	6,976	60,096	5,806	60,102	7,217
70,040	9,354	70,138	8,860	70,158	8,006	70,041	6,310	70,094	8,133

80,104	10,423	80,155	10,252	80,084	8,703	80,146	6,808	80,122	9,047
90,121	12,120	90,130	11,938	90,130	9,866	90,032	7,841	90,103	10,441
100,062	14,666	100,026	14,426	100,065	11,974	100,000	9,678	100,038	12,686
<i>Copoazú (T. grandiflorum)</i>									
10,130	7,831	10,059	7,108	10,128	6,800	10,092	7,071	10,102	7,203
20,064	8,401	20,007	7,575	20,078	7,238	20,032	7,611	20,045	7,706
30,056	8,680	30,155	7,881	30,058	7,517	30,013	7,877	30,071	7,989
40,038	8,976	40,130	8,240	40,027	7,957	40,158	8,216	40,088	8,347
50,015	9,334	50,103	8,625	50,158	8,524	50,131	8,581	50,102	8,766
60,158	9,609	60,073	9,061	60,116	9,116	60,098	9,028	60,111	9,204
70,148	9,760	70,036	9,592	70,068	9,803	70,060	9,548	70,078	9,675
80,109	10,377	80,169	10,113	80,020	10,496	80,011	10,216	80,077	10,301
90,151	12,556	90,117	10,858	90,118	11,379	90,121	11,034	90,127	11,457
100,127	18,145	100,085	13,596	100,149	13,510	100,034	14,407	100,099	14,915
<i>Ubos (S. mombin)**</i>									
10,084	11,876	10,011	13,758	10,012	7,792	10,034	6,760		
20,048	12,057	20,145	13,963	20,141	7,967	20,151	7,096		
30,043	12,174	30,136	14,246	30,136	8,041	30,144	7,345		
40,038	12,308	40,125	14,627	40,131	8,123	40,120	7,685		
50,035	12,410	50,112	15,077	50,126	8,200	50,092	8,080		
60,031	12,506	60,095	15,611	60,121	8,281	60,059	8,554		
70,027	12,614	70,085	16,277	70,115	8,378	70,009	9,267		
80,022	12,749	80,053	17,012	80,107	8,504	80,103	10,358		
90,015	12,948	90,030	18,127	90,050	9,400	90,148	11,995		
100,129	19,097	100,129	20,156	100,067	19,706	100,126	14,740		

* Las réplicas resaltadas de color rojo fueron discriminadas, no siendo consideradas para obtener el valor promedio de Cp y T^a para dicha muestra.

** Las réplicas resaltadas de color rojo fueron discriminadas. Por representar el 50% del total de réplicas, no se procedió a determinar el valor promedio de dicha muestra.

Fuente: Fundación Tecnalia Research & Innovation, 2015.

Investigadores como Cabral, Orrego-Alzate, Gabas, & Telis-Romero (2007) y Muramatsu, Sakaguchi, Orikasa, & Tagawa (2010) demostraron que el calor específico aumenta en función al aumento de la temperatura para cada muestra y al mismo tiempo disminuye con el aumento de la concentración de dichas muestras. Esto se puede observar con los valores de Cp en la tabla 21 los cuales tuvieron un patrón ascendente desde 10 °C a 100 °C en la mayoría de los casos, esta característica podría deberse a su composición de sólidos solubles y su conformación heterogénea de componentes nutricionales, este argumento fue demostrado en la investigación realizada por Muniz, Queiroz, Figueirêdo, & Duarte (2006) quienes mencionaron que el mayor valor de calor específico estuvo relacionado a la muestra con mayor fracción de agua.

No obstante, la muestra de *O. mapora* presentó valores de Cp ascendentes y descendentes en las 4 réplicas, siendo los puntos de inflexión 7.278 kJ/kg·°K (T^a= 90.032 °C), 5.834 kJ/kg·°K (T^a= 70.159 °C), 5.958 kJ/kg·°K (T^a= 80.092 °C).

°C) y $6535 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ ($T^a= 60.070 \text{ }^\circ\text{C}$) correspondiendo a las réplicas P1, P2, P3 y P4 respectivamente. Esta característica fue observable durante la prueba de rango múltiple (ver tabla 25) y se optó por no calcular el promedio de dichas réplicas. Este comportamiento podría deberse a un proceso de oxidación de los lípidos totales ($58.24 \pm 0.07 \text{ g/100g b.s.}$ - ver tabla 1) en combinación al elevado contenido de humedad ($88.60 \pm 0.14 \%$ - ver tabla 1) o de alguna otra reacción de algún compuesto, en la tabla 1 se observa la composición bromatológica de la pulpa de *O. mapora* (Nogueira, Carvalho, & Ramos, 2014). También podría deberse a la presencia de trazas de cáscara, 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 C_p 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, & Castro (2013), las muestras de *O. batava* presentan altos niveles de ácidos grasos, de los cuales los más representativos son el ácido oleico ($81.17 \pm 1.0\%$), ácido palmítico ($12.80 \pm 1.0 \%$) y el ácido esteárico ($4.24 \pm 0.5\%$), con un nivel de $81.93 \pm 1.0\%$ de ácidos insaturados y $3.25 \pm 0.5\%$ de ácidos saturados, en tabla 2 se observan los resultados completos además de una comparación con el aceite de oliva. Se podría afirmar que durante la puesta en marcha del experimento, los ácidos grasos presentes en la muestra se mantuvieron estables, por lo cual las curvas térmicas de las distintas réplicas mostraron homogeneidad entre sí, teniendo una evolución térmica ascendente y progresiva en función al aumento de la temperatura dentro del intervalo designado. En la tabla 21, se observa que los valores promedio de C_p varían entre $5.735 - 10.085 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$, en un rango de temperatura de $10.054 - 100.087 \text{ }^\circ\text{C}$. Entre las réplicas, la réplica P1 presentó el menor valor de C_p ($5.363 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ a 10.062°C) en comparación a las otras réplicas en el mismo nivel de temperatura, de igual modo, la réplica P2 presentó el mayor valor de C_p ($12,849 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ a 100.122°T) en relación a los otros valores en el mismo nivel de temperatura. Cabe resaltar que la

muestra P3 presento menor variacion entre sus valores de C_p , teniendo un valor minimo de C_p de 6.088 kJ/kg·°K a 10.045°C y un valor máximo de 6.725 kJ/kg·°K a 100.140 °C, lo que significa que la variacion entre 10 °C a 100 °C fue menor a 1 kJ/kg·°K, esta característica fue diferente para las replicas P2 y P4, en las cuales se observa que el valor C_p maximo a 100 °C fue mas del doble del valor de C_p a 10 °C; la réplica P1 presento una variacion menor al doble de su valor inicial.

En la tabla 3 y tabla 4, Sanabria & Sangronis (2007) determinaron la composición proximal, el perfil de ácidos grasos, el contenido de minerales, taninos, polifenoles, antocianinas, la capacidad antioxidante y el color de la pulpa del fruto de *E. oleracea*, en la cual los investigadores afirman que dicho fruto es una fuente potencial de antocianinas para la industria. De igual modo, Sobottka & Pimentel (1998) por el método de mezclas descrito por Hwang & Hayakawa (1979), determinaron experimentalmente las propiedades termofísicas del jugo de *E. oleracea*, teniendo un valor promedio de C_p igual a 3.69 J/g°C a 40°C, sin embargo, ninguna de las réplicas resulto con algún valor cercano a lo determinado por Sobottka & Pimentel (1998), siendo el valor promedio de las réplicas P1, P2 y P3 igual a 7.371 kJ/kg·°K a 40 °C representando el doble del valor reportado a la misma temperatura.

