

Propiedades térmicas de pulpas de aguaje (*Mauritia flexuosa*) y pitahaya (*Hylocereus spp.*) aplicando calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Thermal properties of aguaje (*Mauritia flexuosa*) and pitahaya (*Hylocereus spp.*) pulps using differential scanning calorimetry (DSC)

Enrique Navarro^{1*}; Roxana Trujillo¹; Leopoldo Ríos¹; María García²

1 Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional de San Martín, Ciudad Universitaria, Jr. Amorarca 334, Morales, San Martín, Perú.

2 Facultad de Educación y Humanidades, Universidad Nacional de San Martín, Ciudad Universitaria, Jr. Amorarca 334, Morales, Moyobamba, San Martín, Perú.

* Autor correspondiente: enavarro@unsm.edu.pe (E. Navarro).

ORCID de los autores:

E. Navarro: <https://orcid.org/0000-0002-9595-8830>

L. Ríos: <https://orcid.org/0000-0002-7517-4086>

R. Trujillo: <https://orcid.org/0000-0003-4293-4429>

M. García: <https://orcid.org/0000-0002-8334-6992>

RESUMEN

Las propiedades térmicas de los alimentos son fundamentales para realizar cálculos de transferencia calorífica en procesamiento térmico. Esta investigación buscó determinar el punto de fusión (T_m) y entalpía de fusión (ΔH_f) de pulpas de aguaje (*Mauritia flexuosa*) y pitahaya (*Hylocereus spp.*) con humedades diferentes mediante análisis de calorimetría diferencial de barrido (DSC). Las pulpas de aguaje presentaban 53%, 40%, 30% y 20% de humedad, y las pulpas de pitahaya contenían 85%, 75%, 65% y 55% de humedad, siendo escaneadas por triplicado a una velocidad de calentamiento y enfriamiento entre 5 y 10 °C/min en rangos de temperatura de -50 °C hasta 90 °C. Los valores obtenidos de temperaturas de fusión para pulpas de aguaje estuvieron entre 1,86 °C y -1,91 °C, mientras que las pulpas de pitahaya se hallaron entre -3,57 °C y -15,73 °C. Las entalpías de fusión para pulpas de aguaje y pitahaya estuvieron entre 190,48 y 78,942 J/g; 110,42 y 32,899 J/g respectivamente. La prueba de Pearson estableció que existe una asociación directa positiva fuerte entre el contenido de humedad de las pulpas analizadas en relación con la temperatura y la entalpía de fusión. Conocer estas propiedades permite tomar decisiones tecnológicas en el manejo térmico de frutas y en el desarrollo de productos con mejor calidad, textura y vida útil.

Palabras clave: punto de fusión; entalpía de fusión; propiedades térmicas; *Hylocereus spp.*; *Mauritia flexuosa*.

ABSTRACT

Thermal properties of foods are fundamental for heat transfer calculations in thermal processing. This research sought to determine the melting point (T_m) and enthalpy of fusion (ΔH_f) of aguaje (*Mauritia flexuosa*) and pitahaya (*Hylocereus spp.*) pulps with different moisture content by differential scanning calorimetry (DSC) analysis. The aguaje pulps had 53%, 40%, 30% and 20% moisture content, and the pitahaya pulps contained 85%, 75%, 65% and 55% moisture content, being scanned in triplicate at a heating and cooling rate between 5 and 10 °C/min in temperature ranges from -50 °C to 90 °C. The values obtained for melting temperatures for aguaje pulps were between 1.86 °C and -1.91 °C, while pitahaya pulps were between -3.57 °C and -15.73 °C. The enthalpies of fusion for aguaje and pitahaya pulps were between 190.48 and 78.942 J/g; 110.42 and 32.899 J/g respectively. Pearson's test established that there is a strong positive direct association between the moisture content of the pulps analyzed in relation to temperature and enthalpy of fusion. Knowing these properties allows technological decisions to be made in the thermal handling of fruits and in the development of products with better quality, texture and shelf life.

Keywords: melting point; enthalpy of fusion; thermal properties; *Hylocereus spp.*; *Mauritia flexuosa*.

Recibido: 10-06-2025.

Aceptado: 12-10-2025.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

La Amazonía peruana ostenta una gran variedad de frutos y que cada vez se incentivan en su transformación e industrialización, sin embargo, carecemos de información relevante como sus propiedades térmicas de muchos de estas materias primas, limitando el desarrollo y construcción de nuevos equipos adaptados para conservar, secar, refrigerar, congelar, almacenar y/o comercializar nuevos productos que abrieran paso a nuevos mercados internacionales, potenciando así la exportación de productos tropicales con alto valor nutricional y gran demanda.

Entre esta gran variedad de frutos tenemos al aguaje (*Mauritia flexuosa*) y a la pitahaya (*Hylocereus spp.*). El aguaje es una palmera amazónica de importancia ecológica y económica. Nativa de América del Sur y largamente distribuida (en especial en la región amazónica) en Perú, Brasil, Colombia, Ecuador, las Guayanas y Venezuela. Es una de las especies nativas más importantes y abundantes de Sudamérica, con potencial económico en Latinoamérica, ya que todas sus partes son aprovechables (Araújo, et al., 2025). Es considerada una especie clave por su papel ecológico como recurso alimenticio y de nidificación para innumerables especies animales, además de sus múltiples usos etnobotánicos, como alimento, fibra, aceite, medicina, construcción y herramientas, siendo esencial para el sustento de muchas comunidades (da Silva et al., 2024; de Fátima et al., 2024; Abreu-Naranjo, et al., 2020).

