



# Propiedades térmicas de pulpas de *Annona muricata* (guanábana) y *Mauritia flexuosa* (aguaje) a diferentes contenidos de humedades

Thermal properties of *Annona muricata* (guanábana) and *Mauritia flexuosa* (aguaje) pulps at different moisture contents

Navarro-Ramírez, Enrique<sup>1\*</sup>

Lazo-Arévalo, Rut<sup>1</sup>

Dávila-Trujillo, Roberto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú

<sup>2</sup>Universidad Nacional Agraria la Selva, Tingo María, Perú

Recibido: 25 May. 2025 | Aceptado: 14 Jul. 2025 | Publicado: 20 Jul. 2025

Autor de correspondencia\*: [enavarro@unsm.edu.pe](mailto:enavarro@unsm.edu.pe)

Cómo citar este artículo: Navarro-Ramírez, E., Lazo-Arévalo, R. & Dávila-Trujillo, R. (2025). Propiedades térmicas de pulpas de *Annona muricata* (guanábana) y *Mauritia flexuosa* (aguaje) a diferentes contenidos de humedades. *Revista Agrotecnológica Amazónica*, 5(2), e974. <https://doi.org/10.51252/raa.v5i2.974>

## RESUMEN

Conociendo la diversidad de frutales que posee nuestra región selvática peruana, este estudio buscó determinar las temperaturas de congelación ( $T_c$ ) y entalpías de congelación ( $\Delta H_c$ ) de las pulpas de guanábana (*Annona muricata*) y aguaje (*Mauritia flexuosa*) con contenidos diferentes de humedades mediante análisis de calorimetría diferencial de barrido (DSC). Las pulpas de aguaje contenían entre 55% y 20% de humedad, y las pulpas de guanábana entre 82% y 50% de humedad, siendo analizadas por triplicado con velocidad de calentamiento y enfriamiento entre 5 y 10 °C/min con intervalos de temperaturas -100 °C hasta 40 °C. Las temperaturas de congelación encontradas fueron entre -1,87 °C y -5,59 °C para pulpas de guanábana y valores entre 0,93 °C y -2,13 °C para pulpas de aguaje. Mientras que las entalpías de congelación para pulpas de guanábana estuvieron entre 153,68 y 71,43 J/g y para pulpas de aguaje entre 113,27 y 94,52 J/g. Los valores obtenidos al ser sometidos al análisis de varianza, mostraron diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) en los valores de temperaturas y entalpías de congelación en ambas pulpas. Se concluyó que, a mayor contenido de humedad, mayores fueron las temperaturas y entalpías de congelación.

**Palabras clave:** calorimetría diferencial de barrido; entalpía de congelación; pulpas de fruta; temperatura de congelación

## ABSTRACT

Knowing the diversity of fruit trees in our Peruvian jungle region, this study sought to determine the freezing temperatures ( $T_c$ ) and freezing enthalpies ( $\Delta H_c$ ) of soursop (*Annona muricata*) and aguaje (*Mauritia flexuosa*) pulps with different moisture contents by differential scanning calorimetry (DSC) analysis. The aguaje pulps contained between 55% and 20% moisture, and the soursop pulps between 82% and 50% moisture, being analyzed in triplicate with heating and cooling rates between 5 and 10 °C/min with temperature ranges -100 °C to 40 °C. The freezing temperatures found were between -1.87 °C and -5.59 °C for soursop pulps and values between 0.93 °C and -2.13 °C for aguaje pulps. While the freezing enthalpies for soursop pulps were between 153.68 and 71.43 J/g and for aguaje pulps between 113.27 and 94.52 J/g. The values obtained when subjected to analysis of variance showed a significant difference ( $p < 0.05$ ) in the values of freezing temperatures and enthalpies in both pulps. It was concluded that the higher the moisture content, the higher the freezing temperatures and enthalpies.

**Keywords:** differential scanning calorimetry; enthalpy of freezing; fruit pulps; freezing temperature



## 1. INTRODUCCIÓN

Nuestra selva peruana posee 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 comercializar nuevos productos que abrieran paso a nuevos mercados tanto nacionales como internacionales, más aún, teniendo en cuenta que en nuestro país ha iniciado el funcionamiento del puerto de Chancay como el nuevo eje logístico-industrial en el Pacífico sudamericano, potenciando así la exportación de productos tropicales con alto valor nutricional y gran demanda.

Las frutas son alimentos que se deterioran rápidamente y se ven afectadas significativamente por diversos factores internos, entre ellos su composición química, pH, nivel de agua, cantidad de sólidos solubles, índice de madurez y la presencia de enzimas y microorganismos inherentes a la propia fruta (Cruz Cuello, 2020). Además, juegan un papel crucial factores externos como la luz del sol, la temperatura, la humedad relativa, los niveles de oxígeno, las circunstancias de transporte y empaque, los métodos de manipulación y las condiciones del ambiente como el frío, las fuertes lluvias y el calor extremo del verano. Estos elementos aceleran el proceso de deterioro de las frutas frescas, lo que genera pérdidas económicas para los productores y una disminución de la calidad de las materias primas.

El estudio de las propiedades térmicas de las pulpas de guanábana (*Annona muricata*) y aguaje (*Mauritia flexuosa*) mediante calorimetría de barrido diferencial (DSC) es de mucha importancia para la industria de los alimentos. La identificación de estas características térmicas de estas pulpas es fundamental para comprender su procedimiento durante las tecnologías de procesamiento y almacenamiento, como la congelación, descongelación y conservación. Las propiedades térmicas son parámetros importantes para realizar cálculos de transferencia de calor y dependen muy fuertemente de la temperatura y la composición durante el procesamiento térmico, especialmente durante la congelación, lo que plantea un desafío para quienes intentan desarrollar modelos generales que puedan aplicarse a una variedad de productos alimenticios (Hoang et al., 2021). Estas propiedades deben ser estudiadas con el fin de desarrollar y emplear cálculos en la transferencia de energía implicados en el diseño y construcción de equipos de congelación y refrigeración para almacenar productos perecederos, además son inevitables para deducir procesos de calentamiento, transporte y secado de productos alimenticios. Así, con el conocimiento de estas propiedades pueden realizarse balances energéticos en procesos para calentar o enfriar y determinar así el perfil de temperaturas dentro del alimento y así mejorar la calidad del producto.