Buranelo, Miranda, & Godoy (2015) teniendo como base los valores centesimales de los componentes bromatológicos del fruto de *B. gasipaes* y mediante la aplicación de modelos matemáticos, determino un valor de C_p igual a 3.86 kJ/kg·°C a 25°C, no obstante, los valores promedio de C_p determinados en esta investigacion estuvieron entre el rango de 5.228 a 12,686 kJ/kg·°K, una posible explicacion seria el indice de madurez del fruto, así como la procedencia del mismo y los metodos de cultivo, estas son algunas de las variables que podrian ocasionar diferencia en la composicion bromatologica, de igual modo, el modelo matematico empleado podria aportar cierta divergencia en el calculo. Los valores de C_p a 10 °C de las replicas P1, P2, P3 y P4 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

$\text{kJ/kg}\cdot^\circ\text{K}$ y $9.678 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{K}$ correspondientemente, cabe resalta que la replica P4 presenta el menor valor en relacion a las otras replicas.

Dantas (2010) realizo un estudio de las propiedades reológicas de la pulpa de *T. grandiflorum*, teniendo como variables de estudio diferentes concentraciones de solidos solubles (14, 17, 19, 23 y 25) $^\circ\text{Brix}$ y temperatura (10, 20, 25, 30, 40, 50, 60 y 70) $^\circ\text{C}$. En la tabla 1 se muestran los resultados de la investigación, en la cual se puede observar que una muestra a 20 $^\circ\text{C}$ presenta valores de C_p diferentes en función de los sólidos solubles totales como se muestran a continuación: $4.17 \pm 0.14 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{K}$ (14 $^\circ\text{Brix}$), $3.88 \pm 0.09 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{K}$ (17 $^\circ\text{Brix}$), $3.88 \pm 0.03 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{K}$ (19 $^\circ\text{Brix}$), $3.59 \pm 0.17 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{K}$ (23 $^\circ\text{Brix}$) y $3.67 \pm 0.07 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{K}$ (25 $^\circ\text{Brix}$), de igual modo, Araújo, Queiroz, & Figueirêdo (2004) verificaron que los resultados medios experimentales obtenidos para el C_p de las muestras de pulpa de *T. grandiflorum* presentaron variación entre un mínimo de $3.18 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$ de material tamizado y máximo de $3.71 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$ de la muestra de 9 $^\circ\text{Brix}$. Esto sugiere que existe una correspondencia entre los valores de C_p , el contenido de solidos solubles y la temperatura. También Moura, Germer, Jardim, & Sadahira (1998) determinaron entre el rango de temperatura de 10 a 80°C valores de C_p igual a $3.89 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$, este dato es próximo a la muestra con 14 $^\circ\text{Brix}$ y 17 $^\circ\text{Brix}$. Sin embargo, estos valores presentan diferencias significativas entre los valores promedios determinados en esta investigación, los cuales fueron de $7.203 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{K}$ a 10 $^\circ\text{C}$ y $14.915 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{K}$ a 100 $^\circ\text{C}$ (ver tabla 21). Una posible explicación sería el índice de madurez del fruto, así como las condiciones agrícolas y ambientales en la cual el fruto se produjo; 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 matematico para el C_p de la pulpa de *S. mombin* no fue determinado, a pesar que los valores de C_p poseen características ascendentes y progresivas (diferente al caso de *O. mapora*). Durante el analisis de rango multiple (ver tabla 25) se determino que existian diferencias significativas entre las replicas, observandose dos grupos homogeneos constituidos por dos replicas cada uno, esto representa el 50% de los datos en cada grupo. No obstante, se determinaron los valores de C_p en

cada réplica, cabe mencionar que las diferencias podría deberse a la composición bromatológica del fruto, de acuerdo a la investigación de Mattietto, Lopes, & Menezes (2010), la pulpa de *S. mombin* presenta un valor de sólidos solubles igual a 10.09 ± 0.00 °Brix a $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 89.42 ± 0.18 % de humedad (ver resultado completo en la tabla 12), este elevado contenido de humedad podría haber tenido influencias en la puesta en marcha del experimento. A $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ los valores de C_p fueron $11.876\text{ kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{K}$, $13.758\text{ kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{K}$, $7.792\text{ kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{K}$ y $6.760\text{ kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{K}$ correspondientes a las réplicas P1, P2, P3 y P4, A $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ los valores de C_p fueron $19.097\text{ kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{K}$, $20.156\text{ kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{K}$, $19.706\text{ kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{K}$ y $14.740\text{ kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{K}$; destaca el elevado valor de la réplica P2 en comparación al valor de la réplica P4 tanto a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, como se mencionó anteriormente, la composición bromatológica y física del fruto, así como la manipulación de los crisoles y la muestra pudieron haber tenido incidencias significativas en la determinación.

Tabla 22. Datos de conductividad térmica K ($\text{J/m}\cdot\text{s}\cdot^{\circ}\text{K}$) vs T^a ($^{\circ}\text{C}$).

P1		P2		P3		P4		Promedio	
T^a	K	T^a	K	T^a	K	T^a	K	T^a	K
Sinami (<i>O. mapora</i>)									
10,028	12,832	10,139	12,393	10,014	13,193	10,006	14,003		
20,135	12,715	20,066	13,255	20,125	12,965	20,116	13,720		
30,125	13,757	30,055	14,346	30,114	13,219	30,107	13,946		
40,113	14,056	40,043	14,657	40,104	14,305	40,096	14,193		
50,109	13,557	50,027	15,058	50,094	14,550	50,084	14,470		
60,092	13,958	60,006	15,569	60,086	14,736	60,070	14,803		
70,072	14,439	70,159	15,043	70,096	13,865	70,073	15,642		
80,053	14,875	80,169	14,735	80,092	13,925	80,079	14,600		
90,032	15,366	90,033	14,212	90,118	13,321	90,102	14,214		
100,034	15,491	100,041	13,968	100,115	13,448	100,056	16,128		
Ungurahui (<i>O. bataua</i>)*									
10,062	14,002	10,066	13,102	10,045	13,295	10,043	12,639	10,057	13,247
20,156	14,956	20,000	13,840	20,157	13,823	20,119	14,577	20,092	14,458
30,146	14,537	30,155	14,208	30,154	13,906	30,108	14,207	30,137	14,318
40,124	15,065	40,135	14,729	40,161	13,140	40,082	14,829	40,114	14,874
50,104	15,521	50,105	15,490	50,160	13,178	50,051	15,569	50,087	15,527
60,088	15,890	60,060	16,645	60,158	13,215	60,010	16,563	60,053	16,366
70,069	16,328	70,006	17,193	70,156	13,275	70,103	19,319	70,060	17,614
80,048	16,864	80,075	20,654	80,152	13,363	80,026	20,297	80,049	19,271
90,167	18,102	90,120	22,453	90,147	13,479	90,063	24,814	90,117	21,790
100,068	20,774	100,122	26,534	100,140	13,660	100,018	28,755	100,070	25,354
Huasai (<i>E. oleracea</i>)									
10,024	11,634	10,044	11,379	10,050	12,915	10,031	11,616	10,040	11,976
20,135	12,792	20,000	10,987	20,006	12,638	20,147	12,646	20,047	12,139
30,124	12,542	30,157	11,311	30,160	13,019	30,146	12,152	30,147	12,291
40,092	13,306	40,137	11,779	40,137	13,570	40,131	12,515	40,122	12,885
50,046	14,408	50,110	13,214	50,104	14,354	50,109	13,042	50,087	13,992