Las posibles aplicaciones de la pulpa de aguaje se extienden a múltiples industrias. En el sector alimentario, los productos derivados del aguaje podrían mejorar el valor nutricional y la vida útil de las formulaciones gracias a sus propiedades antioxidantes. En la industria farmacéutica, los compuestos bioactivos del aguaje podrían servir como alternativas naturales para el manejo de afecciones relacionadas con el estrés oxidativo, como las enfermedades cardiovasculares y los trastornos neurodegenerativos (Nogueira, et al., 2025).

La pitahaya o pitaya (*Hylocereus spp.*) se considera un fruto de ciertas cepas pertenecientes a la familia de las cactáceas, y originarias de zonas tropicales

de México y América Central y del Sur (Jiang et al., 2021). Siendo una fruta exótica, su consumo se está extendiendo por todo el mundo. Tiene una gran aceptación debido a sus múltiples características fisicoquímicas, nutricionales y compuestos bioactivos y es considerada un alimento funcional por sus magníficas características organolépticas y valor comercial adicionado (Verona-Ruiz, 2020). Además de consumirse directamente como fruta, hoy en día, la pitahaya también se usa ampliamente en diversos productos alimenticios y bebidas, como jugos, jarabes, yogures, gelatinas, mermeladas, dulces, helados y colorantes naturales (Tristante, et al., 2024). La pitahaya tiene una estructura celular delicada, con contenido de betacianina con muy bajo nivel de estabilidad (Nurhadi, et al., 2024). Por lo que conocer su temperatura y entalpía de fusión es clave para evitar daños durante la congelación y descongelación en procesos industriales.

Las propiedades térmicas son parámetros esenciales para realizar cálculos de transferencia de calor. Estas propiedades en los alimentos pueden tener una fuerte dependencia de la composición (componentes del alimento), además de la temperatura durante los procesamientos térmicos, así durante los procesos de congelamiento (y descongelación), la transformación de fase de los componentes de agua y grasa libera la entalpía de fusión (calor latente de transición de fase sólido/líquido). En los alimentos, el calor latente se libera o absorbe en un rango de temperaturas en lugar de a una temperatura constante (Hoang et al., 2021; Murakonda & Dwivedi, 2022).

Esta investigación sobre las propiedades térmicas (temperatura y entalpía de fusión) permitirá desarrollar nuevos métodos y tecnologías para la conservación de alimentos. Estos estudios incluyen sobre cómo diferentes contenidos de humedad en las pulpas de los frutos seleccionados afectan estas propiedades, lo que puede llevar a innovaciones en productos alimenticios. En resumen, las propiedades térmicas no solo son esenciales para los cálculos técnicos en la ingeniería de alimentos, sino que también juegan un papel crucial en garantizar la calidad y seguridad alimentaria a lo largo de toda la cadena de suministro.

METODOLOGÍA

Toma de muestras

Los frutos maduros de aguaje y pitahaya fueron adquiridos en la ciudad de Tarapoto, procediendo los primeros del distrito de Caynarachi, provincia de Lamas y los segundos del distrito de Nueva Cajamarca, provincia de Rioja, ambas en la región San Martín, Perú. En el caso del aguaje, se utilizó el morfotipo "color", mientras que la variedad de pitahaya estudiada fue de cáscara amarilla y pulpa blanca.

Metodología experimental

La investigación se desarrolló en dos fases: en la primera, se realizaron las extracciones de las pulpas de ambos frutos. Una cantidad fue sometida

a análisis proximal y otra al acondicionamiento en el secador a diferentes niveles de humedad. La segunda fase correspondió a los ensayos de determinación de propiedades térmicas en el DSC. El trabajo de experimentación siguió las operaciones de la Figura 1.

Obtención de pulpas de aguaje y pitahaya

La pulpa del aguaje fue separada de la cáscara y semilla manualmente, utilizando para ello una cuchara de acero inoxidable. Sin embargo, en el caso de la pitahaya, los frutos fueron partidos manualmente por la mitad, quedando expuesta la pulpa junto a las pequeñas semillas que posee. Utilizando una cuchara se extrajo la pulpa y

semillas, los cuales fueron coladas a través de un tamiz de 1 mm de abertura. Las pulpas obtenidas fueron luego envasadas en bolsas de polietileno con cierre tipo ziploc y luego almacenadas en refrigeración (10 °C) para realizar los análisis proximales y demás ensayos respectivos.

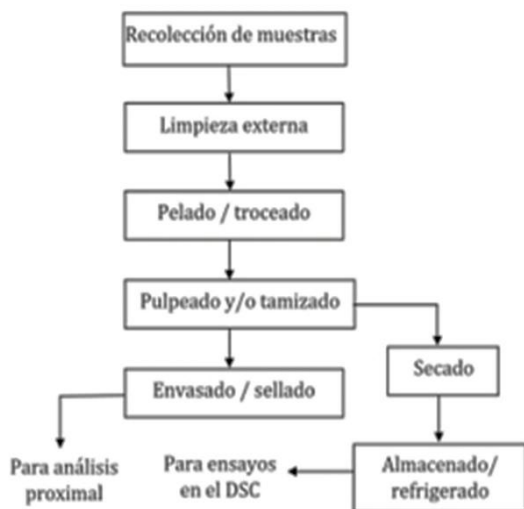


Figura 1. Diagrama de flujo para el desarrollo de la investigación.

Análisis químicos proximales

Humedad, método AOAC 971.28 (2019); proteína, método AOAC 920.152 (2019); materia grasa, método AOAC 920.177 (2019); carbohidratos, por diferencia y cenizas, método AOAC 940.26 (2019).