Lamentablemente, la información disponible sobre las propiedades térmicas de las pulpas de aguaje y guanábana es limitada. Los estudios encontrados se enfocan más en otros aspectos como: “Cinética de degradación de vitamina C en pulpa de guanábana almacenada a diversas temperaturas y en distintos tipos de envases” (Maldonado Zuasnabar & Valverde Aliaga, 2022). Características fisicoquímicas y sensoriales de la pulpa de guanábana (Tapia Gómez & Zambrano Serna, 2024). “Efecto de tratamientos térmicos moderados sobre la inactivación de *Listeria monocytogenes* y calidad fisicoquímica en pulpa de guanábana” (Velasco-Hernández et al., 2020). “Cambios en parámetros de color, pH, sólidos solubles, ácido ascórbico, fenoles totales y capacidad antioxidante en pulpa de guanábana después de tratamientos con alta presión hidrostática” (Velasco Hernández, 2020). Pero no se encontraron estudios específicos que reporten de manera detallada las propiedades térmicas de estas pulpas mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC).

Al estudiar las propiedades térmicas de las pulpas de aguaje y guanábana mediante calorimetría de barrido diferencial (DSC) se centra en determinar cómo se comportan estas frutas ante cambios de temperatura, por lo que proporcionarán información crucial sobre sus transiciones de fase, como congelación y descongelación, así como sus capacidades caloríficas. Este análisis es esencial para optimizar los procesos

de conservación y almacenamiento, asegurando la calidad y estabilidad de los productos. La DSC permite identificar las temperaturas críticas y la energía asociada con las transiciones térmicas, lo cual es vital para diseñar procedimientos de congelación que minimicen el daño estructural y preserven las propiedades sensoriales y nutricionales de las pulpas de aguaje y guanábana.

Por estas razones, y considerando la gran biodiversidad de nuestra selva peruana y la escasa información científica de productos tropicales, se plantea determinar las propiedades térmicas como la temperatura de congelación ( $T_c$ ) y entalpía de congelación ( $\Delta H_c$ ) de las pulpas de guanábana (*Annona muricata*) y aguaje (*Mauritia flexuosa*). La obtención de esta información permitirá a la agroindustria desarrollar productos de pulpa de aguaje y guanábana de alta calidad con mayor vida útil y seguridad alimentaria; obteniendo características térmicas propias de frutos de nuestra selva peruana, es decir, disponer de datos exactos y concretos, lo cual permitirá además, efectuar cálculos y dimensionar equipos de secado, conservación, refrigeración y congelación con mayor precisión, ya que antes de conocer estas propiedades específicas durante la aplicación de los cálculos en ingeniería era frecuente utilizar datos muy generales, conllevando a obtener resultados también en forma generalizada y no específica.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Localización

Este trabajo investigativo se ejecutó en la Región San Martín, ubicada en la selva alta región Nor-oriente del Perú, lugar en el cual se adquirieron los frutos maduros (muestras) para la investigación; los ensayos de experiencias se realizaron en el Laboratorio de Investigación y Análisis y Composición de Productos Agroindustriales de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín.

### 2.2. Diseño de la investigación

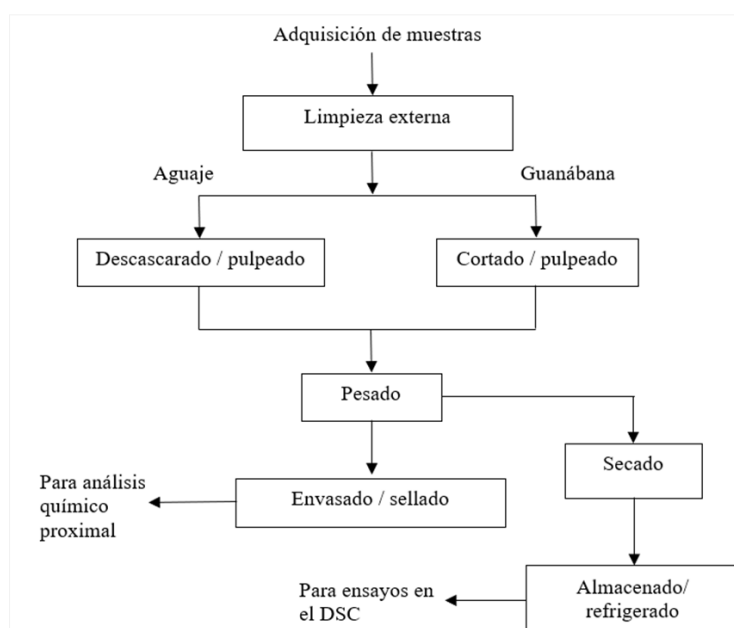
El diseño de experiencias se detalla en la Tabla 1, considerando como tratamientos los contenidos de humedad (%H1; %H2; %H3 y %H4) con tres repeticiones por cada tipo de pulpa y ensayo, totalizando 24 ensayos. Para cada ensayo, el calorímetro generó un termograma, y al ser analizados se pudo conocer las propiedades térmicas: Temperatura de congelación y entalpía de congelación.

**Tabla 1.** Esquema experimental del trabajo de investigación con tres repeticiones

| Pulpa en estudio | Tratamientos % humedad (B.H) | Ensayos: Repeticiones (r)             |                |                |
|------------------|------------------------------|---------------------------------------|----------------|----------------|
|                  |                              | Temperatura y entalpía de congelación |                |                |
|                  |                              | r1                                    | r2             | r3             |
| Guanábana        | 82                           | Z <sub>1</sub>                        | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> |
|                  | 70                           | Z <sub>1</sub>                        | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> |
|                  | 60                           | Z <sub>1</sub>                        | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> |
|                  | 50                           | Z <sub>1</sub>                        | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> |
| Aguaje           | 55                           | Z <sub>1</sub>                        | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> |
|                  | 40                           | Z <sub>1</sub>                        | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> |
|                  | 30                           | Z <sub>1</sub>                        | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> |
|                  | 20                           | Z <sub>1</sub>                        | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> |

### 2.3. Análisis químicos proximales

Para el desarrollo de los ensayos químicos proximales de las pulpas de guanábana y aguaje, se aplicaron previamente procedimientos de buenas prácticas de manipulación como limpieza, cortado, descascarado y luego el pulpeado (Figura 1). Las pulpas obtenidas para los análisis químicos proximales fueron almacenadas y empacadas en bolsas de polietileno con cierre tipo ziploc en presentaciones de 250 g. La pulpa de aguaje utilizado fue la del morfotipo “color”, mientras que las muestras de guanábana fueron del ecotipo “amarillo”.



**Figura 1.** Procedimientos para la obtención de pulpas de guanábana y aguaje

Los métodos utilizados para los ensayos proximales fueron: 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).

#### 2.4. Secado de las pulpas

Antes de realizar los ensayos en el calorímetro, se realizó la reducción de contenido de humedad de las pulpas en estudio mediante una estufa eléctrica a una temperatura de 60 °C; esto con la finalidad de poder trabajar con pulpas a diferentes contenidos de humedades. Las primeras humedades fueron tal como se obtuvieron en el pulpeado en fresco (82% y 55% respectivamente para guanábana y aguaje) y las demás humedades seleccionadas se describen en la Tabla 1.