60,151	15,990	60,071	13,363	60,057	15,473	60,077	13,802	60,093	14,942
70,062	18,126	70,017	15,575	70,163	17,029	70,032	14,878	70,081	16,910
80,105	22,266	80,113	16,430	80,076	19,125	80,139	16,411	80,098	19,274
90,130	24,457	90,017	18,760	90,122	23,267	90,044	18,733	90,089	22,161
100,141	28,168	100,058	21,861	100,133	25,854	100,029	24,667	100,110	25,294
<i>Pijuayo (B. gasipaes)</i>									
10,019	13,713	10,073	14,185	10,147	13,758	10,070	12,920	10,077	13,644
20,111	14,731	20,157	15,368	20,083	13,815	20,015	13,433	20,092	14,337
30,094	14,514	30,128	16,111	30,058	14,407	30,011	12,980	30,073	14,503
40,055	15,434	40,084	17,219	40,024	16,188	40,151	14,300	40,079	15,785
50,005	16,622	50,026	18,716	50,151	16,256	50,124	14,981	50,077	16,644
60,105	19,188	60,110	19,680	60,098	17,521	60,096	15,017	60,102	17,852
70,040	19,905	70,138	23,268	70,158	20,235	70,041	16,267	70,094	19,919
80,104	23,611	80,155	26,767	80,084	23,306	80,146	18,791	80,122	23,119
90,121	26,004	90,130	33,435	90,130	25,013	90,032	21,758	90,103	26,552
100,062	31,703	100,026	38,330	100,065	32,729	100,000	25,609	100,038	32,093
<i>Copoazú (T. grandiflorum)</i>									
10,130	12,484	10,059	12,515	10,128	11,946	10,092	13,067	10,102	12,503
20,064	13,260	20,007	12,435	20,078	11,886	20,032	13,087	20,045	12,667
30,056	12,891	30,155	12,942	30,058	12,347	30,013	13,549	30,071	12,932
40,038	13,331	40,130	13,535	40,027	13,082	40,158	14,137	40,088	13,521
50,015	13,869	50,103	14,172	50,158	14,021	50,131	14,769	50,102	14,208
60,158	15,139	60,073	14,894	60,116	15,002	60,098	15,553	60,111	15,147
70,148	15,406	70,036	15,777	70,068	16,137	70,060	16,455	70,078	15,944
80,109	16,454	80,169	16,623	80,020	17,285	80,011	17,620	80,077	16,995
90,151	19,045	90,117	17,894	90,118	19,949	90,121	19,080	90,127	18,992
100,127	28,149	100,085	24,431	100,149	24,683	100,034	27,576	100,099	26,209
<i>Ubos (S. mombin)</i>									
10,084	10,225	10,011	10,284	10,012	12,348	10,034	11,866	10,035	11,181
20,048	10,351	20,145	9,811	20,141	11,815	20,151	12,373	20,121	11,088
30,043	10,453	30,136	10,639	30,136	11,925	30,144	12,058	30,115	11,269
40,038	10,567	40,125	10,926	40,131	12,050	40,120	12,623	40,103	11,542
50,035	10,653	50,112	11,265	50,126	12,156	50,092	13,274	50,091	11,837
60,031	11,407	60,095	11,669	60,121	12,283	60,059	14,070	60,077	12,357
70,027	11,508	70,085	11,454	70,115	13,204	70,009	15,273	70,059	12,860
80,022	11,629	80,053	12,733	80,107	13,392	80,103	17,117	80,071	13,718
90,015	11,786	90,030	12,774	90,050	14,860	90,148	21,198	90,061	15,155
100,129	17,648	100,129	15,200	100,067	29,211	100,126	24,733	100,113	21,698

* La réplica resaltada de color rojo fue discriminada, no siendo considerada para obtener el promedio del valor de dicha muestra.

Fuente: Fundación Tecnalía Research & Innovation, 2015.

En el caso de la K, la muestra de O. mapora mostro puntos de inflexión parecidos a los visto en los valores de Cp, estos puntos fueron: 14.056 J/m·s·°K (T^a = 40.113 °C), 15.569 J/m·s·°K (T^a = 60.006 °C), 14.736 J/m·s·°K (T^a = 60.086 °C) y 15.642 J/m·s·°K (T^a = 70.073 °C) correspondientes a las replicas P1, P2, P3 y P4 respectivamente. En tanto, durante el desarrollo de la prueba de rango multiple (tabla 25), se observo que todas los valores de K presentaban valores homogeneos entre las replicas, no existiendo diferencias estadísticamente significativas, sin embargo por lo expuesto en el caso del Cp, y lo observado en el ítem 4.1.1 se optó por no proceder con 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* (ver tabla 22), por lo expuesto en el ítem 4.3, se tomó la decisión de descartar los datos de la réplica P3 y se procedió a promediar el valor de K con los datos de las réplicas P1, P2 y P4. En todos los casos se observó valores de K ascendentes, a 10 °C los valores experimentales de K fueron 14.002 J/m·s·°K (P1), 13.102 J/m·s·°K (P2) y J/m·s·°K (P4), y a 100 °C fueron 20.774 J/m·s·°K (P1), 26.534 J/m·s·°K (P2) y 28.755 J/m·s·°K (P4), de ellos la réplica P4 resalta con valores de K mínimos y máximos en relación a las otras réplicas.

Sobottka & Pimentel (1998) por el método de mezclas descrita por Hwang & Hayakawa (1979) pudo determinar el valor de K para el jugo de *E. oleracea*, el cual fue igual a 0.575 W/m·°C, este valor teórico es significativamente diferente del valor experimental obtenido, resultando valores promedio de K de 11.976 J/m·s·°K a 25.294 J/m·s·°K entre el rango de temperatura de 10 °C a 100 °C, algunos factores por los cuales surgió esta variación podrían 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, & 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 W/m·°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 13.644 J/m·s·°K a 32.093 J/m·s·°K respectivamente. Esta divergencia en los resultados experimentales en relación a lo teórico podría deberse a un error en el procedimiento u operación del equipo, así como la falta de ajuste o calibración 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 (ver tabla 11), el valor de K fue una de las propiedades termofísicas determinadas,

resultando a 20°C los siguientes valores $0.59 \pm 0.02 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ (14 °Brix), $0.52 \pm 0.02 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ (17 °Brix), $0.53 \pm 0.01 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ (19 °Brix), $0.51 \pm 0.02 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ (23 °Brix) y $0.47 \pm 0.01 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ (14 °Brix); Araújo, Queiroz, & Figueirêdo (2004) también realizó 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 en contraste a la pulpa de 9 °Brix con valor de K igual a 0.50 W/m°C. Ambos autores 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 en relación al aumento de la temperatura, sin embargo, presentaron diferencias significativas entre los valores teóricos y los valores experimentales. El valor promedio de K entre el rango de temperatura de 10°C a 100°C fueron 12.503 J/m·s·°K a 26.209 J/m·s·°K. Esta diferencia podría deberse a errores de medición o de calibración del equipo, características físico-químicas del fruto y presencia de cuerpos extraños.

Lima, Queiroz, & 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, 0.500 y 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 los más cercanos a esta investigación, sin embargo, al igual que con las otras muestras, los valores experimentales presentan diferencias estadísticamente significativas, el valor promedio de K en el rango de temperatura de 10 °C a 100 °C fueron 11.181 J/m·s·°K y 21.698 J/m·s·°K respectivamente. Pinheiro (2004) menciona que el valor de K en los alimentos está directamente relacionada 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 de K.

4.3 Análisis de varianza simple por réplica.

Se ejecutó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor para C_p (kJ/kg·°K) y para K (J/(m·s·°K)) respectivamente, los cuales compararon los valores medios de C_p y K para los 4 diferentes niveles de replicas. La prueba-F en la tabla 23 y tabla 24 determinarán si existían diferencias significativas entre las medias. Las Pruebas de Rangos Múltiples identificaron cuáles medias eran significativamente diferentes de otras y con la Prueba de Kruskal-Wallis, el cual comparó las medianas en lugar de las medias, se pudo comprobar la presencia de valores atípicos. El analisis estadísticos estuvo estructurado de la siguiente manera:

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

4.3.1 ANOVA para C_p (kJ/kg·°k) y para K (J/(m·s·°k)) por réplicas.

La tabla 23 y tabla 24 muestran la descomposición de la varianza de C_p (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.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	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.