Secado de las pulpas

Antes de los ensayos de determinación de propiedades térmicas, las muestras pulpas de aguaje y pitahaya fueron sometidas a reducción del contenido de agua utilizando para ello una estufa eléctrica (Memmert UF110 - Alemania) a 60 °C con una velocidad de circulación de aire de 2,5 m/s, esto con la finalidad de poder realizar posteriormente los procedimientos experimentales programados, que fueron de trabajar con pulpas a diferentes contenidos de humedades. Las primeras estuvieron tal como se obtuvieron en las pulpas frescas (53% y 85% de humedad promedio para aguaje y pitahaya respectivamente). Las demás humedades seleccionadas se describen en la Tabla 1.

Tabla 1

Descripción del diseño de experiencias del estudio

Pulpa en estudio	Tratamientos (%Humedad)	Ensayos (Repeticiones)		
		Temperatura y calor latente de fusión		
		R1	R2	R3
Aguaje	53	X ₁	X ₂	X ₃
	40	X ₁	X ₂	X ₃
	30	X ₁	X ₂	X ₃
	20	X ₁	X ₂	X ₃
Pitahaya	85	Y ₁	Y ₂	Y ₃
	75	Y ₁	Y ₂	Y ₃
	65	Y ₁	Y ₂	Y ₃
	55	Y ₁	Y ₂	Y ₃

Diseño de la investigación

El diseño de experiencias se detalla en la Tabla 1, considerando como tratamientos los contenidos de humedad (%H₁; %H₂; %H₃ y %H₄) con tres repeticiones por cada tipo de pulpa y prueba, totalizando 24 ensayos. Para cada ensayo, el calorímetro entrega un termograma, cuyo análisis permite la extracción de las propiedades térmicas T_m: Temperatura de fusión y ΔH_f: Entalpía de fusión.

Aplicación de calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Para encontrar el punto de fusión, así como la entalpía de fusión, se utilizó un calorímetro diferencial de barrido Discovery DSC 2500 (TA Instruments, USA). Las muestras de pulpas de aguaje y pitahaya a diferentes contenidos de humedad fueron sometidas a los siguientes procedimientos.

Se realizó un enfriamiento desde 25 °C hasta -50 °C a una velocidad de 10 °C/min, manteniendo a esta temperatura por 2 minutos; luego se calentó a una velocidad de 5 °C/min desde -50 °C hasta 90 °C. En el interior de la cámara se utilizó como gas de purga, un flujo constante de nitrógeno (N₂) de 50 mL/min, el cual se mantuvo constante durante todos los ensayos. Las líneas de base de todos los ensayos se optimizaron utilizando un crisol vacío de referencia. Cada muestra con un peso entre 18 a 30 mg, fue depositada en un crisol de aluminio de 40 µL y posteriormente sellada herméticamente. Los ensayos se realizaron por triplicado. Para cada sección de la muestra, se estableció el punto de fusión utilizando la función ONSET aplicada en la zona del evento térmico. ONSET se define como el punto donde la línea de base previa a la transición se cruza con la tangente trazada a partir del punto de inflexión (Mendoza, 2017). Este valor indica el inicio de un evento térmico.

La ventaja del DSC es que funciona de manera rápida y sencilla; pudiendo obtener mucha información valiosa con un solo termograma y una cantidad muy pequeña de muestra puede dar resultados precisos. En esta técnica, la muestra se somete a un programa de temperatura lineal, y el flujo de calor en la muestra se mide continuamente; el caudal es proporcional a la capacidad térmica específica instantánea de la muestra. Las propiedades térmicas dependen en gran medida de la temperatura y la composición proximal del producto (Nonthaput et al., 2017).

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados aplicando el análisis de varianza (ANOVA) usando el programa estadístico Minitab V16. Las medias resultantes fueron comparadas, además utilizando la prueba de Tukey al 5% con un nivel de significancia de p < 0,05; además de la relación de Pearson con el objetivo de evaluar el efecto del contenido de humedad de las pulpas sobre los valores de las propiedades térmicas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición química proximal de pulpas de pitahaya y aguaje

Las composiciones proximales en base húmeda de muestras de pulpas frescas de pitahaya (*Hylocereus spp.*) y aguaje (*Mauritia flexuosa*) (Tabla 2).

Tabla 2

Composición proximal de pulpas de aguaje y pitahaya (base húmeda)

Análisis proximal (g/100 g)	Aguaje	Pitahaya
Humedad	53,00 ± 0,25	85,00 ± 0,61
Proteína	2,32 ± 0,11	0,45 ± 0,03
Materia grasa	25,67 ± 0,39	0,10 ± 0,01
Carbohidratos	18,07 ± 0,56	13,94 ± 0,55
Cenizas	0,94 ± 0,07	0,51 ± 0,08

Los valores representan el promedio ± DS; n = 3.

Para la pulpa fresca de aguaje se obtuvo como resultado un contenido de humedad promedio de 53%; el cual es similar a los valores reportados por Aguiar & Souza (2017) y Caneiro & de Mello (2011) quienes obtuvieron 55% y 54,35% de humedad respectivamente. Sin embargo, Schiassi et al. (2018) reportó 79,35% de humedad para la pulpa de aguaje de morfotipo color. El valor promedio de la proteína encontrada en este estudio para la pulpa fresca de aguaje (2,32%) es comparable con valores de 2,14% y 2,35% reportados por Nascimento-Silva et al. (2020) y Aguiar & Souza (2017) respectivamente.

Según los resultados de sus investigaciones Berni et al. (2019) y Lescano et al. (2018), la materia grasa presente en la pulpa de aguaje representa el 19,20% y 13,75% respectivamente, los cuales difieren del resultado promedio encontrado (25,67%).

En cuanto a la pulpa de pitahaya, el contenido promedio de humedad obtenido (85%) es comparable con los obtenidos por Nur et al. (2023) y Huachi et al. (2015) quienes reportaron valores de humedad de 83-86% y 83% respectivamente.

