

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS



VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUIMICAS, REOLÓGICAS Y
TERMOFÍSICAS DE LA PULPA DE *Mangifera indica* (MANGO) A DIFERENTE
CONCENTRACIÓN DE AZUCAR ALMACENADA EN CONGELACIÓN

Tesis

Para optar el Título de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por:

AZALDE RAMIREZ GLENN JOSHUA

Tingo María – Perú

2025



"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 003-2025

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en acto público el 16 de mayo del 2025, a horas 4:00 p.m., en la Sala de Grados de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en la ciudad de Tingo María, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, para calificar la tesis presentada por el Bach. **GLENN JOSHUA AZALDE RAMIREZ**, titulada:


"VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUIMICAS, REOLÓGICAS Y TERMOFÍSICAS DE LA PULPA DE *Mangifera indica* (MANGO) A DIFERENTE CONCENTRACIÓN DE AZUCAR ALMACENADA EN CONGELACIÓN"


Después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran **APROBADO**..... con el calificativo de **MUY BUENO**.....; en consecuencia, el sustentante, queda **APTO** para obtener el título de **Ingeniero en Industrias Alimentarias**, de conformidad con el artículo 45° numeral 45.2, de la Ley Universitaria 30220; los artículos 132 inciso "k" y 135 inciso "f" del Estatuto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tingo María, 16 de mayo del 2025


Dr Alfredo Abelardo Carmona Ruiz
Presidente


Dra. Yofanda Jesus Ramirez Trujillo
Miembro


Dr. Jaime Eduardo Basilio Atencio
Miembro


Dr. Williams Vicente Roldán Carbajal
Asesor


M.Sc. Hans Joan Tafur Pereda
Asesor



UNAS

VICERRECTORADO DE
INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE
INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE SOPORTE
CIENTÍFICO
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 347 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería en Industrias Alimentarias

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS, REOLÓGICAS Y TERMOFÍSICAS DE LA PULPA DE <i>Mangifera indica</i> (MANGO) A DIFERENTE CONCENTRACIÓN DE AZÚCAR ALMACENADA EN CONGELACIÓN	AZALDE RAMIREZ GLENN JOSHUA	09 % Nueve	Menor a 20 %

Tingo María, 31 de octubre de 2025.

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO

ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS



**VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, REOLÓGICAS Y
TERMOFÍSICAS DE LA PULPA DE *Mangifera indica* (MANGO) A DIFERENTE
CONCENTRACIÓN DE AZÚCAR ALMACENADA EN CONGELACIÓN**

Autor	:	Glenn Joshua Azalde Ramírez
Asesor (es)	:	Dr. Williams Vicente Roldan Carbajal M.Sc. Hans Joan Tafur Pereda
Área de Investigación	:	Ciencias de Alimentos
Grupo de investigación	:	Ingeniería de Alimentos - IA
Línea de investigación	:	Ingeniería de Alimentos
Lugar de ejecución	:	UNAS
Duración	:	Abril 2023 – mayo 2024
Financiamiento	:	S/. 4925,00

Tingo María – Perú, 2025

DEDICATORIA

A mis padres Carmela Ramirez y Fredson Azalde, por su apoyo incondicional, quienes depositaron su confianza en mi formación académica. Por creer en mí y ayudarme a alcanzar este logro con su inquebrantable apoyo, amor y sacrificio.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por guiarme siempre en el camino correcto, darme energías y fuerzas para cumplir las metas de culminar mis estudios y terminar este trabajo.

Agradezco a mi alma mater Universidad Nacional Agraria de la Selva, por permitirme formar parte de la familia unasina, por las enseñanzas y por los momentos compartidos que llevaré siempre en mi corazón.

Agradezco mis asesores: Dr. Willams Vicente Roldan Carbajal y M.Sc. Hans Joan Tafur Pereda, por la confianza, paciencia, consejos y dedicación.

Agradezco a mis tíos: Genner Roberto Ramirez Villon y Richar Sias Rodriguez, quienes siempre estuvieron presente influyendo positivamente en mi trayectoria académica.

Agradezco a mis primos: Genner José Ramirez Celis y Jeremyn Enso Ramirez Celis, por motivarme en cada momento para lograr el objetivo.

Agradezco al Ing. Benjamin Alfredo Carrillo Arvildo y compañeros de trabajo, por brindarme las facilidades para el desarrollo de la tesis.

Finalmente, agradezco a mis familiares, compañeros y amigos, quienes, de una forma u otra, influyeron positivamente en mi trayectoria académica.