Tabla 23. ANOVA para Cp (kJ/kg·°K) por replica.

En el caso del Cp (ver tabla 23) 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 significativa entre las medias de Cp (kJ/kg·°K) y lo niveles de Replicas y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

En tanto, para los casos del *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 diferencias estadísticamente significativas entre la media de Cp (kJ/kg·°K) y los niveles de réplicas 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 media de Cp (kJ/kg·°K) y los niveles de Replicas y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 24. 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 24 nos mostró un escenario distinto 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 una diferencias estadísticamente significativas entre las medias de K ($J/(m \cdot s \cdot ^\circ K)$) y los niveles de las Réplicas 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 ($J/(m \cdot s \cdot ^\circ K)$) 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 réplicas de cada muestra. El método empleado para discriminar entre las medias fue: procedimiento de Diferencia Honestamente Significativa (HDS) de Tukey 95.0%. Con dicho método hay un riesgo del 5.0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

Tabla 25. Resultados del análisis de rango múltiple utilizando Tukey HSD 95.0%

Replicas	Calor específico Cp (kJ/kg·°K)		Conductividad térmica K (J/(m·s·°K))	
	Media	Grupos Homogéneos	Media	Grupos Homogéneos
<i>Sinami (O. mapora)</i>				
P1	6.55678	X	14.1045	X
P2	5.42055	X	14.3237	X
P3	5.72452	X	13.7527	X
P4	6.30961	X	14.5721	X
<i>Ungurahui (O. bataua)</i>				
P1	6.58716	X	16.204	X X
P2	8.22957	X	17.4847	X X
P3	6.49221	X	13.4335	X
P4	7.78545	X	18.1569	X
<i>Huasai (E. oleracea)</i>				
P1	9.90843	X	17.3689	X
P2	8.23625	X X	14.4659	X
P3	9.12093	X X	16.7244	X
P4	6.28272	X	15.0462	X
<i>Pijuayo (B. gasipaes)</i>				
P1	8.96912	X	19.5426	X
P2	8.26643	X	22.3079	X
P3	7.44715	X	19.323	X
P4	6.173	X	16.6055	X

Copoazú (<i>T. grandiflorum</i>)				
P1	10.3669	X	16.0027	X
P2	9.26505	X	15.5217	X
P3	9.23394	X	15.6336	X
P4	9.35887	X	16.4894	X
Ubos (<i>S. mombin</i>)				
P1	13.074	X	11.6227	X
P2	15.8854	X	11.6754	X
P3	9.43932	X	14.3245	X
P4	9.18811	X	15.4585	X

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 25, se han identificado grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existe diferencia estadísticamente significativas 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·°K), las muestras de *O. mapora* y de *S. mombin* presentaron dos grupos homogéneos compuestos por dos (02) replicas cada uno (P1-P4, P2-P3; P1-P2, P3-P4 respectivamente), el total de réplicas comparadas por cada muestra fue de cuatro (04). 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 réplicas de estas dos muestras. Con relación a la conductividad térmica K ($J/(m \cdot s \cdot ^\circ K)$), 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 réplicas 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 ítem 4.1.1 y 4.1.6.

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 réplica (01) libre, las que fueron: primer grupo (P1-P2-P3, P4) y segundo grupo (P2-P3-P4, P1). 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 réplica libre sea la más distante en comparación de las demás replicas, en este caso la réplica libre P4 (6.28272) del segundo grupo tiene mayor diferencia con relación a las demás replicas en comparación de la réplica libre P1 (9.90843) de primer grupo, esta decisión se sustenta también en la evaluación del termograma efectuado en el ítem 4.1.3. de esta forma, se eliminó el primer grupo y se procedió al modelamiento con el segundo grupo, en este cálculo, se eliminó la réplica libre P4 y se utilizó las tres (03) replicas P1-P2-P3 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 réplica libre en cada uno, primer grupo (P1-P2-P3, P4) y segundo grupo (P1-P2-P4, P3), se procedió a discriminar de igual manera que en el caso anterior, se optó por el segundo grupo (P1-P2-P4, P3), de este se

eliminó la réplica libre P3 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.

4.3.3 Prueba de Kruskal-Wallis.

La prueba de Kruskal-Wallis evaluó la hipótesis de que las medianas tanto de Cp (kJ/kg.°K) como de K (J/(m.s.°K)) dentro de cada uno de los 4 niveles de Replicas son iguales. Primero se combinó los datos de todos los niveles y se ordenó de menor a mayor. Luego se calcula el rango (rank) promedio para los datos de cada nivel.

En el caso del Cp (ver tabla 26), los valores-P de las muestras de *O. mapora*, *E. oleracea*, *B. gasipaes* y *S. mombin* fueron 0.00000583354, 0.00491771, 0.0363776 y 0.0000338701 respectivamente, estos valores resultaron ser menor que 0.05, existiendo diferencias estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza. Por el contrario, las muestras de *O. bataua* y *T. grandiflorum* presentaron valores-P iguales a 0.0936485 y 0.718502 correspondientemente, siendo valores mayores que 0.05, demostrando que no existen diferencias estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

Al analizar los datos para el caso de K, las *O. mapora*, *E. oleracea*, *B. gasipaes* y *T. grandiflorum* tuvieron los siguientes valores-P 0.141762, 0.413084, 0.226825 y 0.83671 respectivamente, siendo estos valores mayores que 0.05, observándose que no existen una diferencias estadísticamente significativas entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

Opuestamente a lo visto en el párrafo anterior, las muestras de *O batahua* y *S. mombin* presentaron valores-P (0.00100018 y 0.00070609) menores que 0.05, determinando de este modo la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 26. Prueba de Kruskal-Wallis

Replicas	Calor específico Cp (kJ/kg.°K)		Conductividad térmica K (J/(m·s·°K))	
	Tamaño Muestra	Rango Promedio	Tamaño Muestra	Rango Promedio
<i>Sinami (O. mapora)</i>				
P1	10	30.7	10	19.3
P2	10	7.7	10	23.6
P3	10	14.8	10	14.0
P4	10	28.8	10	25.1
	Estadístico = 27.019		Estadístico = 5.44829	
	Valor-P = 0.00000583354		Valor-P = 0.141762	
<i>Ungurahui (O. bataua)</i>				
P1	10	16.0	10	24.9
P2	10	26.8	10	24.3
P3	10	16.0	10	7.6
P4	10	23.2	10	25.2
	Estadístico = 6.40098		Estadístico = 16.2659	
	Valor-P = 0.0936485		Valor-P = 0.00100018	
<i>Huasai (E. oleracea)</i>				
P1	10	26.6	10	23.3
P2	10	20.5	10	16.5
P3	10	25.2	10	23.8
P4	10	9.7	10	18.4
	Estadístico = 12.8737		Estadístico = 2.8639	
	Valor-P = 0.00491771		Valor-P = 0.413084	
<i>Pijuayo (B. gasipaes)</i>				
P1	10	27.3	10	21.6
P2	10	22.2	10	25.2
P3	10	20.2	10	20.7
P4	10	12.3	10	14.5
	Estadístico = 8.52146		Estadístico = 4.34195	
	Valor-P = 0.0363776		Valor-P = 0.226825	
<i>Copoazú (T. grandiflorum)</i>				
P1	10	24.2	10	20.2
P2	10	19.5	10	19.8
P3	10	19.0	10	18.7
P4	10	19.3	10	23.3
	Estadístico = 1.34488		Estadístico = 0.853171	
	Valor-P = 0.718502		Valor-P = 0.83671	
<i>Ubos (S. mombin)</i>				
P1	10	24.4	10	11.6
P2	10	33.3	10	14.6
P3	10	12.8	10	25.8
P4	10	11.5	10	30.0
	Estadístico = 23.3663		Estadístico = 17.002	
	Valor-P = 0.0000338701		Valor-P = 0.00070609	

Fuente: Elaboración propia.