En cuanto a la cantidad de proteína encontrada en la pulpa de pitahaya variedad cáscara amarilla y pulpa blanca fue de 0,45%; valor muy cercano a los descritos por ICBF (2018) y Mercado-Silva (2018), ambos con 0,4%; sin embargo, Morales de León et al. (2015) indican 1,1% para proteína y Nur et al. (2023) encontró 0,64% para este componente.

Para el componente de materia grasa, tanto ICBF (2018) y Mercado-Silva (2018), reportan 0,1% en pulpa de pitahaya amarilla, ambos trabajos coinciden con el valor de esta investigación. Por su parte Morales de León et al. (2015) no encuentra algún valor para la grasa en la misma pulpa.

Temperatura y entalpía de fusión de la pulpa de aguaje (*Mauritia flexuosa*)

Las curvas superpuestas de temperaturas de fusión y entalpías de fusión de las pulpas de aguaje a diferentes concentraciones de humedad (53%; 40%; 30% y 20%), se presentan en la Figura 2. Los valores promedios que se obtuvieron para la temperatura de fusión (T_m) y entalpía de fusión (ΔH_f) denominada también como “calor latente de fusión” en pulpas de aguaje al 53% de humedad fueron 1,86 °C y 190,48 J/g respectivamente. Mientras que para la pulpa de aguaje al 40% de humedad, la temperatura de fusión (T_m) fue de 0,24 °C y la entalpía de fusión (ΔH_f) de 137,22 J/g. En estos valores de temperaturas de fusión, notamos que las pulpas de aguaje con contenidos de humedad de 53% y 40%, se fusionan por encima de los 0 °C; esto es debido a que la pulpa de aguaje contiene una alta cantidad de ácidos grasos insaturados como el ácido oleico (C18:1 ω 9), palmítico (C16:0) quienes representan el 73,29% y 17,75% (Ramos-Escudero et al., 2022) en promedio del total del rendimiento de aceite respectivamente. Esta composición influye entonces en el valor del punto de fusión de la pulpa de aguaje, ya que el ácido oleico se fusiona a 5,5 °C y el ácido palmítico a 18 °C comienza a derretirse.

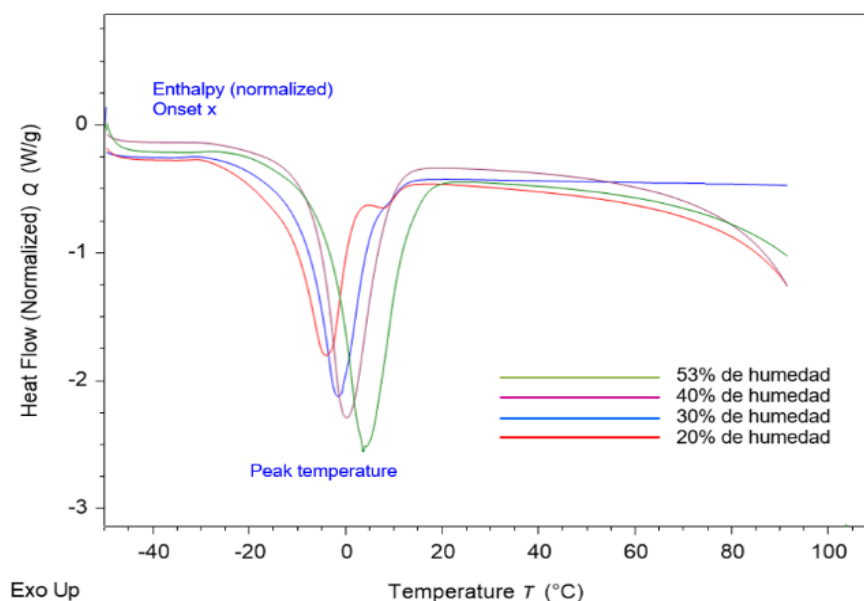


Figura 2. Termogramas de fusión de pulpas de aguaje a diferentes contenidos de humedad.

En lo relacionado a las pulpas de aguaje con contenidos de humedad de 30% y 20%, se encontraron temperaturas de fusión (T_m) de $-0,73^\circ\text{C}$ y $-1,91^\circ\text{C}$ respectivamente, en tanto que las entalpías de fusión (ΔH_f) encontrados fueron de $113,88\text{ J/g}$ y $78,942\text{ J/g}$ respectivamente.

Es observable, además, en la Figura 2 que las temperaturas de fusión (T_m) son menores en las pulpas de aguaje que contienen menor concentración de humedad, lo cual significa que mientras se van concentrando la cantidad de sólidos es necesario que la temperatura de fusión sea cada vez menor, es decir llegando inclusive a temperaturas por debajo de 0°C .

En lo referente a los valores de las entalpías de fusión (ΔH_f) se determinaron que estos valores también disminuyen a medida que la cantidad de humedad decrece en las muestras de pulpa de aguaje. Lo que confirma lo descrito por Ahumada (2016) quien sostiene que “Las pulpas de frutas con más contenido de agua, presentan los valores más elevados de entalpías de fusión, ya que, al poseer mayor humedad en su interior, para congelar y fusionar, éstas requerirán más energía; siendo la fusión un proceso endotérmico”. El aguaje tiene una textura cremosa y oleosa, lo que puede alterar su comportamiento térmico respecto a frutas más acuosas. Su alto contenido de carotenoides también influye en la estabilidad térmica (Ferreira, et al., 2024). La Tabla 3 muestra en detalle los valores obtenidos en los termogramas de la Figura 2.