ÍNDICE

	Pag.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1. Antecedentes	2
2.2. <i>Mangifera indica</i> (Mango).....	4
2.2.1. Generalidades.....	4
2.2.2. Composición fisicoquímica	5
2.2. Congelación de alimentos	5
2.3. Propiedades fisicoquímicas.....	6
2.4. Propiedades termofísicas.....	6
2.4.1. Conductividad térmica	7
2.4.2. Difusividad térmica.....	7
2.4. Caracterización reológica de la pulpa de mango	7
III. MATERIALES Y MÉTODOS	10
3.1. Lugar de ejecución.....	10
3.2. Materia prima.....	10
3.3. Metodología experimental	10
3.3.1. Obtención de la pulpa y rendimiento	10
3.3.2. Caracterización fisicoquímica de la pulpa de mango en el almacenamiento.....	11
3.3.3. Determinación de parámetros reológicos de la pulpa de mango	11
3.3.4. Determinación de propiedades termofísicas de la pulpa de mango	13
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
4.1. Rendimiento de la pulpa de mango.....	15
4.2. Características fisicoquímicas de la pulpa de mango en el almacenamiento.....	15
4.2.1. pH.....	15
4.2.2. Acidez titulable	16
4.2.3. Sólidos solubles totales (SST).....	18
4.3. Características reológicas de la pulpa de mango en el almacenamiento.....	19
4.3.1. Índice de consistencia (k).....	20
4.3.2. Índice de flujo (n).....	21
4.3.3. Umbral de fluencia.....	22
4.4. Propiedades termofísicas de la pulpa de mango en el almacenamiento	22

4.4.1. Calor específico.....	22
4.4.2. Difusividad térmica.....	25
V. CONCLUSIONES.....	28
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	29
VII. REFERENCIAS	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Pag.
1. Composición fisicoquímica de pulpas de mango frescas e industrializadas	5
2. Rendimiento de pulpa de mango fresco	15
3. Variación del pH durante el almacenamiento de la pulpa de mango.....	16
4. Variación de la acidez durante el almacenamiento de la pulpa de mango.....	17
5. Variación de los sólidos solubles totales en el almacenamiento de la pulpa de mango	18
6. Índice de consistencia durante el almacenamiento en la pulpa azucarada de mango...	21
7. Índice de flujo durante el almacenamiento a diferentes concentraciones de azúcar	22
8. Umbral de fluencia durante el almacenamiento a diferentes concentraciones de azúcar	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pag.
1. Proceso de obtención de pulpa azucarada de mango.....	10
2. Comportamiento del pH durante el almacenamiento	16
3. Evolución de la acidez a lo largo del periodo de almacenamiento.....	17
4. Comportamiento de los sólidos solubles totales durante el periodo de almacenamiento	18
5. Caída de la viscosidad aparente con el incremento de la velocidad tangencial o de deformación a diferentes concentraciones.....	19
6. Reograma de la pulpa de mango a diferentes concentraciones	20
7. Calor específico de la pulpa de mango azucarada en función del porcentaje de azúcar a cero días de almacenamiento.....	23
8. Calor específico de la pulpa de mango azucarada en función de la temperatura a cero días de almacenamiento	24
9. Calor específico de la pulpa de mango durante el almacenamiento.....	25
10. Difusividad de la pulpa de mango azucarada en función del porcentaje de azúcar	26
11. Difusividad de la pulpa de mango azucarada en función de la temperatura.	27

RESUMEN

El mango, *Mangifera Indica* L. es bien conocido por su excelente sabor exótico y generalmente se lo conoce como el rey de las frutas. El objetivo fue evaluar el comportamiento de las propiedades fisicoquímicas, reológicas y termofísicas de la pulpa de mango a diferentes concentraciones de azúcar almacenada en congelación. Se extrajo la pulpa de mango y se agregó azúcar en tres concentraciones (5, 10 y 15%), se determinaron las propiedades fisicoquímicas, reológicas y termofísicas. Los días de almacenamiento afectaron significativamente al pH, ácidos titulables y sólidos solubles totales (SST). El comportamiento reológico de la pulpa azucarada de mango fue ajustado al modelo de Herschel-Bulkley, y demostró un comportamiento pseudoplástico en los tres tratamientos. El índice de consistencia y umbral de fluencia fueron afectados por la concentración de azúcar y los cambios durante el almacenamiento no fueron significativos. El calor específico fue afectado significativamente por la concentración de azúcar, temperatura y tiempo de almacenamiento. La difusividad térmica no mostró diferencias por la concentración de azúcar, sin embargo, la temperatura lo cambió significativamente.

Palabras claves: Almacenamiento en congelación, propiedades termofísicas, pulpa de mango, propiedades reológicas

ABSTRACT

Mango, *Mangifera Indica* L., is well known for its excellent exotic flavor, and generally it is known as the king of the fruit. The objective was to evaluate the behavior of the physicochemical, rheological and thermophysical properties of mango pulp at different sugar concentrations [when] stored frozen. Mango pulp was extracted and sugar was added at three concentrations (5, 10 and 15%), the physicochemical, rheological and thermophysical properties were determined. The [number of] days stored significantly affected the pH, titratable acids and total soluble solids (TSS; SST in Spanish). The rheological behavior of the mango pulp with sugar was adjusted to the Herschel-Bulkley model, and demonstrated a pseudoplastic behavior for the three treatments. The consistency index and yield point were affected by the sugar concentration and the changes during storage were not significant. The specific heat was significantly affected by the sugar concentration, time and storage time. The thermal diffusivity did not show any difference from the sugar, however, the temperature changed it significantly.