4.4 Modelos matemáticos estimados.

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 27 muestra las diferencias significativas de cada potencia de T^a (°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 C_p (kJ/kg·°K) y T^a (°C).

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 determino 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^a (°C).

Cabe mencionar que mediante el uso del software Statgraphics Centurion XVI.I se calcularon modelos matemáticos de mayor orden polinomial, resultando en cada caso valor-P mayores a 0.05, no siendo apropiados para determinar con exactitud los valores de C_p de cada muestra.

Tabla 27. ANOVA para los parámetros según su orden de ajuste.

CALOR ESPECIFICO - C_p (kJ/kg·°k)				
Parámetro	Estimado	Error Estándar	Estadístico T	Valor-P
Sinami (<i>O. mapora</i>)				
ND				
Ungurahui (<i>O. bataua</i>)				
CONSTANTE	4,7538	0,0982232	48,3979	0,0000
T^a (°C)	0,142063	0,0148314	9,57856	0,0007
T^a (°C) ²	-0,00535663	0,000740293	-7,23583	0,0019
T^a (°C) ³	0,000105447	0,0000161011	6,54905	0,0028
T^a (°C) ⁴	-9,70324E-7	1,57926E-7	-6,14417	0,0036

T ^a (°C) ⁵	3,62625E-9	5,71726E-10	6,34263	0,0032
Huasai (<i>E. oleracea</i>)				
CONSTANTE	6.25338	0.0274703	227.641	0.0000
T ^a (°C)	0.0362965	0.00309108	11.7423	0.0001
T ^a (°C) ²	-0.000725196	0.000106868	-6.78588	0.0011
T ^a (°C) ³	0.0000137099	0.00000142571	9.61623	0.0002
T ^a (°C) ⁴	-2.07236E-8	6.43531E-9	-3.22029	0.0235
Pijuayo (<i>B. gasipaes</i>)				
CONSTANTE	4.02026	0.308782	13.0197	0.0002
T ^a (°C)	0.184538	0.0465833	3.96147	0.0167
T ^a (°C) ²	-0.00811983	0.00232468	-3.49288	0.0251
T ^a (°C) ³	0.000182625	0.0000505626	3.61186	0.0225
T ^a (°C) ⁴	-0.00000181008	4.96005E-7	-3.64932	0.0218
T ^a (°C) ⁵	6.9778E-9	1.79601E-9	3.88517	0.0178
Copoazú (<i>T. grandiflorum</i>)				
CONSTANTE	5.3321	0.415981	12.8182	0.0002
T ^a (°C)	0.301167	0.062636	4.8082	0.0086
T ^a (°C) ²	-0.0148917	0.00312165	-4.77046	0.0088
T ^a (°C) ³	0.000367516	0.0000678308	5.41813	0.0056
T ^a (°C) ⁴	-0.00000411333	6.64881E-7	-6.18657	0.0035
T ^a (°C) ⁵	1.72133E-8	2.40587E-9	7.15472	0.0020
Ubos (<i>S. mombin</i>)				
ND				

Fuente: Elaboración propia.

4.4.1.2 ANOVA para los modelos ajustados.

Cada modelos matemáticos ajustado fue evaluado por el ANOVA, determinando valores-P menores que 0,05 en cada caso (ver tabla 28), evidenciando la existencia de una relación estadísticamente significativa entre Cp (kJ/kg·°K) y T^a (°C) con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 28. ANOVA para los modelos matemáticos ajustados.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Sinami (<i>O. mapora</i>)					
ND					
Ungurahui (<i>O. bataua</i>)					
Modelo	16,127	5	3,22539	12604,87	0,0000
Residual	0,00102354	4	0,000255885		
Total (Corr.)	16,128	9			
Huasai (<i>E. oleracea</i>)					
Modelo	60.7422	4	15.1856	221463.29	0.0000
Residual	0.000342846	5	0.0000685692		
Total (Corr.)	60.7426	9			
Pijuayo (<i>B. gasipaes</i>)					
Modelo	51.5485	5	10.3097	4110.90	0.0000
Residual	0.0100316	4	0.00250789		
Total (Corr.)	51.5585	9			
Copoazú (<i>T. grandiflorum</i>)					
Modelo	46.5025	5	9.3005	2056.01	0.0000
Residual	0.0180943	4	0.00452358		
Total (Corr.)	46.5206	9			
Ubos (<i>S. mombin</i>)					
ND					
ND: No determinado					

<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: No determinado

Fuente: Elaboración propia.

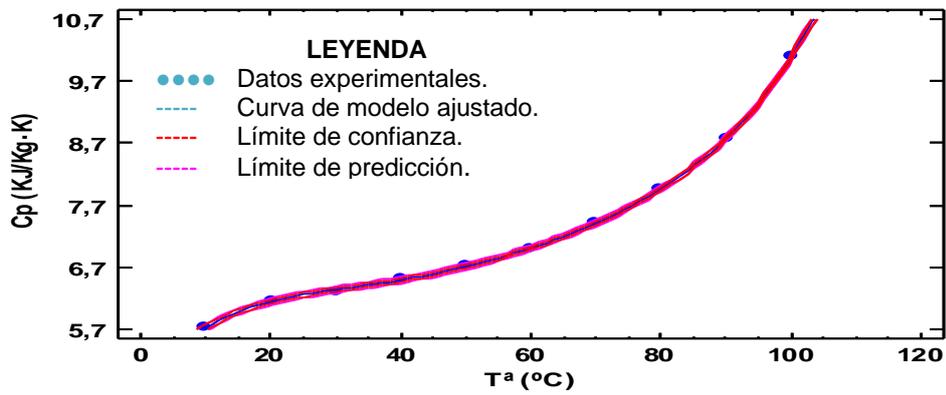


Figura 18. Modelo ajustado para la muestra *O. bataua*.

Fuente: Elaboración propia.

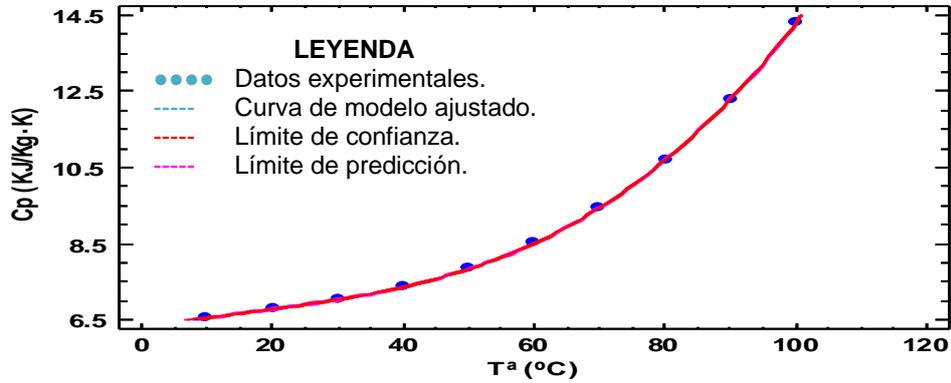


Figura 21. Modelo ajustado para la muestra *E. oleracea*.
Fuente: Elaboración propia.