El análisis de varianza realizado a los datos de la Tabla 3, a través de la comparación de medias con la prueba de Tukey al 5%, indicaron que las temperaturas de fusión (Peak temperature) de las pulpas de aguaje al 53%; 40%; 30% y 20% de humedad, presentan diferencia significativa ($p < 0,05$). También, puede observarse que las temperaturas de inicio (T° Onset) de fusión en las pulpas de aguaje al 40% y 30% de humedad no presentaron diferencia significativa ($p > 0,05$), sin

embargo, las pulpas de aguaje con contenidos de humedad del 53% y 20%, si son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$) en relación a la T° Onset. En la misma prueba de Tukey al 5%, los valores de las entalpías de fusión (ΔH_f) presentaron diferencia significativa ($p < 0,05$) en todas las muestras de pulpa de aguaje en sus diferentes porcentajes de humedad.

Tabla 3

Temperaturas y entalpías de fusión de pulpa de aguaje (*Mauritia flexuosa*) a diferentes contenidos de humedad

Humedad (%)	Peak temperature ($^\circ\text{C}$)	T° Onset ($^\circ\text{C}$)	(ΔH_f) Entalpía de fusión (J/g)
53	$1,86^A \pm 0,24$	$-4,73^A \pm 0,37$	$190,48^A \pm 5,12$
40	$0,24^B \pm 0,30$	$-7,00^B \pm 0,86$	$137,22^B \pm 8,81$
30	$-0,73^C \pm 0,49$	$-7,79^B \pm 0,85$	$113,88^C \pm 9,43$
20	$-1,91^D \pm 0,23$	$-10,35^C \pm 0,68$	$78,942^D \pm 3,00$

Los valores representan el promedio \pm DS; $n = 3$.

Promedios con igual letra en una misma columna son significativamente iguales ($p > 0,05$).

Temperatura y entalpía de fusión de la pulpa de pitahaya (*Hylocereus* spp.)

Las curvas superpuestas de temperaturas de fusión y entalpías de fusión de las pulpas de pitahaya a diferentes concentraciones de humedad (85%; 75%; 65% y 55%), se presentan en la Figura 3. Los valores promedios que se obtuvieron para la temperatura de fusión (T_m) y entalpía de fusión (ΔH_f) en pulpas de pitahaya al 85% de humedad fueron $-3,57^\circ\text{C}$ y $110,42\text{ J/g}$ respectivamente. Mientras que para la pulpa de pitahaya al 75% de humedad, la temperatura de fusión fue de $-5,08^\circ\text{C}$ y la entalpía de fusión de $91,207\text{ J/g}$.

En cuanto a las pulpas de pitahaya con contenidos de humedades de 65% y 55%, se encontraron temperaturas de fusión de $-11,19^\circ\text{C}$ y $-15,73^\circ\text{C}$ respectivamente, mientras que las energías absorbidas (Entalpías de fusión) fueron de $47,969\text{ J/g}$ y $32,899\text{ J/g}$ respectivamente.

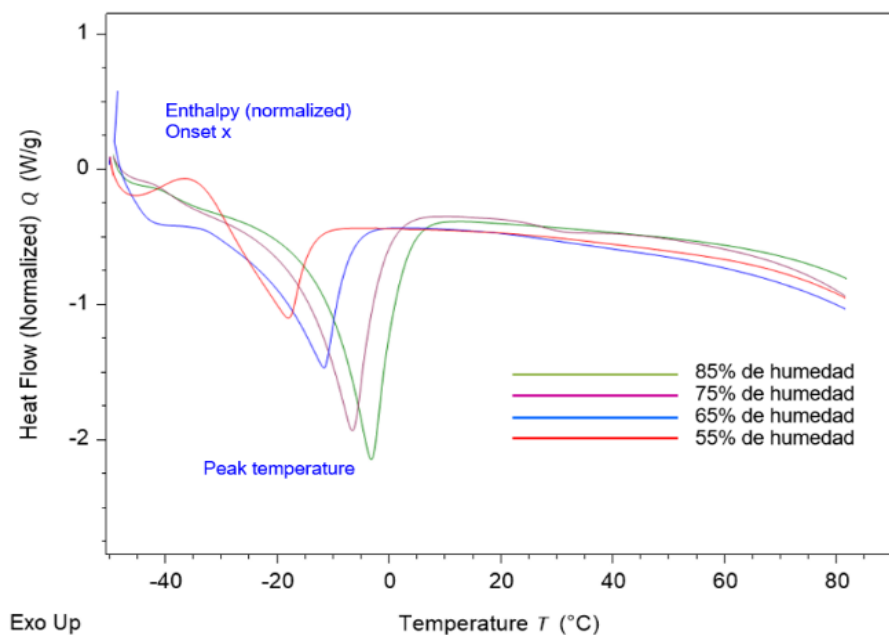


Figura 3. Termogramas de fusión de pulpas de pitahaya a diferentes contenidos de humedad.

A medida que la cantidad de humedad presentes en las pulpas de pitahayas es menor, el punto de fusión (T_m) de las mismas también disminuye (Figura 3), esto debido a que la cantidad de sólidos aumenta porcentualmente en la composición de las pulpas. Mendoza (2017) sostiene que “el cambio de sólido cristalino a líquido ocurre a una temperatura determinada (temperatura de fusión) e implica que los componentes pasan de estar en un retículo a desordenarse en un estado líquido, es decir, aumenta la movilidad de las moléculas”. Así, los valores de la entalpía de fusión (ΔH_f) son menores a medida que va disminuyendo el contenido de humedad en las pulpas; en términos universales a mayor contenido de humedad, mayor es la energía latente.

De manera general, al realizar transferencia de calor a una sustancia, la temperatura de la misma aumenta porque aumenta la energía cinética media por molécula. Sin embargo, cuando el calor añadido solo produce un cambio de fase, la temperatura de la sustancia no cambia porque la energía se utiliza para producir el cambio de fase. El aumento de temperatura de la sustancia solo se producirá hasta que se produzca el cambio de estado completo (Matuda et al., 2024).