Keywords: Frozen storage, thermophysical properties, mango pulp, Rheological properties

I. INTRODUCCIÓN

Mangifera indica L. (mango) es una de las frutas tropicales de mayor fama que posee un considerable valor económico gracias a su elevado valor nutricional y su sabor agradable. Se analizaron seis genotipos de mango basándose en su contenido de minerales y ciertas características fisicoquímicas durante dos fases de crecimiento del fruto (Rastegar & Rahimzadeh, 2023). El mango es una de las frutas tropicales de mayor presencia en el mercado. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, el mango representa el 52% del comercio mundial de frutas tropicales. Entre los países asiáticos, la India es uno de los principales productores de mango, contribuyendo con el 38% de la producción mundial de mango (Mokbul et al., 2022).

Los fluidos que provienen de la fruta son sistemas bifásicos compuestos por partículas sólidas dispersas en un ambiente acuático. Algunos muestran un comportamiento newtoniano, pero la mayoría de ellos presentan un comportamiento pseudoplástico; a veces presenta resistencia al flujo inicial y/o al flujo dependiente del tiempo; a veces presenta resistencia al flujo inicial y/o al flujo dependiente del tiempo (Barros et al., 2017).

Los datos termofísicas de la fruta son vitales para el estudio y la optimización de los procesos de manejo poscosecha. No obstante, los datos presentes en la literatura no siempre son coherentes y no deben emplearse de manera directa. Es vital analizar la exactitud y fiabilidad de los datos relacionados con las propiedades. Además, no se pueden identificar con claridad los modelos que predicen las características térmicas de la fruta ni se incluyen en la lista de modelos para materiales alimenticios (Mukama et al., 2020).

El propósito del trabajo de investigación fue evaluar el comportamiento de las propiedades fisicoquímicas, reológicas y termofísicas de la pulpa de mango a diferentes concentraciones de azúcar almacenada en congelación.

- Evaluar el comportamiento fisicoquímico pH, acidez titulable y sólidos solubles totales de la pulpa de mango al inicio y durante el almacenamiento.
- Evaluar los parámetros reológicos índice de consistencia, índice de comportamiento de flujo y umbral de fluencia de la pulpa de mango al inicio y durante el almacenamiento.
- Evaluar el comportamiento de las propiedades termofísicas calor específico y difusividad térmica de la pulpa de mango al inicio y durante el almacenamiento.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Se observó el impacto del procedimiento de congelación y la duración del almacenamiento en la degradación de las características del durián. Se trataron 100 frutos de durián que se congelaron con combinaciones de dos etapas de proceso. El nivel inicial consiste en congelar la fruta a $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante dos periodos de congelación, o sea, 10 min (tratamiento A) y 20 min (tratamiento B). A continuación, se almacena congelado a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 0, 10, 20 y 30 días. Las muestras congeladas se descongelaron a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante un periodo de 24 horas. Posteriormente, se realizaron evaluaciones periódicas de los parámetros físicos, químicos y sensoriales. El hallazgo reveló que el tratamiento B ofrece un desempeño notablemente superior al del tratamiento A (Prasetia et al., 2023).

Se estudió la influencia de diversos procedimientos de congelación y el almacenamiento congelado a largo plazo en la calidad de las fresas y frambuesas, o sea, la conservación de la propiedad inicial y la actividad de eliminación de radicales libres (AO) tras la congelación rápida individual (IQF) y la congelación tradicional (discontinua). Las propiedades fisicoquímicas, la vitamina C y la actividad de la AO fueron más impactadas por el almacenamiento prolongado en congelación que por la propia congelación; no obstante, se logró una retención óptima tras el IQF. Adicionalmente, se descubrió que la actividad de AO era superior en muestras congeladas frente a las frutas frescas, sin embargo, se observó una reducción considerable tras 8 meses de almacenamiento en congelado. Aunque la fresa tenía un contenido inicial de vitamina C considerablemente superior, mostró una actividad antioxidante inferior a la de la frambuesa. La congelación impactó notablemente en las características sensoriales; las modificaciones más significativas se observaron en su textura/firmeza, particularmente tras la congelación tradicional (lenta). Así pues, usualmente se podría proponer el IQF como una técnica más apropiada para preservar estas delicadas frutas que la congelación gradual (Stevanović et al., 2022).

Los fragmentos de membrillo fueron procesados a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 3 m/s, alcanzando contenidos finales de agua específicos: 2,1 y 0,3 g $\text{H}_2\text{O/g}$ bs. Después, se congelaron a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se guardaron durante un periodo de 6 meses. Todos los meses, se descongelan los membrillos a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ para llevar a cabo análisis de calidad: los membrillos tratados mostraron una significativa retención de agua y no se observó ninguna variación importante durante el periodo de almacenamiento ($p > 0,05$). El paso de presecado convectivo reduce notablemente el impacto negativo de los procesos de congelación/descongelación y los ciclos de congelación-

descongelación en el color del membrillo y garantiza su estabilidad durante el almacenamiento congelado: se ha observado una disminución significativa del impacto de la descongelación en la diferencia total de color para las muestras deshidrocongeladas (3,32). en comparación con (12,53) para los congelados convencionalmente. Finalmente, el proceso de deshidrocongelación favorece una mayor conservación del contenido de polifenoles durante el almacenamiento en congelación. Las frutas con gran cantidad de agua, como los membrillos, pueden verse afectadas por la congelación y el almacenamiento en congelación. El deterioro tisular ocurre cuando el hielo se acumula y acumula sólidos solubles. El presecado por convección puede eliminar una porción del agua existente, lo que disminuye la creación de hielo durante la congelación y el almacenamiento subsiguiente (Hajji et al., 2020).