#### 2.5. Aplicación de calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Para la cuantificación de las propiedades térmicas propuestas, las muestras fueron escaneadas en el calorímetro diferencial de barrido (Discovery 2500 de TA Instruments) a velocidades de calentamiento y enfriamiento de 5 y 10 °C/min y a diferentes intervalos de fusión y congelación. En la cámara interna del equipo, se utilizó como gas de purga un caudal constante de nitrógeno (N<sub>2</sub>) de 50 mL/min, que se mantuvo constante durante todas las pruebas. La línea base para todas las determinaciones se optimizó utilizando un crisol y/o zafiro de referencia vacío. Cada muestra, con un peso entre 15 y 25 mg, se colocó en un crisol de aluminio de 40 µL y posteriormente se sellaron de forma hermética, cada muestra se preparó por triplicado.

#### Determinación del punto de congelación y entalpía de congelación

En el DSC para las pulpas de guanábana se trabajó con intervalos de temperaturas 30 °C a -100 °C a una velocidad de 10 °C/min, se mantuvo el punto de congelación en equilibrio durante 5 minutos; luego se elevó la temperatura de -100 °C a 30 °C a razón de 10 °C/min; para las pulpas de aguaje se aplicó un cambio de temperatura en el intervalo de 40 °C a -80 °C con una velocidad de 10 °C/min, conservando en equilibrio en la temperatura de congelación por 5 minutos; luego se procedió a calentar de -80 °C hasta 40 °C con una velocidad de 10 °C/min. La temperatura de cristalización (T<sub>f</sub>) se considera como el punto en el cual una sustancia se solidifica (cristaliza) completamente; sin embargo, el punto de congelación fue establecido por la cúspide de temperatura en la endoterma de fusión durante el calentamiento, ya que Mendoza Cuéllar

(2017) indica que “se requiere un mayor gasto energético para alcanzar el estado cristalino que el estado fundido”.

### 3. RESULTADOS y DISCUSIÓN

#### 3.1. Composición proximal de las pulpas de guanábana y aguaje

Las muestras de pulpas frescas de guanábana (*Annona muricata*) y aguaje (*Mauritia flexuosa*), presentan las composiciones proximales detalladas en la Tabla 2. La pulpa fresca de guanábana dio como resultado un contenido de humedad promedio de 82,08% (Base húmeda). Este resultado es comparable con los obtenidos por Armijo Zambrano (2020) y Paitan et al. (2022) quienes reportaron valores de humedad de 82,8% y 80,4% respectivamente. Con respecto al contenido de proteína encontrado en la pulpa de guanábana indicó 0,84%; valor muy cercano al descrito por Paitan et al. (2022) con 0,90%; sin embargo, otros estudios realizados por Barreto (2013) y Fernández-Condori & Ramos-Escudero (2021) indican 1,13% y 1,0% para proteína respectivamente.

**Tabla 2.** Composición proximal de pulpas de guanábana y aguaje (base húmeda)

| Análisis                | Guanábana    | Aguaje       |
|-------------------------|--------------|--------------|
| Humedad (g/100 g)       | 82,08 ± 0,05 | 55,04 ± 0,35 |
| Proteína (g/100 g)      | 0,84 ± 0,05  | 2,45 ± 0,03  |
| Materia grasa (g/100 g) | 0,21 ± 0,02  | 24,09 ± 0,04 |
| Carbohidratos (g/100 g) | 16,23 ± 0,01 | 17,60 ± 0,32 |
| Cenizas (g/100)         | 0,65 ± 0,03  | 0,82 ± 0,03  |

Nota: Los valores representan el promedio ± Desviación estándar; n=3

Para el componente de materia grasa, la cantidad encontrada en la pulpa fresca de la guanábana reportó 0,21%; el cual es muy similar a lo descrito por Reyes García et al. (2017) con 0,20%. Por su parte Armijo Zambrano (2020) y Fernández-Condori & Ramos-Escudero (2021) encontraron que la pulpa de la guanábana posee 0,97% y 0,60% de grasa total respectivamente.

Según los resultados publicados por Barreto (2013), la cantidad de carbohidratos de la pulpa de guanábana mostró 15,45%, valor cercano al obtenido en la presente investigación (16,23%), sin embargo, Reyes García et al. (2017) y Armijo Zambrano (2020) reportan valores de 14,3% y 14,63% de contenido de hidratos de carbono.

Para la pulpa fresca de aguaje, la cantidad promedio de agua fue de 55,04%; el cual es similar a los valores reportados por Sotero et al. (2013) y Restrepo et al. (2018) quienes obtuvieron 53,85% y 54% de humedad respectivamente. Sin embargo, Huertas Flores (2022) reportó 72,10% de humedad para la pulpa de aguaje de morfotipo “color”. Puede considerarse estándar para frutos oleaginosos los valores de contenido de agua entre 52 y 84% (NEPA, 2023). El valor de la proteína encontrada en este estudio para la pulpa fresca de aguaje fue de 2,45%, el cual es comparable con valores de 2,10% y 2,30% reportados por Sotero et al. (2013) y Restrepo et al. (2018) respectivamente.

Según los resultados de sus investigaciones, Huertas Flores (2022); Sotero et al. (2013) y Restrepo et al. (2018), la materia grasa presente en la pulpa de aguaje representó el 12,93%; 34,47% y 28,09% respectivamente, los cuales difieren del resultado encontrado en el presente trabajo (24,09%); debido a que se utilizó el morfotipo “color”.