Los valores obtenidos en los termogramas de la Figura 3 se detallan en la Tabla 4, donde se incluyen, además, las temperaturas promedias de inicio (Onset) del proceso de fusión para cada muestra de pulpa de pitahaya a diferentes contenidos de humedad.

Tabla 4
Temperaturas y entalpías de fusión de pulpa de pitahaya (*Hylocereus* spp.) a diferentes contenidos de humedad

Humedad (%)	Peak temperature (°C)	T° Onset (°C)	(ΔH_f) Entalpía de fusión (J/g)
85	-3,57 ^A ± 0,45	-12,86 ^A ± 0,27	110,42 ^A ± 1,96
75	-5,08 ^A ± 0,30	-14,55 ^A ± 1,08	91,207 ^B ± 1,19
65	-11,19 ^B ± 0,71	-23,74 ^B ± 0,63	47,969 ^C ± 2,69
55	-15,73 ^C ± 1,62	-24,01 ^B ± 3,97	32,899 ^D ± 2,49

Los valores representan el promedio ± DS; n = 3.

Promedios con igual letra en una misma columna son significativamente iguales ($p > 0,05$).

Los datos iniciales de la Tabla 4 al ser sometidos al análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias de Tukey al 5%, reportaron que las temperaturas de fusión (Peak temperature) de las pulpas de pitahaya al 85% y al 75% de humedad son significativamente iguales ($p > 0,05$); mientras que las pulpas al 65% y 55% de humedad, estas temperaturas de fusión presentaron diferencia significativa ($p < 0,05$). También se puede observar también que las temperaturas T° Onset de fusión en las pulpas de pitahaya al 85% y 75% de humedad no presentaron diferencia significativa ($p > 0,05$), la misma interacción se produjo entre las pulpas de pitahaya al 65% y 55%. En cuanto a los valores de las entalpías de fusión (ΔH_f), éstos presentaron diferencia significativa ($p < 0,05$) en todas las muestras de pulpa de pitahaya en sus diferentes contenidos de humedad.

A manera de comparación se presenta en la Tabla 5 algunos valores de temperaturas y entalpías de fusión analizadas a pulpas frescas de frutas.

Tabla 5
Valores de temperaturas y entalpías de fusión de algunas frutas

Fruta	% H	T° fusión (°C)	Entalpía de fusión (J/g)
Guayaba	84	-2,0 a 0,0	120 a 80
Mango	83	-1,5 a -3,0	150 a 90
Papaya	91	-1,0 a -0,0	210 a 100
Plátano	76	-1,0 a -3,5	110 a 68

Fuente: Neverov (2022); Salamanca & Rodríguez (2011); Quintero et al. (2013); Zamudio-Flores et al. (2007).

Puede detallarse en la Tabla 5, que las frutas más acuosas como la guayaba, mango y papaya tienden a tener entalpías de fusión más altas, ya que el agua requiere más energía para cambiar de estado. En contraste, frutas como el plátano (y el aguaje, en nuestro caso), con mayor cantidad de carbohidratos, lípidos y carotenoides, presentan temperaturas de fusión similares pero menores entalpías, lo que indica una transición térmica menos demandante.

Además, factores como fibras, ácidos orgánicos y componentes estructurales (pectinas, semillas) generan una respuesta térmica heterogénea, crucial al diseñar procesos de congelación que mantengan la calidad sensorial del producto.

Evaluación del efecto del contenido de humedad en las pulpas de aguaje y pitahaya sobre la cuantificación de sus propiedades térmicas

En la Tabla 6 se presentan las correlaciones entre los contenidos de humedades de las pulpas de aguaje y pitahaya frente a los valores de las propiedades térmicas (Temperatura de fusión y entalpía de fusión) encontradas en las mencionadas pulpas. Se puede observar que los coeficientes (r) de Pearson tienen valores mayores a +0,97; lo cual indica que las correlaciones obtenidas tienen significancia estadística lineal positiva muy fuerte (cercanas al valor de +1).

Tabla 6
Correlaciones de Pearson (porcentajes de humedad de pulpas de aguaje y pitahaya frente a la temperatura y entalpía de fusión)

Variables	Peak temperature (°C)	(ΔH_f) Entalpía de fusión (J/g)
% Humedad (Aguaje)	0,9989	0,9948
% Humedad (Pitahaya)	0,9776	0,9820

Al analizar las correlaciones o valores de (r) de Pearson obtenidas, podemos afirmar que existe una relación positiva directa muy fuerte entre los valores de los contenidos de humedad de las pulpas de aguaje y pitahaya en relación a la temperatura y entalpía de fusión, es decir que, a mayor cantidad de contenido de humedad en las pulpas, mayores son la temperatura de fusión (T_m) y la entalpía de fusión (ΔH_f) para cada pulpa. Podemos indicar entonces que, las pulpas tendrán la energía necesaria para alcanzar la temperatura de fusión (T_m) y formar una matriz fundida. La integración del flujo de calor proporciona una entalpía relacionada con el calor específico del material y la energía absorbida o liberada por el material debido a las transiciones de fase (Mendoza, 2017).

CONCLUSIONES

Los valores promedios de temperaturas de fusión y entalpías de las pulpas de aguaje (*Mauritia flexuosa*) y pitahaya (*Hylocereus* spp.) evidencian una relación directa entre el contenido de humedad y el comportamiento térmico de cada fruta.

La pulpa de aguaje destacó su textura oleosa implicando menor contenido de agua libre, por lo que requiere menos energía para fundirse. Los carotenoides y lípidos influyen en la estabilidad térmica, reduciendo la entalpía de fusión respecto a frutas más acuosas. Además, los lípidos tienden a congelarse a temperaturas distintas, generando curvas térmicas más complejas.