Se examinaron tres técnicas de congelación distintas, la congelación criogénica (CF) empleando nitrógeno líquido; la congelación rápida individual (IQF) y la congelación lenta tradicional (CSF), con el objetivo de mantener la calidad y estabilidad de los dátiles durante su conservación congelada. Los dátiles frescos fueron congelados empleando tres técnicas. Los dátiles que se congelaron se conservaron en congelación durante nueve meses. Los parámetros de color, las características texturales y las propiedades nutritivas se evaluaron para los dátiles frescos previo a la congelación, y para los dátiles congelados cada tres meses durante el almacenamiento en congelado. Las características cromáticas de los dátiles congelados fueron influenciadas por el procedimiento de congelación y el tiempo de conservación congelado. Hay variaciones significativas en la calidad de las frutas congeladas en beneficio de las que están congeladas (Alhamdan et al., 2018).

Se examinaron las repercusiones del escaldado, la congelación y la conservación en congelación (5 meses a -18°C) en las características fisicoquímicas de las habas durante la fase de madurez de la leche. Los tiempos para un escaldado mínimo (120 s) y un escaldado excesivo (180 s) se determinaron en un experimento preliminar. El almacenamiento congelado durante cinco meses provocó una degradación total de la clorofila del 31% y el 34% en granos mínimamente blanqueados y demasiado blanqueados, respectivamente. Los frijoles frescos, los blanqueados y finalmente los congelados presentaban un color muy distinto. Las muestras blanqueadas y posteriormente congeladas exhibieron una firmeza superior frente a los granos frescos y una firmeza reducida tras el almacenamiento congelado, sin importar el tiempo de escaldado. En la evaluación sensorial de frijoles cocidos, se detectó una disminución notable en la textura de los frijoles excesivamente blanqueados en comparación con los frijoles que no fueron blanqueados (Petzold et al., 2014).

Se analizó el impacto de la rapidez de congelación en la humedad final y el contenido de ácido ascórbico, así como la solubilidad en agua, la humectabilidad y el tono de la pulpa de fruto de guanábana liofilizada enriquecida con maltodextrina. Los cristales de hielo de variados tamaños, originados por diferentes velocidades de congelación, generan una variedad de áreas de superficie específicas del producto que afecta tanto la desorción como la disolución del agua, pero de formas contrarias. Tras un periodo de secado continuo de 6 horas, el porcentaje de humedad en las muestras secadas se situó entre un 8,68 y un 13,09%, incrementándose a medida que aumenta el valor de la tasa de congelación. Además, se detectó una relación inversa lineal entre la tasa de congelación inicial y la solubilidad final en agua (85,75–81,51%) en las muestras liofilizadas. Las aceleraciones en la congelación también influyeron en el tiempo de humectación (0,36–1,26 min), ya que causaron una reducción en el tamaño de los poros y al mismo tiempo un incremento en la tortuosidad capilar de la microestructura final de las muestras secas. Los polvos liofilizados presentaban un tono mucho más resplandeciente en comparación con la pulpa que había sido tratada con maltodextrina. Dentro de las muestras liofilizadas, las que se prepararon con velocidades de congelación más elevadas mostraron un color más uniforme (Ceballos et al., 2012).

2.2. *Mangifera indica* (Mango)

2.2.1. Generalidades

El mango (*Mangifera indica* L.), famoso por ser el monarca de las frutas, posee un gusto y aroma cautivadores y un elevado valor nutritivo. La pulpa es el componente más ingerido, en cambio, la piel y el grano suelen ser descartados. Los mangos se producen en áreas tropicales y subtropicales de Asia, África y América del Norte. A nivel mundial Hussain et al. (2024), indican que una de sus variantes más procesadas es la pulpa, empleada en la producción de productos finales como zumos, zumos de frutas, mermeladas, entre otros. (Kaushik et al., 2014). El mango es abundante en antioxidantes como El mango, una de las frutas tropicales más relevantes a nivel mundial, disfruta del título de "el monarca de las frutas" debido a su singular sabor, aroma y aspecto. La especie *Mangifera indica* L., que forma parte del género *Mangifera*, la familia Anacardiaceae y el orden Sapindales, es la especie más apta para el consumo y su fruto exhibe una notable variedad en tamaño, forma, color, sabor, tamaño de semilla y composición química, en función del cultivo, las condiciones del terreno y el almacenamiento postcosecha. Los cultivares de mango más famosos para exportar son Kent, Tommy Atkins, Haden y Keitt. (Vilela et al., 2013).

Se estima que las pérdidas poscosecha de mango representan entre el 25% y el 30% del producto total debido a prácticas inadecuadas de manipulación y almacenamiento. La escasez estacional y la breve duración del mango restringen su comercialización, por lo que el sobrante debe transformarse en formas estables a través de su procesamiento e integración en varios productos de mango. La conservación de frutas en pulpa y zumos es muy común, dado que estos productos son fáciles de ingerir y constituyen un componente esencial de numerosas formulaciones, bebidas y demás. Se anticipa un crecimiento futuro en el mercado de pulpas y zumos de frutas. Los mangos se consumen principalmente frescos y como rodajas de fruta, mientras que otros se utilizan para procesarlos en pulpa y jugos (Kaushik et al., 2016).