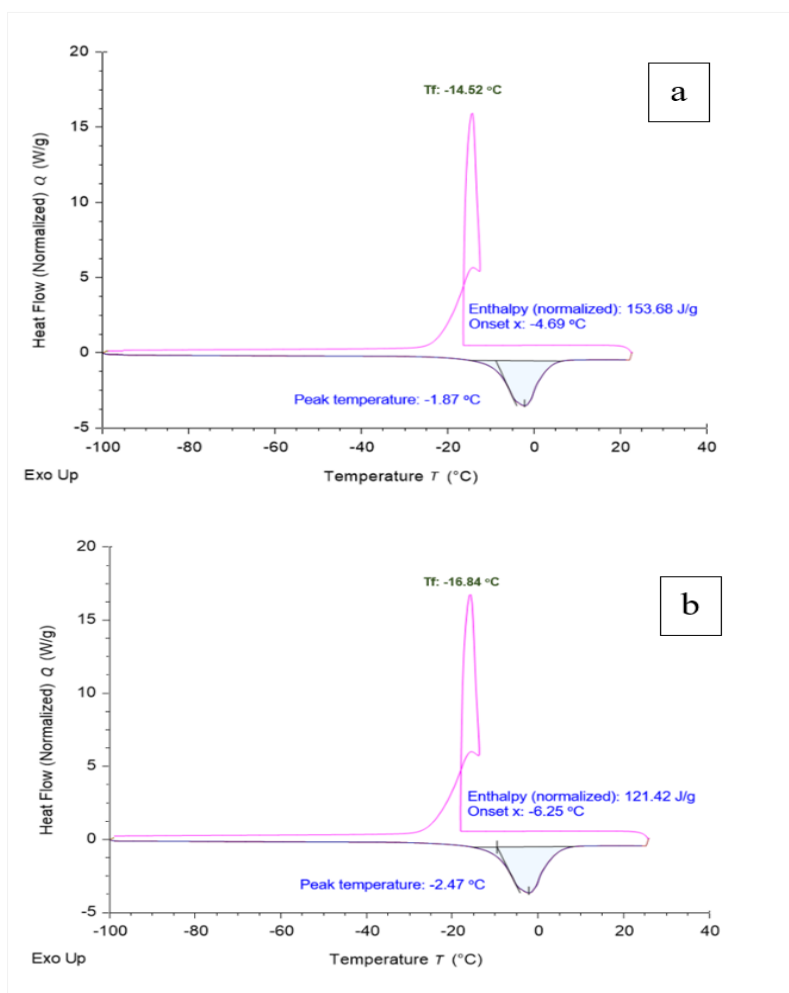
El valor de la ceniza, que representan los minerales totales, tuvo una cantidad promedio de 0,82%, valor por debajo de los encontrados por Vásquez et al. (2009) y Díaz Mamani (2018) con 2,05 g/100 g y 3,11 g/100 g respectivamente debido a los diferentes morfotipos que utilizaron. Estos elementos desempeñan roles importantes para el adecuado funcionamiento del organismo en el ser humano (Ramos-Escudero et al., 2022).

## 3.2. Propiedades térmicas de las pulpas de guanábana y aguaje

### 3.2.1. Temperaturas y entalpías de congelación de pulpas de guanábana

En las Figuras 2 y 3 se representan los termogramas de las temperaturas de congelación ( $T_c$ ), así como las entalpías de congelación ( $\Delta H_c$ ) de las pulpas de guanábana con contenidos de humedades de 82%; 70%; 60% y 50% respectivamente. Es estos termogramas también es posible la observación (al igual que en la congelación del aguaje) que durante el proceso de enfriamiento (curva rosada) sobreviene un incidente exotérmico de cristalización del agua, el cual es caracterizado por la temperatura de cristalización ( $T_f$ ); el cual como ya se mencionó, Mendoza Cuéllar (2017) sostiene que, “el inicio del proceso de cristalización ocasiona un incremento de la temperatura inducida por el calor latente eliminado para la cristalización del agua hasta conseguir su correspondiente punto de cristalización”.

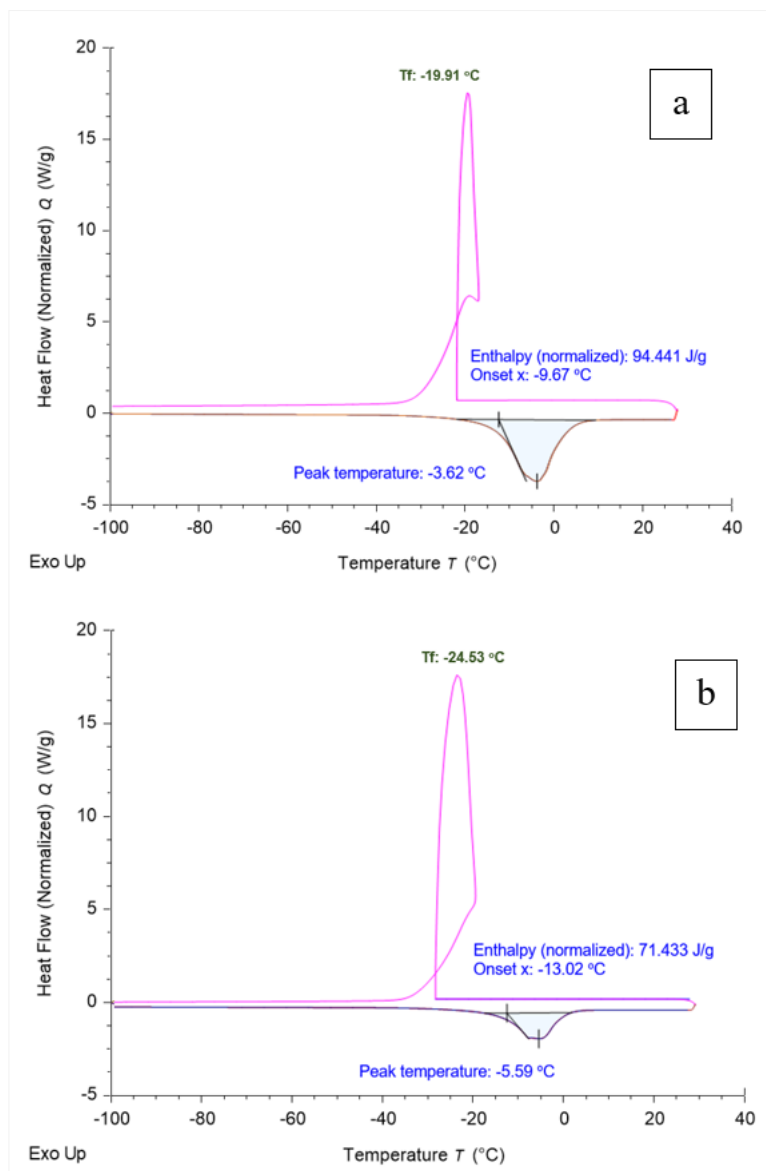
Las muestras de pulpas de guanábana durante el calentamiento de  $-100\text{ °C}$  a  $30\text{ °C}$  (curva color guinda), exhiben un pico endotérmico bien específico, que está representado por la temperatura de fusión ( $T_m$ ). Entonces, la temperatura máxima que corresponde al incidente endotérmico de fusión se considera en esta investigación como la temperatura de congelación ( $T_c$ ) o “peak temperature”.



**Figura 2.** Temperaturas y entalpías de congelación de pulpas de guanábana: a) 82% de humedad; b) 70% de humedad

De manera muy amplia, puede sostenerse que los valores de las temperaturas de cristalización ( $T_f$ ) son menores que las temperaturas del punto de congelación ( $T_c$ ), con lo cual se revalida que se necesitan un mayor gasto energético para alcanzar el estado cristalizado en comparación con el estado fundido en los alimentos.

Los valores promedios que se adquirieron para la temperatura de congelación ( $T_c$ ) y entalpía de congelación ( $\Delta H_c$ ) en pulpas de guanábana con 82% de humedad fueron  $-1,87\text{ }^\circ\text{C}$  y  $153,34\text{ J/g}$  respectivamente (Figura 2a). Mientras que para la pulpa de guanábana con 70% de humedad, la temperatura de congelación que se obtuvo fue de  $-2,47\text{ }^\circ\text{C}$  y la su entalpía de congelación de  $121,42\text{ J/g}$  (Figura 2b).