La pulpa de pitahaya por ser rica en agua y azúcares, tiene una entalpía alta. Sin embargo, su estructura celular delicada la hace vulnerable al daño por congelación. Esto es relevante en procesos de conservación donde la calidad sensorial es crítica.

El análisis de varianza (ANVA) evidenció diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en las temperaturas y entalpías de fusión de las pulpas de aguaje (*Mauritia flexuosa*) y pitahaya (*Hylocereus* spp.) en función de sus

diferentes contenidos de humedad. Asimismo, el coeficiente de correlación de Pearson indicó una relación positiva muy fuerte entre el contenido de humedad y las propiedades térmicas evaluadas, concluyéndose que el nivel de humedad influye significativamente en las temperaturas y entalpías de fusión. Es decir, a mayor contenido de humedad, mayores son los valores de temperatura y energía requeridos para alcanzar la fusión de las pulpas, lo cual resulta esencial para la planificación de procesos de conservación, congelación y transformación industrial de estos frutos.

Los resultados obtenidos son fundamentales para comprender el comportamiento térmico de las frutas durante procesos de conservación, congelamiento y formulación de productos alimenticios. Conocer las temperaturas y entalpías de fusión permite optimizar las condiciones de almacenamiento, diseñar tecnologías de procesamiento adecuadas y evaluar la estabilidad del producto. Además, proporciona información valiosa para investigaciones futuras en ingeniería de alimentos, formulación de mezclas y desarrollo de productos innovadores con estas frutas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto por el financiamiento a esta investigación en el marco del Concurso de Proyectos de Investigación Científica – Tecnológica e Innovación a Nivel Docente, Financiado por la UNSM, Periodo 2021,

aprobado mediante Resolución N° 359-2021-UNSM/CU-R. Además, se agradece a la Facultad de Ingeniería Agroindustrial por proporcionar las instalaciones y equipos de sus laboratorios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu-Naranjo, R., Paredes-Moreta, J. G., Granda-Albuja, G., Iturralde, G., González-Paramás, A. M., & Alvarez-Suarez, J. M. (2020). Bioactive compounds, phenolic profile, antioxidant capacity and effectiveness against lipid peroxidation of cell membranes of *Mauritia flexuosa* L. fruit extracts from three biomes in the Ecuadorian Amazon. *Heliyon*, 6(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05211>
- Aguar, J. P. L., & Souza, F. D. C. D. A. (2017). Dehydration and spraying of buriti pulp (*Mauritia flexuosa* L.): shelf-life evaluation. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 39(Spe), e-034. <https://doi.org/10.1590/0100-29452017034>
- Ahumada, C. A. (2016). *Determinación de propiedades termofísicas de la murta (Ugni molinae Turcz) durante el proceso de congelación y calentamiento*. Memoria Ing. en Alimentos. Valdivia, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2016/faa287d/doc/faa287d.pdf>
- Araújo, I. M., de Alencar Silva, A., Pereira-de-Morais, L., de Menezes Dantas, D., de Oliveira Barbosa, M., Leite, G. M. L., ... & de Araújo Delmondes, G. (2025). Phytochemical characterization, toxicity and pharmacological profile of the central effects of the fixed fruit pulp oil of *Mauritia flexuosa* LF (buriti). *Fitoterapia*, 180, 106303. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2024.106303>
- Berni, P., Campoli, S. S., Negri, T. C., de Toledo, N. M., & Canniatti-Brazaca, S. G. (2019). Non-conventional tropical fruits: Characterization, antioxidant potential and carotenoid bioaccessibility. *Plant Foods for Human Nutrition*, 74, 141-148. <https://doi.org/10.1007/s11130-018-0710-1>
- Carneiro, T. B., & de Mello Carneiro, J. G. (2011). Frutos e polpa desidratada buriti, *Mauritia flexuosa* L.: Aspectos físicos, químicos e tecnológicos. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 6(2), 22. <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/artic/e/view/483/600>
- da Silva Almeida, T., Ribeiro, L. M., Martins, C. D. P. S., Barbosa, T. L., Mercadante-Simões, M. O., de Oliveira Vieira, E., ... & Lopes, P. S. N. (2024). Structural and physiological responses to water availability provide insights into the maintenance of *Mauritia flexuosa* (Arecaceae) seedling banks. *Forest Ecology and Management*, 561, 121881. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.121881>
- de Fátima Rodrigues, M., da Silva, J. W., de Lima, J. S., de Azevedo Ramos, B., Paz, S. T., Lomonaco, D., ... & Ximenes, R. M. (2024). Antiulcer activity of *Mauritia flexuosa* Lf (Arecaceae) pulp oil: An edible Amazonian species with functional properties. *Fitoterapia*, 174, 105857. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2024.105857>
- Ferreira, A. C. G., de Lima, B. R., de Matos, O. F., Hanada, R. E., Aguiar, J. P. L., & do Amaral Souza, F. D. C. (2024). Evaluation of the thermal and light stability of β -carotene extracted from *Mauritia flexuosa* using ionic liquid. *Food Chemistry Advances*, 5, 100833. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100833>
- Hoang, D. K., Lovatt, S. J., Olatunji, J. R., & Carson, J. K. (2021). Improved prediction of thermal properties of refrigerated foods. *Journal of Food Engineering*, 297, 110485. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110485>
- Huachi, L., Yugsi, E., Paredes, M. F., Coronel, D., Verdugo, K., & Santamaría, P. C. (2015). Desarrollo de la pitahaya (*Cereus* sp.) en Ecuador. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 22(2), 50-58. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476047267005>
- Instituto Colombiano de Bienestar Familiar – ICBF. (2018). *Tabla de composición de alimentos colombianos*. (1ra. Ed.). Universidad Nacional de Colombia. https://www.icbf.gov.co/system/files/tcac_web.pdf
- Jiang, H., Zhang, W., Li, X., Shu, C., Jiang, W., & Cao, J. (2021). Nutrition, phytochemical profile, bioactivities and applications in food industry of pitaya (*Hylocereus* spp.)