2.2.2. Composición fisicoquímica

La composición fisicoquímica de las pulpas de mango fresco y procesado han sido estudiados ampliamente según la literatura, la Tabla 1 muestra la composición fisicoquímica de la pulpa de mango según Silva et al. (2021).

Tabla 1. Composición fisicoquímica de pulpas de mango frescas e industrializadas

Características	Pulpa de mango	
	Fresca	Pasteurizada
Actividad acuática	0,99 ± 0,00	0,99 ± 0,00
pH	3,26 ± 0,01	3,21 ± 0,01
Sólidos solubles (SS °Brix)	11,85 ± 0,01	11,84 ± 0,15
Humedad (g/100 g)	87,70 ± 0,02	87,62 ± 0,08
Lípidos (g/100 g)	0,25± 0,03	0,14 ± 0,02
Proteína (g/100 g)	0,55 ± 0,04	0,56± 0,03
Ceniza (g/100 g)	0,29 ± 0,02	0,33 ± 0,01
Acidez (AT g/100 g)	0,23 ± 0,00	0,24 ± 0,00
Relación (SS/AT)	51,52 ± 0,01	49,33 ± 0,01

Fuente: Silva et al. (2021)

2.3. Congelación de alimentos

Tecnologías emergentes relacionadas con la cadena de frío, como el enfriamiento al vacío y técnicas avanzadas de congelación han sido ampliamente estudiados y han beneficiado enormemente la vida humana durante las últimas décadas. La congelación, como

método eficiente de preservación de alimentos, ha sido vendida desde hace más de 140 años en el sector de la alimentación (Tian et al., 2020).

El proceso de congelación se ha aplicado para preservar muchos productos hortícolas frescos destinados a la distribución a distancia media (Prasetia et al., 2023). Como método para preservar las frutas, el procesamiento por congelación brinda numerosas ventajas. Según varios estudios, la reducción de la actividad del agua parece obstaculizar el crecimiento microbiano y la descomposición de la fruta como resultado de reacciones enzimáticas lentas que son fundamentales para maximizar la vida útil de varios alimentos congelados (Alhamdan et al., 2018).

La congelación de alimentos es un método eficaz para preservarlos, ya que, al estar congelado, el agua se inmoviliza en forma de hielo y los ritmos de deterioro son considerablemente más lentos que en condiciones de temperatura superior. No obstante, esta tecnología se fundamenta en dos requisitos fundamentales previos para proporcionar productos de alta calidad: (1) Rápidas tasas de congelación; y (2) Almacenamiento congelado a temperatura baja y constante bajo cero (Petzold et al., 2014).

2.4. Propiedades fisicoquímicas

Las propiedades fisicoquímicas son indicadores útiles que muestran la estabilidad en almacenamiento (Tireki et al., 2023), estas propiedades se evalúan con el fin de determinar las mejores condiciones de procesamiento que permitan mantener la calidad así como alcanzar un nivel adecuado de inocuidad (Velasco-Hernández et al., 2020). Durante el almacenamiento el pH es una de las propiedades que cambia significativamente (Da Silva et al., 2018).

2.5. Propiedades termofísicas

Es crucial entender las características termofísicas de la pulpa de mango al trabajar en aplicaciones científicas e industriales que no solo implican la creación de dispositivos (bomba, intercambiador de calor, evaporador, mezclador, filtro, etc.) sino también el estudio, modelado y gestión de procesos. en el que existen alteraciones físicas, químicas y bioquímicas que dependen de la temperatura (Bon et al., 2010).

En el proceso de procesamiento, características como la densidad, la conductividad térmica y la capacidad calorífica experimentan alteraciones significativas en función de la composición, la temperatura y la estructura física del alimento. Hay diversas ecuaciones para estimar dichas propiedades basándose en los elementos predominantes de los

alimentos (agua, proteínas, grasas, carbohidratos) y la temperatura. Sin embargo, pueden presentarse diferencias considerables entre los valores proyectados y los experimentales debido a la intrincada estructura fisicoquímica de los productos agroalimentarios (Bon et al., 2010). Las características termofísicas de los materiales son cruciales para modelar la transferencia de calor, la predicción y la regulación de la temperatura (Zhu et al., 2008).

2.4.1. Conductividad térmica

La conductividad térmica se refiere a la habilidad de un material para emitir calor, un indicador esencial para caracterizar la transferencia de calor a través de la conducción (Zhu et al., 2008). La conductividad térmica (K) se refiere a la rapidez con que el calor se propaga en un material. Se trata de un coeficiente que determina la tasa de transferencia de calor en estado estable (dQ/dt) a través de la dirección de un gradiente de temperatura (dT/dt), basado en la ley de conducción de calor de Fourier (Ecuación 1) (Huang y Liu, 2009).

$$\frac{dQ}{dt} = KA \frac{dT}{dt} \quad (1)$$

2.4.2. Difusividad térmica

La difusividad térmica (α) representa la correlación entre la conductividad térmica y la capacidad de un material para almacenar calor (Ecuación 2). Se trata de un indicador que mide la habilidad de un material para retener energía térmica durante los procesos de transmisión de calor. La difusividad térmica es la característica térmica que regula durante los procesos transitorios de calentamiento conductual (Ecuación 3). Es la velocidad a la que la energía térmica se difunde por conducción a través de un material (Huang y Liu, 2009).