**Figura 3.** Temperaturas y entalpías de congelación de pulpas de guanábana: a) 60% de humedad; b) 50% de humedad

En cuanto a las pulpas de guanábana con contenidos de humedad de 60% y 50%, se reportaron temperaturas de congelación de  $-3,62\text{ }^\circ\text{C}$  y  $-5,59\text{ }^\circ\text{C}$  respectivamente, mientras que sus respectivas entalpías de congelación encontradas fueron de  $94,441\text{ J/g}$  y  $71,433\text{ J/g}$  (Figuras 3a y 3b). Valores similares a los reportados por The Engineering ToolBox (2019) para la chirimoya (*Annona x atemoya*) y lúcuma (*Pouteria lúcuma*) con  $-3,12\text{ }^\circ\text{C}$  y  $-5,13\text{ }^\circ\text{C}$  respectivamente.

De los termogramas que se detallan en las figuras anteriores (Figuras 2 y 3), se obtienen valores que se muestran en la Tabla 3, en la cual se incluyen, además, las temperaturas promedio de inicio ( $T_i$ ) del proceso de fusión para cada muestra de pulpa de guanábana a diferentes contenidos de humedades.

**Tabla 3.** Temperaturas y entalpías de congelación de pulpa de guanábana (*Annona muricata*) con diferentes contenidos de humedades

| % Humedad (B.H.) | Tc (°C)       | Ti (°C)        | ΔHc congelación (J/g) |
|------------------|---------------|----------------|-----------------------|
| 82%              | -1,87a ± 0,09 | -4,69a ± 0,48  | 153,68a ± 2,64        |
| 70%              | -2,47a ± 0,04 | -6,25b ± 0,12  | 121,42b ± 1,05        |
| 60%              | -3,62b ± 0,18 | -9,67c ± 0,20  | 94,441c ± 1,14        |
| 50%              | -5,59c ± 0,55 | -13,02d ± 0,62 | 71,433d ± 1,12        |

Los valores constituyen el promedio ± Desviación estándar; n=3 .

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

Puede observarse que a medida que las cantidades de agua contenidas en las pulpas de guanábana son menores, el punto de congelación (Tc) de las mismas también decrece, esto se debe a que la cantidad de sólidos aumenta porcentualmente en la composición de las pulpas al extraerles parte del agua. En cuanto a las entalpías de congelación determinadas en las pulpas de guanábana, se verificaron que cuanto menor es la cantidad de agua presentes en cada pulpa, será menor el valor de la entalpía de congelación, ya que este valor también es proporcional a la cantidad de agua que contiene el alimento.

Así, comprendemos cómo el valor de la entalpía (ΔHc) va teniendo valores diferentes, es decir que la cantidad de energía utilizada en el proceso de congelación es menor a medida que el contenido de humedad también decrece. Ahumada et al. (2017) sostiene que “la entalpía necesaria para que ocurra un cambio de fase varía de acuerdo con el contenido de humedad en una sustancia; ya que al poseer mayor contenido de agua en su interior y para congelar y/o fusionar, éstos requerirán mayor energía”. También Valencia Quinteros (2018) indica que “cuanto mayor es el contenido de agua, mayor es la energía necesaria para realizar un cambio de estado en una sustancia”.

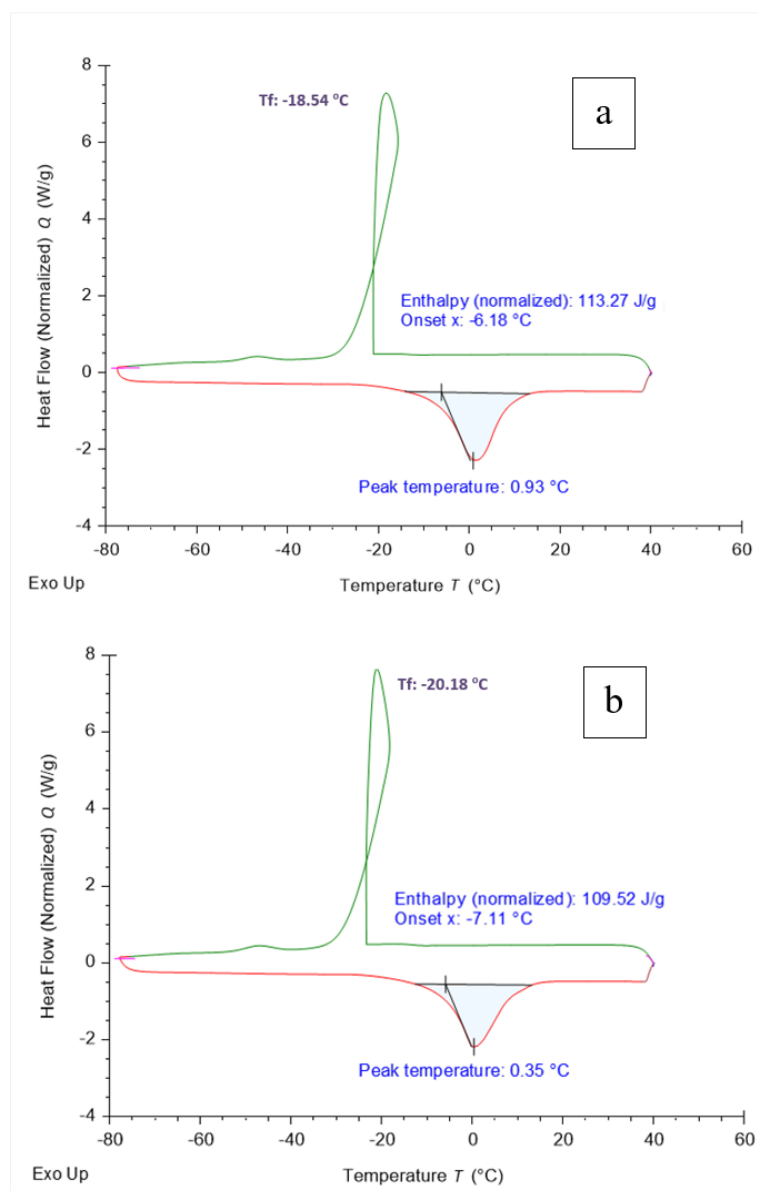
Los datos de temperaturas de congelación son comparables a otros frutos como los estudios realizados por Reno et al. (2011) en pulpas fresca de guayaba (*Psidium guajava* L.) con 85,6% de humedad, determinaron -2,09 °C como punto de congelación. En pulpa de carambola (*Averrhoa carambola* L.), deshidratado osmóticamente, Grajales-Agudelo et al. (2011) reportaron una temperatura de congelación de -5,05 °C.