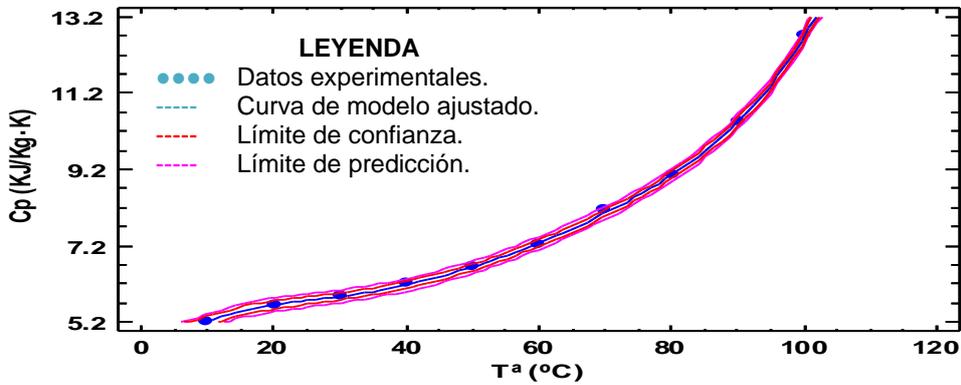


Figura 20. Modelo ajustado para la muestra *B. gasipaes*.
Fuente: Elaboración propia.

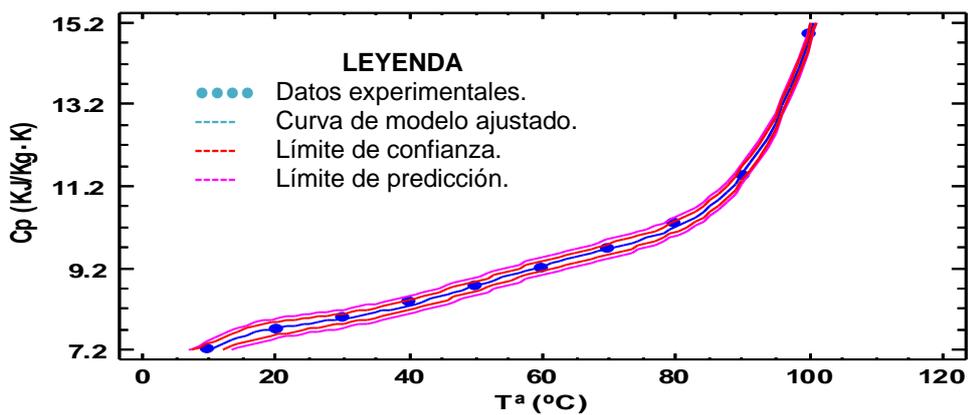


Figura 19. Modelo ajustado para la muestra *T. grandiflorum*.
Fuente: Elaboración propia.

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 31 muestra las diferencias significativas de cada potencia de T^a ($^{\circ}\text{C}$) 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 ($^{\circ}\text{C}$).

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^a ($^{\circ}\text{C}$). Cabe mencionar que mediante el uso del software Statgraphics Centurion XVI.I se calcularon modelos matemáticos de mayor orden polinomial, resultando en cada caso valor-P mayores a 0.05, no siendo apropiados para determinar con exactitud los valores de K de cada muestra.

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA - K ($\text{J}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot^{\circ}\text{K})$)					
Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Sinami (<i>O. mapora</i>)					
ND					
Ungurahui (<i>O. bataua</i>)					
T^a ($^{\circ}\text{C}$)	114.187	1	114.187	2662.22	0.0000
T^a ($^{\circ}\text{C}$) ²	15.6659	1	15.6659	365.24	0.0000
T^a ($^{\circ}\text{C}$) ³	2.19618	1	2.19618	51.20	0.0004
Modelo	132.049	3			
Huasai (<i>E. oleracea</i>)					
T^a ($^{\circ}\text{C}$)	171.557	1	171.557	4039.46	0.0000
T^a ($^{\circ}\text{C}$) ²	23.4108	1	23.4108	551.23	0.0000
Modelo	194.968	2			
Pijuayo (<i>B. gasipaes</i>)					
T^a ($^{\circ}\text{C}$)	287.799	1	287.799	4631.94	0.0000
T^a ($^{\circ}\text{C}$) ²	40.9463	1	40.9463	659.00	0.0000
T^a ($^{\circ}\text{C}$) ³	3.02768	1	3.02768	48.73	0.0004
Modelo	331.773	3			
Copoazú (<i>T. grandiflorum</i>)					
T^a ($^{\circ}\text{C}$)	116.593	1	116.593	14609.46	0.0000
T^a ($^{\circ}\text{C}$) ²	27.1275	1	27.1275	3399.16	0.0000
T^a ($^{\circ}\text{C}$) ³	7.77634	1	7.77634	974.40	0.0001

T ^a (°C) ⁴	4.10898	1	4.10898	514.87	0.0002
T ^a (°C) ⁵	1.17236	1	1.17236	146.90	0.0012
T ^a (°C) ⁶	0.131235	1	0.131235	16.44	0.0270
Modelo	156.909	6			

Ubos (*S. mombin*)

ND

ND: No determinado

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31. ANOVA para las variables según su orden de ajuste.

4.4.2.2 ANOVA para los modelos ajustados.

Cada modelos matemáticos ajustado fue evaluado por el ANOVA, determinando valores-P menores que 0,05 en cada caso (ver tabla 32), evidenciando la existencia de una relación estadísticamente significativa entre K (J/(m·s·°K)) y T^a (°C) con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 32. Modelos matemáticos desarrollados.

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

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

Comment [C65]: Debe presentarse en resultados y ser discutido

apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes.

Tabla 33. Modelos matemáticos desarrollados.

Modelo 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 - 1.74329E ⁻⁷ *T ⁵ + 6.44503E ⁻¹⁰ *T ⁶	99.9847 %	99.9542 %
<i>Spondias mombin</i> ND	0.00 %	0.00 %

ND: No determinado

Fuente: Elaboración propia.

Comment [C66]: Debe presentarse en resultados y ser discutido

Comment [C67]: Este cuadro debe ir en resultados y debe ser discutido en detalle

4.4.2.4 Valores estimados por medio del modelo ajustado.

En la tabla 34 se presenta los valores estimados de K (J/(m·s·°K)) usando el modelo ajustado para cada muestra. De igual modo, en las figuras 22, 23, 24 y 25 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 34. 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>	13.37	14.07	14.55	14.97	15.50	16.29	17.50	19.30	21.84	25.28
<i>Euterpe oleracea</i>	11.97	12.22	12.15	12.75	13.77	15.20	17.06	19.34	22.04	25.16
<i>Bactris gasipaes</i>	13.58	14.27	14.86	15.54	16.49	17.90	19.97	22.87	26.79	31.94
<i>Theobroma grandiflorum</i>	12.51	12.63	12.99	13.46	14.19	15.12	16.01	16.89	18.98	26.08
<i>Spondias mombin</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Comment [C68]: Este cuadro debe ir en resultados y debe ser discutido en detalle

ND: No determinado

Fuente: Elaboración propia.

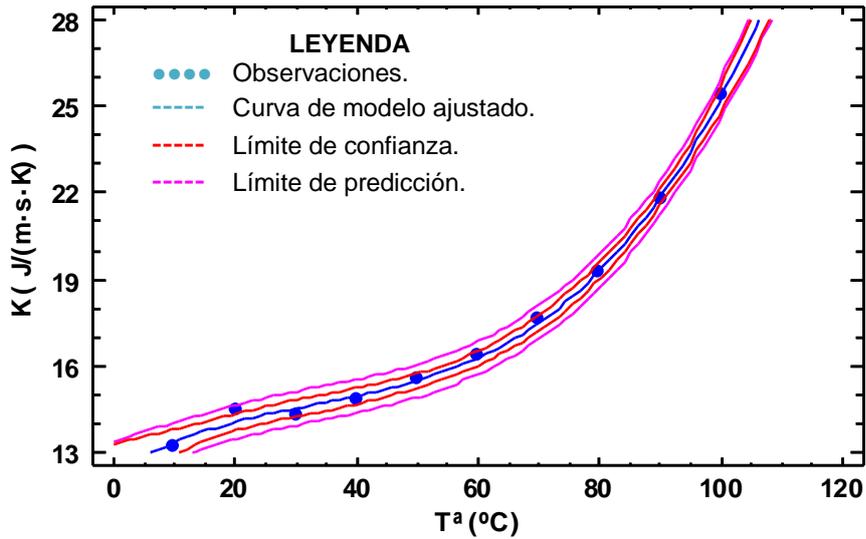


Figura 22. Modelo ajustado para la muestra *O. batava*.