$$\alpha = \frac{K}{\rho C_p} \quad (2)$$

$$\frac{dT}{dt} = \alpha \frac{d^2T}{dx^2} \quad (3)$$

2.5. Caracterización reológica de la pulpa de mango

La reología alimentaria se entiende como la investigación de la deformación de materias primas, productos intermedios y productos finales en el sector de la alimentación (Gomes y Penna, 2009). Establecer las características reológicas de los alimentos contribuye a

regular la calidad de los productos y facilita un entendimiento más profundo de su estructura. Es imprescindible para simular cualquier procedimiento que implique el movimiento de estos productos (Marcotte et al., 2001). El conocimiento del comportamiento reológico de las pulpas de frutas tropicales es muy importante para los consumidores y la industria alimentaria (Da Silva et al., 2012). Las mediciones reológicas se consideran una herramienta analítica importante para obtener información sobre la organización estructural de los alimentos y su calidad, así como para predecir cambios durante la formulación, procesamiento, transporte y almacenamiento de estos alimentos (Figueroa-Flórez et al., 2017).

Es crucial identificar las características de deformación y flujo de los alimentos para la creación de dispositivos como bombas, tuberías, correas, maquinaria de pulverización, entre otros, y para adquirir datos sobre la estructura de los alimentos o la formación de sus componentes moleculares, en particular sus componentes macromoleculares (Faraoni et al., 2013). Se ha señalado que la comprensión previa de estas características facilita mediciones valiosas para valorar atributos sensoriales vinculados con la textura del producto. Según estas mediciones, los procedimientos de producción industrial de un producto alimentario específico pueden ser ajustados para optimizar el producto final, teniendo en cuenta las preferencias del consumidor respecto a los parámetros de textura (Gomes y Penna, 2009).

Todos los fluidos provenientes de las frutas son sistemas bifásicos compuestos por partículas sólidas dispuestas en un entorno acuático. Algunos muestran una conducta newtoniana, pero la mayoría presenta rasgos de flujo pseudoplástico, evidenciando en ocasiones resistencia al flujo inicial y/o flujo dependiente del tiempo (Ferreira et al., 2002).

La bibliografía incluye múltiples investigaciones relacionadas con la caracterización reológica de zumos y pulpas de frutas, utilizando técnicas directas para calcular los parámetros reológicos. Por ejemplo, se analizó la reacción de chocolate, pulpa de cupuaçu, pulpa de acerola y pulpa de mango, adaptando los datos experimentales y calculando los parámetros reológicos basándose en los modelos matemáticos de Casson, Ostwald-de-Waele, Herschel–Bulkley y Mizrahi–Berk, empleando técnicas estadísticas. No obstante, en el ámbito del procesamiento alimentario, escasas investigaciones han empleado técnicas inversas para calcular estos parámetros (F. de Barros et al., 2017).

La composición y reología de los alimentos elaborados con tejidos vegetales (frutas y vegetales) ha sido objeto de numerosos estudios en las últimas décadas (Buergy et al., 2021). Los purés de vegetales y frutas se componen de una mezcla de partículas celulares en una fase líquida de silice que incluye pectina solubilizada, azúcares, almidón y ácidos orgánicos (Moelants et al., 2014). Las partículas de plantas se desintegran principalmente en tres

categorías: fragmentos celulares, células únicas y conglomerados celulares. En los purés, se encuentran estructurados como redes elásticas, vinculadas por fuerzas de atracción mínimas, fricción estática o por efectos estéricos (Lopez-Sanchez et al., 2011). Así pues, la reología de los purés se basa mayormente en las características de sus redes de partículas («Texture of pureed fruit and vegetable foods», 2007).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se desarrolló en los laboratorios de ingeniería de los alimentos, análisis de alimentos, química, análisis sensorial y análisis de alimentos de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias y en el Laboratorio Central de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva en la Ciudad de Tingo María.

3.2. Materia prima

Mangifera indica (mango), de la variedad Kent, adquiridos en el mercado de abastos de la ciudad de Tingo María, específicamente en los lugares de expendio de frutas.

3.3. Metodología experimental

3.3.1. Obtención de la pulpa y rendimiento

El proceso de obtención de pulpa de mango incluye las siguientes operaciones unitarias, recepción, lavado, pelado, pulpeado, estandarizado, homogenizado, pasteurizado, enfriado, empacado y congelado (Figura 1).