Al ser analizados los datos de manera estadística mediante análisis de varianza (ANOVA), para los puntos de congelación (Tc) en pulpas de guanábana con 82% y 70% de humedad, indica que no existen contrastes estadísticamente significativos con un 95% de confianza (p>0,05), pero para los casos de las pulpas con 60% y 50% de humedad, se obtiene un 95% de confianza de que si existen contrastes significativos (p<0,05). De acuerdo con los análisis de varianza y con sometimiento a la prueba de Tukey para las entalpías de congelación (ΔHc) (Tabla 3) efectuados a los tratamientos, se precisó la existencia de diferencia significativa (p<0,05) para las pulpas de guanábana con contenidos de humedades del 82%; 70%; 60% y 50%.

### 3.2.2. Temperaturas y entalpías de congelación de la pulpa de aguaje

Las temperaturas de congelación (Tc), así como las entalpías de congelación (ΔHc) de las pulpas de aguaje con contenidos de humedad de 55%; 40%; 30% y 20%, se muestran en las Figuras 4 y 5. Pueden observarse en los termogramas que durante el proceso de enfriamiento (curva color verde) ocurre un evento exotérmico de cristalización del agua, representado por la temperatura de cristalización (Tf). Mendoza Cuéllar (2017) hace mención en su investigación que, “el inicio de la cristalización produce un aumento de la temperatura provocada por el calor latente eliminado para la cristalización del agua hasta alcanzar su correspondiente punto de cristalización”.

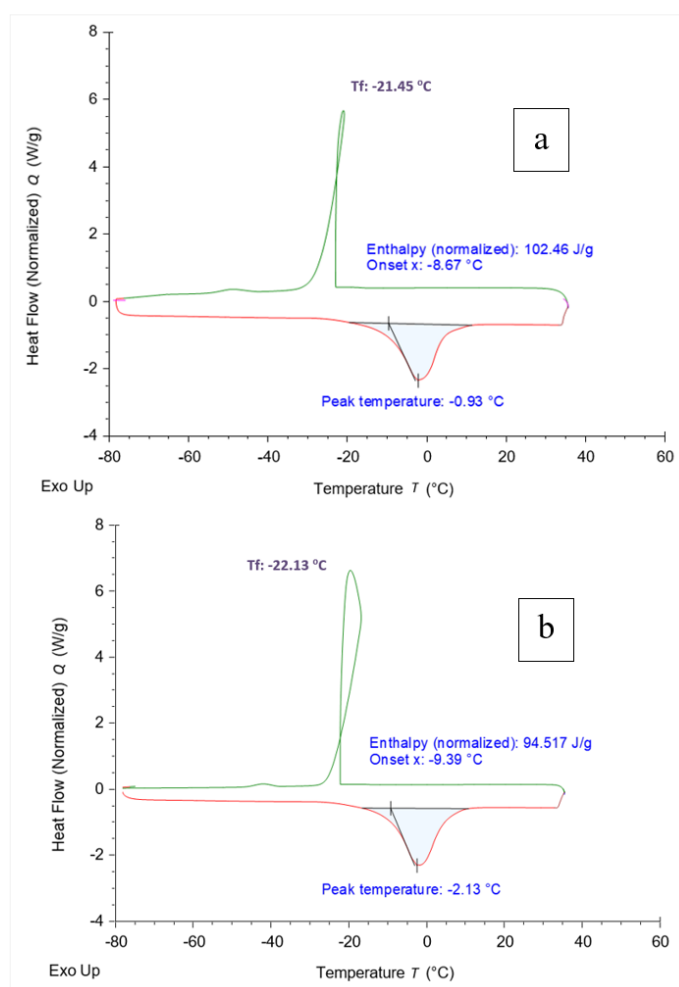




**Figura 4.** Temperaturas y entalpías de congelación de pulpas de aguaje: a) 55% de humedad; b) 40% de humedad

En el proceso de calentamiento de  $-80\text{ °C}$  a  $40\text{ °C}$  (curva color rojo), las muestras presentaron un pico endotérmico bien preciso, éste último representado por la temperatura de fusión ( $T_m$ ). Por lo tanto, la temperatura máxima que corresponde a la endoterma de fusión se considera en esta investigación como la temperatura de congelación ( $T_c$ ) o “peak temperature”. En términos generales, se puede indicar que los niveles de  $T_f$  son menores que los niveles de  $T_m$ , lo que confirma que se necesitan un mayor consumo energético para lograr el estado cristalizado en comparación con el estado fundido.

Los valores promedios que se alcanzaron para la temperatura de congelación ( $T_c$ ) y entalpía de congelación ( $\Delta H_c$ ) en pulpas de aguaje al 55% de humedad fueron  $0,93\text{ °C}$  y  $113,27\text{ J/g}$  respectivamente (Figura 4a). Mientras que para la pulpa de aguaje al 40% de humedad, la temperatura de congelación fue de  $0,35\text{ °C}$  y la entalpía de congelación de  $109,52\text{ J/g}$  (Figura 4b).



**Figura 5.** Temperaturas y entalpías de congelación de pulpas de aguaje: a) 30% de humedad; b) 20% de humedad

En lo referente a las pulpas de aguaje con contenidos de humedad de 30% y 20%, se encontraron temperaturas de congelación de -0,93 °C y -2,13 °C respectivamente, mientras que las entalpías de congelación ( $\Delta H_c$ ) obtenidas fueron de 102,46 J/g y 94,517 J/g respectivamente.

Los valores que se obtuvieron en los termogramas de las figuras anteriores (Figuras 4 y 5), se detallan en la Tabla 4, en la cual se incluyen la temperatura de congelación ( $T_c$ ) (Peak temperature), además, las temperaturas de inicio ( $T_i$ ) (Onset) del proceso de fusión y la entalpía de congelación (Enthalpy) ( $\Delta H_c$ ) para cada muestra de pulpa de aguaje a diferentes contenidos de humedades.