Fuente: Elaboración propia.

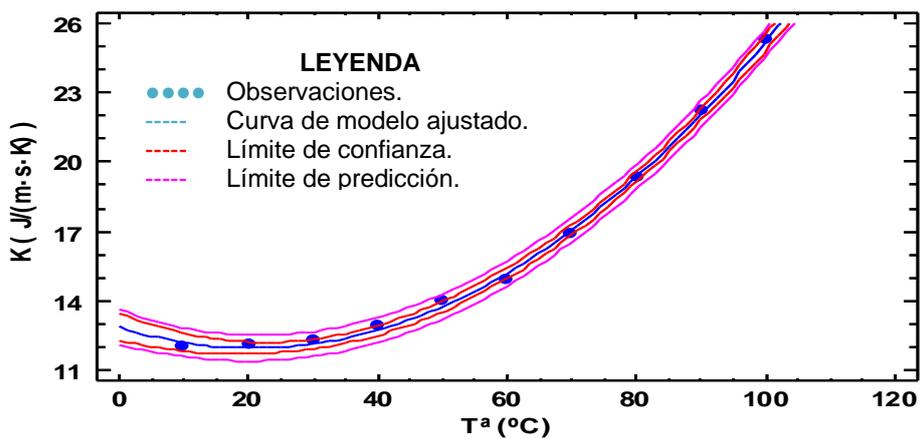


Figura 23. Modelo ajustado para la muestra *E. oleracea*.

Fuente: Elaboración propia.

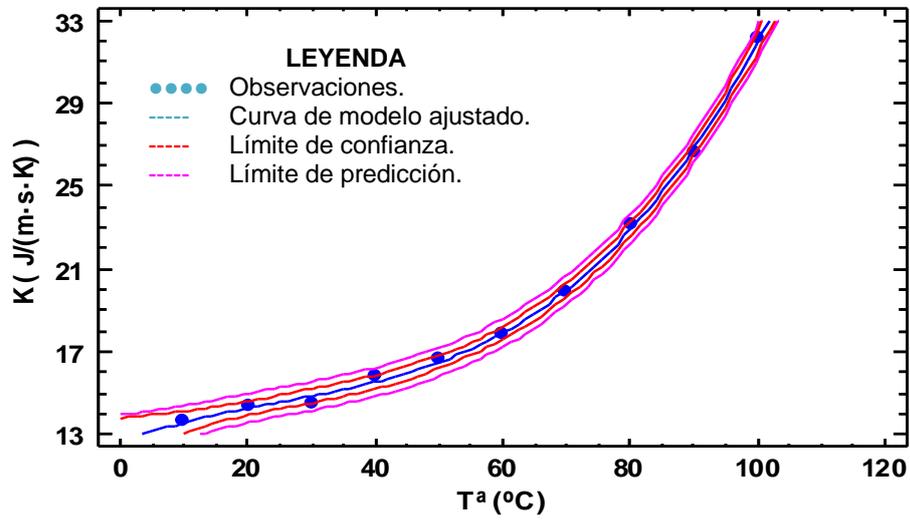


Figura 25. Modelo ajustado para la muestra *B. gasipaes*.
Fuente: Elaboración propia.

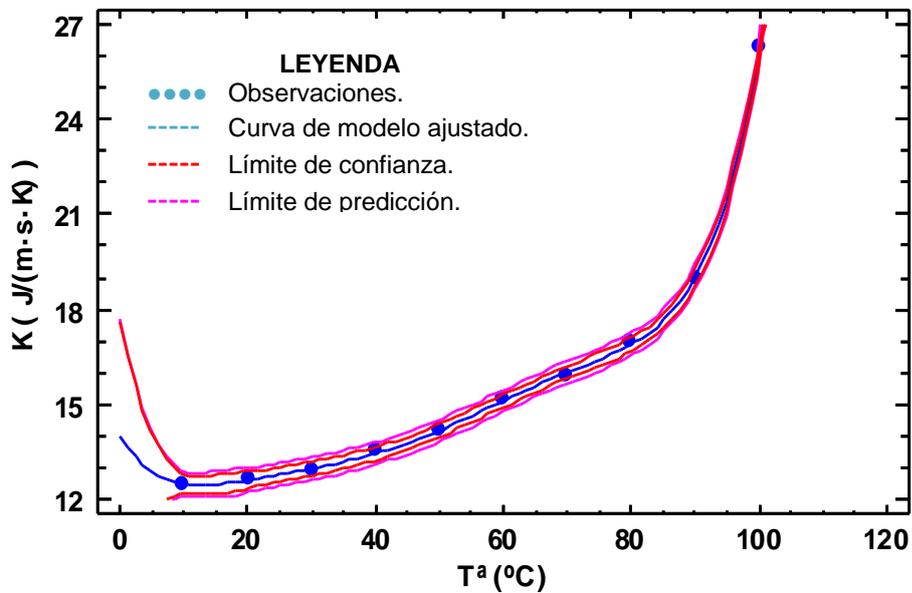


Figura 24. Modelo ajustado para la muestra *T. grandiflorum*.
Fuente: Elaboración propia.

V 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 99.9837%, en tanto que el r^2 ajustado (promedio) fue de 99.96335%. En la determinación de la conductividad térmica K (J/(m·s·°K)) se observa que el r^2 (promedio) es 99.8814% y el r^2 ajustado (promedio) es 99.8245%.

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.

Comment [C69]: En base a hipótesis experimental (conclusión estadística). Conclusión en base a objetivos.

Que pasó con los frutos *O. mapora* y *S. mombin*.???

VI Recomendaciones

- Los valores del calor específico y la conductividad térmicas determinados experimentalmente y por medio de los modelos matemáticos estuvieron solo en función de la temperatura; sin embargo, se recomienda en futuras investigaciones considerar la composición bromatológica, procedencia, factores ambientales y agrícolas.
- 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.
- 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.

VII BIBLIOGRAFÍA

- Akintude, M. A. (2008). Modeling of thermal properties of food components. *The Pacific Journal of Science and Technology*, Vol. 9(2), Pag. 629-639.
- 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. doi:doi:10.1612/inf.tecnol.4367it.09
- 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.
- Aviara, N., & Haque, M. (2001). Moisture dependence of thermal properties of sheanut kernel. *Journal of food engineering*, 47, 109 - 113.
- Azoubel, P., Cipriani, D., El-aouar, A., & Murr, F. (2005). Effect of concentration on the physical properties of cashew juice. *Journal of food engineering*, 66, 423 - 427.
- Baumer, J., Mariani, V., & Mendes, L. (2006). Investigação Experimental da Condutividade Térmica da Banana. *XXI Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia*.
- 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.
- Carranza de La Torre, R. (2008). *Congelacion de Alimentos*. Escuela de Postgrado, Universidad Nacional Jorge Basadre de Grohmann, Tacna, Perú.
- 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.
- Cifuentes, L., Moreno, F., & Arango, D. (2010). Fenología reproductiva y productividad de *Oenocarpus bataua* (Mart.). *Biota Neotrop.*, 10(4), 101 - 110. Recuperado el 15 de Diciembre de 2015, de <http://www.biotaneotropica.org.br/v10n4/pt/fullpaper?bn01910042010+es>
- Córdova, M., & Terán, W. (2014). *Aprovechamiento del mesocarpio del chontaduro (Bactris gasipaes H.B.K.) para elaboración de harina, bebida y yogurt*. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Coronado, F., Mendieta T., O., & Kleeberg H., F. (1994). Estudio de las propiedades termofísicas de congelación del músculo de camarón gigante (*Macrobrachium rosenbergii*): Contenido de hielo y calor específico aparente. *Folia Amazónica*, Vol. 6, Pag. 1-2.
- Criollo, J., Criollo, D., & Sandoval, A. (2010). Fermentación de la almendra de copoazú (*Theobroma grandiflorum* [Willd. ex Spreng.] Schum.): evaluación y optimización del proceso. *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología*, 11(2), 107 - 115.
- Dantas, A. (2010). *Propriedades termofísicas e comportamento reológico da polpa de cupuacu (Theobroma grandiflorum) em diferentes concentracoes e temperaturas*. Bahia: Universidad de Estadual do Sudoeste da Bahia.
- Ferreira, G. (2008). *Estudo das propriedades reológicas do sistema polpa de cupuacu - biopolímeros*. Rio de Janeiro, Brasil: Universidad Federal do Rio de Janeiro.