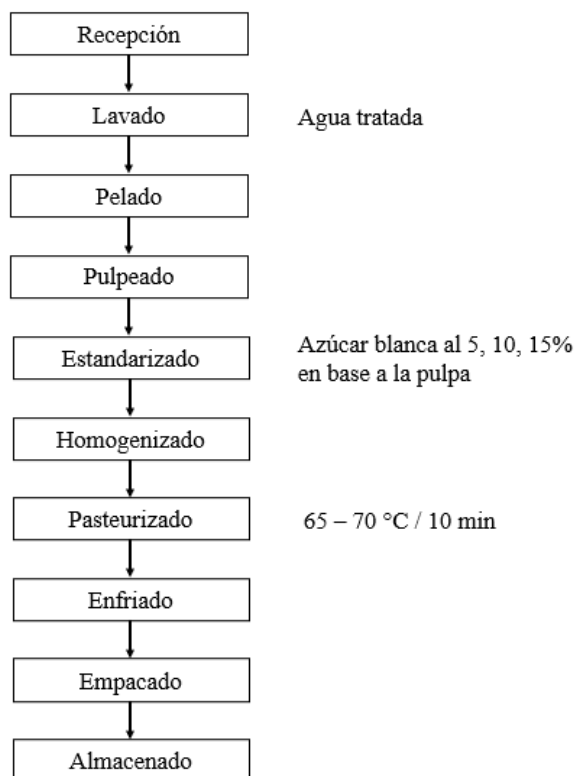


Figura 1. Proceso de obtención de pulpa azucarada de mango

3.3.2. Caracterización fisicoquímica de la pulpa de mango en el almacenamiento pH

Se realizó según el método AOAC 981.12, el pH fue determinado mediante lectura directa con un potenciómetro multiparámetro marca THERMOS SCIENTIFIC modelo ORION STAR, calibrado con soluciones tampón de pH 4 y 10 (Quintero et al., 2013).

Acidez titulable

Por el método volumétrico (AOAC, 1980), se diluyeron cinco gramos de pulpa en 50 mL de agua destilada, se procedió con la titulación con NaOH (0,1N), como indicador se utilizó fenolftaleína al 0,1%, la acidez titulable fue expresado en porcentaje de ácido cítrico (Quintero et al., 2013) y se determinó con la siguiente ecuación:

$$\text{Acidez(\%)} = \frac{\text{Gasto x Normalidad del alcalí x 0,6406}}{\text{Volumen de la muestra}} \quad (4)$$

Sólidos solubles totales (SST)

Se siguió el método AOAC 932.12, los niveles de SST de las muestras de pulpa de mango se determinaron utilizando un refractómetro. Los resultados se expresaron como grados brix después de registrar las lecturas (Quintero et al., 2013).

3.3.3. Determinación de parámetros reológicos de la pulpa de mango

Velocidad de deformación y esfuerzo de corte

Se tomó 250 mL de pulpa de cocona en un vaso de precipitación del mismo volumen, con el sensor de temperatura se verificó que la temperatura marque 27 °C en la pantalla del equipo. Las mediciones se realizaron con el reómetro Brookfield modelo DV-III ultra en el rango de 10 a 100 RPM en intervalos de 10 y al cabo de 3 minutos se registró el torque y viscosidad aparente. Para calcular la velocidad angular se utilizó una hoja de cálculo y se utilizó la Ecuación 5 y la velocidad de deformación o tangencial se calculó con la Ecuación 6 (Brookfield, 2010).

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot \text{RPM}}{60} \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{2\omega R_c^2 R_b^2}{x^2 [R_c^2 - R_b^2]} \quad (6)$$

Donde:

ω : Velocidad angular (rad/s)

RPM : Revoluciones por minuto

γ : Velocidad de deformación (1/s)

R_c : Radio del recipiente que contiene la pulpa ($R_c = 3,29$ cm)

R_b : Radio del husillo número 6 ($R_b = 0,731$ cm)

x : radio en el que se calculará la velocidad de corte (normalmente el mismo valor que R_b ; en centímetros)

El esfuerzo de corte se calculó mediante la Ecuación 7.

$$\tau = \mu\gamma \quad (7)$$

Donde:

τ : esfuerzo de corte (Pa)

μ : viscosidad aparente (Pa.s)

Parámetros reológicos

Se calculó los parámetros reológicos mediante el modelo de Herschel-Bulkley (ecuación 8), la idoneidad de esta ecuación se evaluó estadísticamente mediante el error relativo medio expresado en porcentaje (ERM) entre los valores experimentales y predichos y el coeficiente de determinación (R^2). EL modelo ha sido utilizado para describir el comportamiento reológico de diversos productos como pulpa de mango, guayaba, cereza de las indias, jugo de zanahoria pasteurizado y miel de abeja (Rodríguez et al., 2015).

$$\tau = \tau_0 + k\gamma^n \quad (8)$$

Donde τ y τ_0 son el esfuerzo cortante y el esfuerzo de fluencia (Pa), respectivamente, γ es la velocidad de corte (1/s); k es el coeficiente de consistencia ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$); y n es un número adimensional que indica la proximidad al flujo newtoniano conocido como es el índice de flujo (Bezerra et al., 2015).

3.3.4. Determinación de propiedades termofísicas de la pulpa de mango

Calor específico (Cp)

Para determinar la capacidad calorífica se utilizó un calorímetro diferencial de barrido (SETARAM, Labsys evo, EE. UU.) el rango de temperatura de medición fue de 25 – 95 °C a una velocidad de 5 °C/min en un ambiente inerte con un flujo constante de agua; ; Nitrógeno a 100 ml/min. Para las mediciones se requiere primero un experimento en blanco con un crisol vacío y un experimento con un material de referencia (calibrante). En este caso se utilizó zafiro sintético de alta pureza (99,99%). Para determinar el Cp se pesaron 60 mg de muestra en un crisol, se cerró el crisol con la muestra y se colocó en un calorímetro para obtener un termograma de Cp. Los datos se analizaron utilizando el software Calisto (SETARAM). Los ensayos se realizaron por triplicado (ASTM, 2018).