**Tabla 4.** Temperaturas y entalpías de congelación de pulpa de aguaje (*Mauritia flexuosa*) a diferentes contenidos de humedades

| % Humedad (B.H.) | $T_c$ (°C)                | $T_i$ (°C)                | $\Delta H_c$ congelación (J/g) |
|------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| 55%              | 0,93 <sup>a</sup> ± 0,03  | -6,18 <sup>a</sup> ± 0,03 | 113,27 <sup>a</sup> ± 0,84     |
| 40%              | 0,35 <sup>b</sup> ± 0,02  | -7,11 <sup>a</sup> ± 0,68 | 109,52 <sup>b</sup> ± 1,24     |
| 30%              | -0,93 <sup>c</sup> ± 0,06 | -8,67 <sup>b</sup> ± 0,25 | 102,46 <sup>c</sup> ± 2,27     |
| 20%              | -2,13 <sup>d</sup> ± 0,11 | -9,39 <sup>b</sup> ± 0,46 | 94,517 <sup>d</sup> ± 0,68     |

Los valores constituyen el promedio ± Desviación estándar; n=3

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

Puede observarse tanto en la Tabla 4 que los valores de las temperaturas de congelación ( $T_c$ ) y entalpías de congelación ( $\Delta H_c$ ) disminuyen al mismo tiempo que los contenidos de humedades decrecen en las pulpas de aguaje. Estos puntos de congelación van desde 0,93 °C hasta -2,13 °C; sin embargo, notamos que las pulpas de aguaje con contenidos de humedad de 55% y 40%, se congelan antes de llegar a 0 °C; esto se debe a que, según Ramos-Escudero et al. (2022) indican que la pulpa de aguaje contiene una alta

concentración de ácidos grasos insaturados como el ácido oleico (C18:1  $\omega$ 9), palmítico (C16:0) quienes representan el 75% y 18% en promedio del total del rendimiento de aceite respectivamente. Esta composición influye entonces en el valor de la temperatura de congelación de la pulpa de aguaje, ya que el ácido oleico se congela a 5,5 °C y el ácido palmítico a 18 °C comienza a solidificarse.

La table 4 muestra además que los valores de las entalpías ( $\Delta H_c$ ) también se ven influenciadas por la cantidad de agua que contienen las pulpas durante en el proceso de congelación, es decir que la cantidad de energía que se utilizó en este proceso de cambio de fase fue menor a medida que el contenido de agua también disminuyó. Valencia Quinteros (2018) indica que cuanto mayor es el contenido de agua, mayor es la energía necesaria para realizar un cambio de estado en una sustancia.

Considerando el análisis estadístico y la prueba de Tukey para la temperatura de congelación ( $T_c$ ), se tiene un 95% de confianza de que si hay diferencias significativas entre todas las muestras de pulpas de aguaje en diferentes contenidos de humedad. Lo mismo sucedió para el caso de la entalpía de congelación ( $\Delta H_c$ ) donde también hubo un 95% de confianza de que existen diferencias estadísticas significativas entre todas las muestras de pulpas de aguaje con cantidades de agua diferentes.

### 3.3. Incidencia del contenido de humedad en las pulpas de guanábana y aguaje en la cuantificación de sus propiedades térmicas

En la Tabla 5 se presentan las correlaciones entre los contenidos de humedades de las pulpas de guanábana y aguaje frente a los valores de las propiedades térmicas (Temperatura de congelación y entalpía de congelación) encontradas en las mencionadas pulpas. Se puede observar que los coeficientes ( $r$ ) de Pearson tienen valores mayores a +0,95; lo cual indica que las correlaciones obtenidas tienen significancia estadística lineal positiva muy fuerte (cercanas al valor de +1).

**Tabla 5.** Correlaciones de Pearson (porcentajes de humedad de pulpas de guanábana y aguaje frente a propiedades térmicas)

| Variables             | Propiedades térmicas            |                               |
|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------|
|                       | Temperatura de congelación (°C) | Entalpía de congelación (J/g) |
| % Humedad (guanábana) | 0,9594                          | 0,9993                        |
| % Humedad (aguaje)    | 0,9672                          | 0,9672                        |

Al analizar las correlaciones aplicando el estadístico paramétrico de Pearson con normalidad bivariada (contenido de humedad y propiedades térmicas), los valores de ( $r$ ) de Pearson obtenidas en la Tabla 5, nos indican que existe una relación directa positiva muy fuertes: Las temperaturas de congelación ( $T_c$ ) y las entalpías de congelación ( $\Delta H_c$ ) son mayores al incrementarse la cantidad de humedad en las pulpas y viceversa. Lo cual indica que, para congelar una pulpa con menor contenido de humedad (es decir, que la concentración de sólidos es mayor) será necesario una temperatura menor, inclusive por debajo de los 0 °C.

## CONCLUSIONES

La pulpa fresca de guanábana (*Annona muricata*) en la caracterización química proximal (en base húmeda) reportó 82,08% de humedad, 0,84% de proteína, 0,21% de grasa, 16,23% de carbohidratos y 0,65% de cenizas, mientras que la pulpa de aguaje (*Mauritia flexuosa*) presentó 55,04% de humedad, 2,45% de proteína, 24,09% de grasa, 17,60% de carbohidratos, y 0,82% de cenizas.

Los valores promedios de temperatura de congelación para pulpas de guanábana con contenidos de humedades entre el 82% y 50% (base húmeda) obtenidas fueron desde -1,87 °C  $\pm$  0,096 hasta -5,59 °C  $\pm$  0,552; además, las entalpías de congelación encontrados fueron desde 153,68 J/g  $\pm$  2,641 hasta 71,433 J/g  $\pm$  1,118. Además, los valores promedios de temperaturas de congelación para pulpas de aguaje con

contenidos de humedades entre el 55% y 20% (base húmeda) fueron desde  $0,93\text{ °C} \pm 0,026$  hasta  $-2,13\text{ °C} \pm 0,111$ ; además, las entalpías de congelación encontradas fueron desde  $113,27\text{ J/g} \pm 0,835$  hasta  $94,517\text{ J/g} \pm 0,682$ .

La prueba de Pearson nos indicó incidencia del contenido de humedad sobre la cuantificación de las propiedades térmicas, manifestando que existe una relación directa positiva muy fuerte entre los valores de los contenidos de humedades de las pulpas de guanábana y aguaje con los valores encontrados de temperaturas de congelación y entalpías de congelación, concluyendo que la cantidad de humedad posee efecto significativo en las cuantificaciones de las propiedades térmicas analizadas: a mayor contenido de humedad, mayor serán las temperaturas y entalpías de congelación.

## FINANCIAMIENTO

El estudio-artículo recibió financiamiento del Instituto de Investigación y Desarrollo de la Universidad Nacional de San Martín mediante Resolución N° 359-2021-UNSM/CU-R.

## CONFLICTO DE INTERESES

No existe ningún tipo de conflicto de interés relacionado con la materia del trabajo.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: Navarro-Ramírez, E.

Curación de datos: Lazo-Arévalo, R.

Análisis formal: Dávila-Trujillo, R.

Adquisición de fondos: Navarro-Ramírez, E.

Investigación: Lazo-Arévalo, R. y Navarro-Ramírez, E.

Metodología: Navarro-Ramírez, E., Dávila-Trujillo, R. y Lazo-Arévalo, R.

Administración del proyecto: Lazo-Arévalo, R.

Recursos: Navarro-Ramírez, E. y Lazo-Arévalo, R.

Supervisión: Lazo-Arévalo, R.