- peels: A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 199-217.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.040>
- Lescano, C. H., de Oliveira, I. P., Freitas de Lima, F., Baldivia, D. D. S., Justi, P. N., Cardoso, C. A. L., ... & Sanjinez-Argandoña, E. J. (2018). Nutritional and chemical characterizations of fruits obtained from *Syagrus romanzoffiana*, *Attalea dubia*, *Attalea phalerata* and *Mauritia flexuosa*. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12, 1284-1294.
<https://doi.org/10.1007/s11694-018-9742-3>
- Matuda, T. G., Bulgarelli, M. C., Ribeiro, E. P., & Tadini, C. C. (2024). Influence of plant proteins blend or polydextrose on freeze-dried açai (*Euterpe oleracea*) sorption isotherms and thermal properties. *LWT*, 191, 115649.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115649>
- Mendoza Cuéllar, J. T. (2017). *Estudio calorimétrico de las transiciones de fase y de estado en función del contenido de humedad en sistemas modelo y jugos naturales*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí – México. Tesis que para obtener el grado de maestro en Ciencias en Bioprocesos.
<https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/6115>
- Mercado-Silva, E. M. (2018). Pitaya—*Hylocereus undatus* (haw). *Exotic fruits*, 339-349.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00045-9>
- Morales de León, J.; Bourges, R.H.; Camacho, P. 2015. *Tablas de composición de alimentos y productos alimenticios*. CIA. Periodística Esto S.A DE C.V. México. 666 pp.
https://www.incmnsz.mx/2019/TABLAS_ALIMENTOS.pdf
- Murakonda, S., Patel, G., & Dwivedi, M. (2022). Characterization of engineering properties and modeling mass and fruit fraction of wood apple (*Limonia acidissima*) fruit for post-harvest processing. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 21(4), 267-277.
<https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.09.005>
- Nascimento-Silva, N. R. R., Silva, F. A., & Silva, M. R. (2020). Physicochemical composition and antioxidants of buriti (*Mauritia flexuosa* Linn. F.)–pulp and sweet. *J Bioenergy Food Sci.* 2020; 7: e2792019JBFS.
<http://dx.doi.org/10.18067/jbfs.v%25vi%25i.279>
- Neverov, E., Korotkiy, I., Korotkaya, E., & Korotkih, P. (2022). Características termofísicas y químicas de las frutas tropicales. *Nexo Revista Científica*, 35(04), 968-980.
<https://doi.org/10.5377/nexo.v35i04.15536>
- Nogueira, G. M., Cardoso, F. A. R., Perdoncini, M. R. F. G., da Silva, M. V., & Rigobello, E. S. (2025). Evaluation of the extraction of antioxidant compounds from buriti pulp (*Mauritia flexuosa* L.) by response surface methodology. *Heliyon*, 11(2).
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e41926>
- Nur, M. A., Uddin, M. R., Uddin, M. J., Satter, M. A., & Amin, M. Z. (2023). Physicochemical and nutritional analysis of the two species of dragon fruits (*Hylocereus* sp.) cultivated in Bangladesh. *South African Journal of Botany*, 155, 103-109.
<https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.02.006>
- Nurhadi, B., Qonit, M. A. H., Mubarak, S., & Saputra, R. A. (2024). Enhancing betacyanin stability: Comparison of dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) pulp and peel powders through encapsulation technology during storage. *Food Science & Nutrition*, 12(5), 3251-3264.
<https://doi.org/10.1002/fsn3.3992>
- Quintero, V., Giraldo, G., Lucas, J., & Vasco, J. (2013). Caracterización fisicoquímica del mango común (*Mangifera indica* L.) durante su proceso de maduración. *Biotechnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 11(1), 10-18.
<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n1/v11n1a02.pdf>
- Ramos-Escudero, F., Gómez-Coca, R. B., Muñoz, A. M., Fuente-Carmelino, L. D. L., & Pérez-Camino, M. D. C. (2022). Oil from three aguaje morphotypes (*Mauritia flexuosa* Lf) extracted by supercritical fluid with CO₂: Chemical composition and chromatic properties. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 843772.
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.843772>
- Salamanca Grosso, G. y Rodríguez Arias, N. (2011). *Changes in the thermophysical properties in puree of mango under freezing process*. Universidad Pública de Navarra, España.
<https://www.researchgate.net/publication/313476398>
- Schiassi, M. C. E. V., de Souza, V. R., Lago, A. M. T., Campos, L. G., & Queiroz, F. (2018). Fruits from the Brazilian Cerrado region: Physico-chemical characterization, bioactive compounds, antioxidant activities, and sensory evaluation. *Food chemistry*, 245, 305-311.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.104>
- Tristante, N. A., Cao, W., Chen, N., Suryoprabowo, S., Soetaredjo, F. E., Ismadji, S., & Hua, X. (2024). Pectin extracted from red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel and its usage in edible film. *International Journal of Biological Macromolecules*, 276, 133804.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133804>
- Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J., & Paucar-Menacho, L. M. (2020). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 439-453.
<http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.16>
- Zamudio-Flores, P. B., Bello-Pérez, L. A., Vargas-Torres, A., Hernández-Urbe, J. P., & Romero-Bastida, C. A. (2007). Caracterización parcial de películas preparadas con almidón oxidado de plátano. *Agrociencia*, 41(8), 837-844.
<https://www.redalyc.org/pdf/302/30220203003.pdf>