- Ferreira, R. C., da Costa Ilhéu Fontan, R., Sant' Anna de Souza, T., Martins Veloso, C., Teixeira Reis, M. F., & de Souza Castro, S. (2009). Thermophysical properties of cashew juice at different concentrations and temperatures. *Campina Grande*, Vol. 11(1), Pag. 35-42.
- 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*.
- Galeano, P., & Paladines, M. (2012). Actividad antioxidante de extractos metanólicos de granos de copoazú (*theobroma grandiflorum*). *Vitae*, 19(1), 436 - 438.
- Giraldo-Gómez, G. I., Gabas, A. L., & et, a. (2010). Propiedades termofísicas del jugo concentrado de lulo a temperatura por encima del punto de congelación. *Ciência e tecnologia de alimentos*, Vol. 30(1), Pag. 90-95.
- 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. (2011). *Manual de producción de plantones de Spondias mombin L. "Ubos"*. Iquitos: IIAP.
- González, A., & Torres, G. (2011). *Manual de producción de plantones de unguurahui*. 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.
- HANDBOOK OF CHEMISTRY AND PHYSICS* (Vol. 77). (1996). Boca Raton, Florida, Estado Unidos: CRC Press, INC.
- Hernández, M., & Barrera, J. (2004). *Bases técnicas para el aprovechamiento agroindustrial de especies nativas de la amazonia*. Bogotá, Colombia: SINCHI.
- Kopelman, I. (1966). *Transient heat transfer and thermal properties in food systems*. East Lansing, Michigan, Estados Unidos: Michigan State University.

- Lima, J., Queiroz, A., & Figueirêdo, R. (2003). Propriedades termofísicas da polpa de umbu. *Revista braseleira 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
- Mejía, K. (1992). Las palmeras en los mercados de Iquitos. *Bull. Inst. fr. études andines*, 21(2), 755 - 769.
- Mendieta T., J. O., Coronado, F., & Kleeberg H., F. (1993). Estudio de las propiedades termo físicas de congelación de musculos de camaron gigante (*Macrobrachium rosenbergii*): Punto inicial de congelación. *Folia Amazonica*, Vol. 5, Pag. 1-2.
- Mohsenin, N. (1980). Thermal properties of food and agricultural materials. *Gordon and Breach*, 428.
- Morales, E. (2009). *Propiedades termofísicas de alimentos*. ICYTAL - Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Moranga Inostroza, J. A. (2008). *Determinación del calor específico de murta (*Ugni molinae* Turcz) y arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) en un rango de temperatura entre 20°C y 80°C por el método de la calorimetría diferencial de barrido*. Tesis de grado, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

- Moura, S., Franca, V., & Leal, M. (2003). Propriedades termoficas de solucoes 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.
- Muñoz Vera, J. C. (2002). *Determinación de la difusividad térmica en pasta de Murta (Ugni molinae Turcz), en función de la temperatura*. Tesis de grado, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- 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.
- Oliveira, S., Camargo, D., Machado, P., & Borges, S. (2001). Condutividade térmica do suco de laranja. *Revista brasileira de productos agroindustriais*, 3(1), 101 - 104.
- 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.
- Padilha, N. (2012). *Estudos polínicos, citogenética e quantidade de DNA nuclear em espécies de Oenocarpus Mart. (Aracaceae)*. Lavras, Brasil: UFLA. Recuperado el 21 de Febrero de 2016, de http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/1005/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Estudos%20pol%C3%ADnicos,%20citogen%C3%A9tica%20e%20qu

- antidade%20de%20DNA%20nuclear%20em%20esp%C3%A9cies%20de%20Oenocarpus%20Mart.%20(Arecaceae).pdf
- Pasquel, A., & del Castillo, A. (2002). Extracción del aceite de la cáscara de *Bactris gasipaes* hbk usando dióxido de carbono presurizado. *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*, 2(1), 1 - 14.
- Pereira, E., Queiroz, A., & Figueirêdo, R. (2003). Propiedades termofísicas de pulpa de açai (*Euterpe oleracea* Mart.). *Revista brasileira de Armazenamento*, 28(1), 17 - 24.
- Pinheiro, G. (2004). *Propriedades físicas, termofísicas e físico-químicas de purê de banana adicionados de açúcar*. Lavras, Brasil: Universidad Federal de Lavras.
- Queiroz, G. (2001). *Determinação das propriedades termofísicas do pão tipo francês durante o processo de assamento*. São Paulo: Universidade de São Paulo.
- Rahman, M. (1995). *Food Properties Handbook*. Florida: CRC Press, Inc.
- 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.
- Salamanca G., G., Osorio T., M., Rodríguez A., N., & Abril R., J. (2011). Cambios en las propiedades termofísicas de cremogenados de mango en proceso de congelación. *Grupo de Investigación Mellitopalínológico y propiedades físicoquímicas de alimentos*.
- Sanabria, N., & Sangronis, E. (2007). Caracterización del acai o manaca (*Euterpe oleracea* Mart.): un fruto del Amazonas. *Archivo latinoamericanos de nutrición*, 57(1), 94 - 98.
- Santos, C., Marques, G., Fontan, G., Fontan, R., & Bonomo, R. (2006). Elaboração e caracterização de uma bebida láctea fermentada com pulpa de umbu (*Spondias tuberosa* sp.). *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 8(2), 111 - 116.

- Silva, M., Mata, M., Duarte, M., & Nascimento, J. (2002). Resfriamento e propriedades termofísicas do cajá (*Spondias lútea* L.). *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 4(2), 175 - 185.
- Silva, R., Mota, M., & Farias, J. (2009). Emergência e crescimento de plântulas de bacabi (*Oenocarpus mapora* Karsten) e bacaba (*Oenocarpus distichus* Mart.) e estimativas de parâmetros genéticos. (EMBRAPA, Ed.) *Acta Amazonica*, 39(3), 601 - 608. Recuperado el 25 de Enero de 2016, de <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/18071/1/v39n3a15.pdf>
- 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.
- Sobotka, 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.
- Sotero, V., Maco, M., Merino, C., & Vela, E. (2013). Caracterización química y evaluación antioxidante de frutos y raíces de euterpe oleracea. *Revista Sociedad Química del Perú*, 79(3), 236 - 242.
- Sousa, E., Lima, M., Souza, J., & Moreno, M. (2000). propiedades termofísicas de polpa de frutas tropicais. *I Brazilian Congress of Phase Equilibrium and Fluid Properties for Chemical Process Design*.
- 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., & Yamashita, 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.
- Virveda, P., & Pinazo, J. M. (1998). Métodos de transferencia de calor en la refrigeración y congelación de alimentos. *Alimentación, equipos y tecnología*, Pag. 161-167.