Validación: Dávila-Trujillo, R.

Visualización: Navarro-Ramírez, E.

Redacción - borrador original: Navarro-Ramírez, E. y Lazo-Arévalo, R.

Redacción - revisión y edición: Navarro-Ramírez, E. y Lazo-Arévalo, R.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahumada, L. M., Audivet, C. P., Bula, A. J., & Sanjuan, M. E. (2017). Comparación entre Soluciones Numéricas de un Modelo Matemático de Combustión Teórica y Variación de la Conductividad del Cuesco de Palma en un Reactor de Lecho Fijo. *Información tecnológica*, 28(3), 171-184. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000300018>

AOAC. (2019). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists: Official Methods of Analysis of AOAC International* (21.ª ed.). Association of Analytical Communities.

Armijo Zambrano, G. E. (2020). *Determinación de la vida útil de la pulpa de guanábana (Annona muricata), conservada con jengibre (Zingiber officinale) como agente antimicrobiano*. [Universidad Estatal Amazónica]. <https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/867>

Barreto, J. A. (2013). *Determinación de la difusividad térmica en pulpa de guanábana (Annona muricata), en función a la temperatura* [Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/abaaa52c-f7a5-4290-9ff0-b87ba70ecfa9/content>

- Cruz Cuello, A. (2020). *Determinación de propiedades térmicas para la congelación de la pulpa de carambola (Averrhoa carambola L) producido en la provincia de Tambopata, Departamento de Madre de Dios* [Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios]. <http://hdl.handle.net/20.500.14070/625>
- Díaz Mamani, R. (2018). *Evaluación de compuestos bioactivos en pulpa atomizada y pulpa congelada de Mauritiella aculeata (Kunth) Burret "aguaje"* [Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/9413>
- Fernández-Condori, R., & Ramos-Escudero, F. (2021). Efecto de la ingesta de frutas nativas como guanábana, sachatomate, aguaymanto y tumbo serrano sobre la glicemia a través del índice glicémico Effect Of The Intake Of Native Fruits Such As Soursop, Sachatomate, Goldenberry And Tumbo Serrano On Glycemia Th. *Revista Española de Nutrición Comunitaria*, 27(2), 131-137.
- Grajales-Agudelo, L. M., Cardona Perdomo, W. A., & Orrego-Alzate, C. E. (2011). Liofilización de la Carambola (Averrhoa carambola L.) Osmodeshidratada. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, 7(2), 19-26. <https://doi.org/10.25100/iyc.v7i2.2514>
- 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>
- Huertas Flores, E. E. (2022). *Efecto de la liofilización en el secado, características físicas y rehidratación de la pulpa de tres morfotipos de aguaje (Mauritia flexuosa L.f.)*. Universidad Nacional de San Martín.
- Maldonado Zuasnarbar, Y. J., & Valverde Aliaga, A. G. (2022). *Cinética de degradación de vitamina C en pulpa de guanábana (Annona muricata), en diferentes tipos de empaques, en refrigeración y congelación* [Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2874>
- 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]. <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/6115>
- NEPA. (2023). Tabela Brasileira de Composição de Alimentos. En *Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação* (4.ª ed.). <https://nepa.unicamp.br/tabela-brasileira-de-composicao-de-alimentos-4a-edicao/>
- Paitan, E., Marmolejo, D., Marmolejo, K., Sotelo, A., & Cueva, M. (2022). Caracterización de la composición físico química de pulpas de tres ecotipos de guanábana (Annona muricata L.) y obtención de néctar con lactosuero. *Tecnología Química*, 42(3), 453-473. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852022000300453&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852022000300453&script=sci_arttext&tlng=pt)
- Ramos-Escudero, F., Gómez-Coca, R. B., Muñoz, A. M., Fuente-Carmelino, L. D. La, & Pérez-Camino, M. del C. (2022). Oil From Three Aguaje Morphotypes (Mauritia flexuosa L.f.) Extracted by Supercritical Fluid With CO<sub>2</sub>: Chemical Composition and Chromatic Properties. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.843772>
- Reno, M. J., Resende, J. V., Peres, A. P., Giarolla, T. M. O., & Prado, M. E. T. (2011). Heat transfer and energy consumption in the freezing of guava pulp in large containers. *Applied Thermal Engineering*, 31(4), 545-555. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.10.015>
- Restrepo, J., Arias, N., & Madriñán, C. (2018). Determinación del valor nutricional, perfil de ácidos grasos y capacidad antioxidante de la pulpa de Aguaje(Mauritia Flexuosa). *Revista de Ciencias*, 20(1), 8. <https://doi.org/10.25100/rc.v20i1.6109>
- Reyes García, M., Gómez-Sanchez Prieto, I., & Espinoza Barrientos, C. (2017). *Tablas peruanas de composición de alimentos* (10.ª ed.).
- Sotero, V. and antioxidant activity of freeze-dried flour of three morphotypes of aguaje (Mauritia flexuosa L. f. , Luján, M., Freitas, L., Merino, C., & Dávila, É. (2013). Stability And Antioxidant Activity Of Freeze-Dried Flour Of Three Morphotypes Of Aguaje (Mauritia flexuosa L. f.). *Rev Soc Quím Perú*, 79(2), 136-142. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=371937631006>

- Tapia Gómez, Y., & Zambrano Serna, W. C. (2024). *Evaluación de las características fisicoquímicas y del procesamiento de obtención de pulpas de guanábana (annona muricata l.) comercializadas en el distrito de Barranquilla* [Universidad del Atlántico]. <https://hdl.handle.net/20.500.12834/1843>
- Valencia Quinteros, L. J. (2018). *Determinación de propiedades termofísicas del fruto de maqui (aristotelia chilensis (molina) stuntz) deshidratado por diferentes métodos* [Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/173647>
- Vásquez, P., Sotero, V., Del Castillo, D., Freitas, L., & Maco, M. (2009). «Diferenciación Química De Tres Morfotipos De L. F. De La Amazonía Peruana». *Rev Soc Quím Perú*, 75(3), 320-328. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v75n3/a07v75n3.pdf>
- Velasco-Hernández, A., Saucedo-Veloz, C., Ramírez-Guzmán, M. E., Chávez-Franco, S. H., Valle-Guadarrama, S., & Saucedo-Reyes, D. (2020). Effect of moderate thermal treatments on the inactivation of a strain of *Listeria monocytogenes* and physicochemical properties of soursop pulp. *Food Science and Technology International*, 26(6), 535-548. <https://doi.org/10.1177/1082013220913357>
- Velasco Hernández, A. (2020). *Evaluación de tratamientos térmicos moderados y altas presiones hidrostáticas sobre la seguridad microbiológica y calidad de pulpa de guanábana (Annona muricata L.)*. [Universidad Autónoma Chapingo]. <http://hdl.handle.net/10521/4287>