Difusividad térmica (α)

Se realizó con el datatrace, en cada tratamiento el mucílago de malva se llenó en un cilindro, luego se instalaron dos sensores de temperatura, estos registraron las temperaturas del centro térmico y del medio de calentamiento. Los datos que se obtuvieron fueron procesados por el método de transferencia de calor en el estado no estacionario propuesto por Dickerson en 1965 y modificado por Poulsen en 1982.

$$t = 0,398 \frac{r^2}{\alpha_T} \log \left[1,6 \frac{T_m - T_0}{T_m - T} \right] \quad (10)$$

Donde:

- α_T : Difusividad térmica (m²/s)
- r : Radio del cilindro (m)
- t : Tiempo (s)
- T_m : Temperatura del medio de calentamiento (°C)
- T_0 : Temperatura en el centro térmico al tiempo 0 (°C)
- T : Temperatura del centro térmico al tiempo t (°C)

La ecuación (10) se reordenó para diferenciar la variable dependiente e independiente como sigue:

$$\log \left[1,6 \frac{T_m - T_0}{T_m - T} \right] = \frac{1}{0,398} \frac{\alpha_T}{r^2} t \quad (11)$$

La ecuación (11) representa una ecuación lineal que intercepta el origen de coordenadas

Donde:

- $\log \left[1,6 \frac{T_m - T_0}{T_m - T} \right]$: Representa la variable dependiente (eje de ordenadas) es la variación de temperatura no conseguida
 $\frac{1}{0,398} \frac{\alpha_T}{r^2}$: Representa la pendiente (m) de la ecuación lineal
 t : Representa la variable independiente (eje de abscisas)

Se calculó la pendiente de la línea mediante regresión lineal en una hoja de Microsoft Excel y la difusividad térmica fue estimada por la siguiente ecuación:

$$m = \frac{1}{0,398} \frac{\alpha_T}{r^2} \quad (12)$$

Se despejó α_T de la ecuación (12)

$$\alpha_T = 0,398mr^2 \quad (13)$$

Las difusividades térmicas fueron calculadas para las temperaturas de 60 y 80 °C.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Rendimiento de la pulpa de mango

Se procesó 14,891 kg de mango fresco, el rendimiento de la pulpa fue de 81,84% en peso (Tabla 2). Brito (2004) reportó 77% en mango variedad Kent y 79% en mango variedad Tommy Atkins. Silva et al. (2009) estudiaron 15 variedades de mango, la variedad Oliveira Neto registró el menor rendimiento (58,2%) y la variedad Palmer el mayor rendimiento (80,6%). Siller-Cepeda et al. (2009) declararon un rendimiento de pulpa de 75% en variedad Kent. En consecuencia, se puede afirmar que nuestros resultados están dentro de los reportados por la literatura.

Tabla 2. Rendimiento de pulpa de mango fresco

Componente	Peso (g)	Rendimiento (%)
Cáscara	1387,6	9,32
Semilla	1316,4	8,84
Pulpa	12187,0	81,84
Total	14891,0	100,00

Se ha optado por conservar pulpa procesada debido a los cambios físicos y las alteraciones químicas que ocurren durante el cambio de fase del agua al hielo en el proceso de congelación, los productos frescos sufren cambios de calidad irreversibles, como pérdida de textura y alteraciones químicas (Jha et al., 2024). Estudios anteriores han demostrado que los alimentos procesados son más fáciles de preservar que los alimentos frescos (Wani et al., 2018).

4.2. Características fisicoquímicas de la pulpa de mango en el almacenamiento

4.2.1. pH

El pH de los frutos maduros de mango fresco osciló entre 4,5 a 5,3 y una media de 4,8. Para garantizar su conservación se agregó ácido cítrico alcanzando un pH promedio de 4,3 en todos los tratamientos. Se encontró diferencias significativas del pH a los 30 y 60 días de almacenamiento ($p < 0,05$), pasado los 60 días hasta los 3 meses el pH fue constante a una lectura de 5,4 a 5,4, las concentraciones de azúcar no influyeron en el pH a lo largo del periodo de almacenamiento (Tabla 3 y Figura 2). Los resultados muestran claramente que el pH no disminuye durante el almacenamiento, este comportamiento nos está indicando que no hay aparición de otros compuestos ácidos como por ejemplo el ácido láctico y acético

producidos por bacterias aerobias facultativas como los lactobacilos que se encuentran en el medio ambiente (Gómez-López et al., 2010).

Tabla 3. Variación del pH durante el almacenamiento de la pulpa de mango

Días	pH		
	T1 (5%)	T2 (10%)	T3 (15%)
0	4,423 ± 0,093 ^a	4,347 ± 0,136 ^a	4,230 ± 0,128 ^a
30	5,110 ± 0,085 ^b	5,187 ± 0,140 ^b	5,180 ± 0,151 ^b
60	5,333 ± 0,153 ^c	5,600 ± 0,100 ^c	5,400 ± 0,200 ^c
90	5,333 ± 0,153 ^c	5,420 ± 0,203 ^c	5,327 ± 0,142 ^c

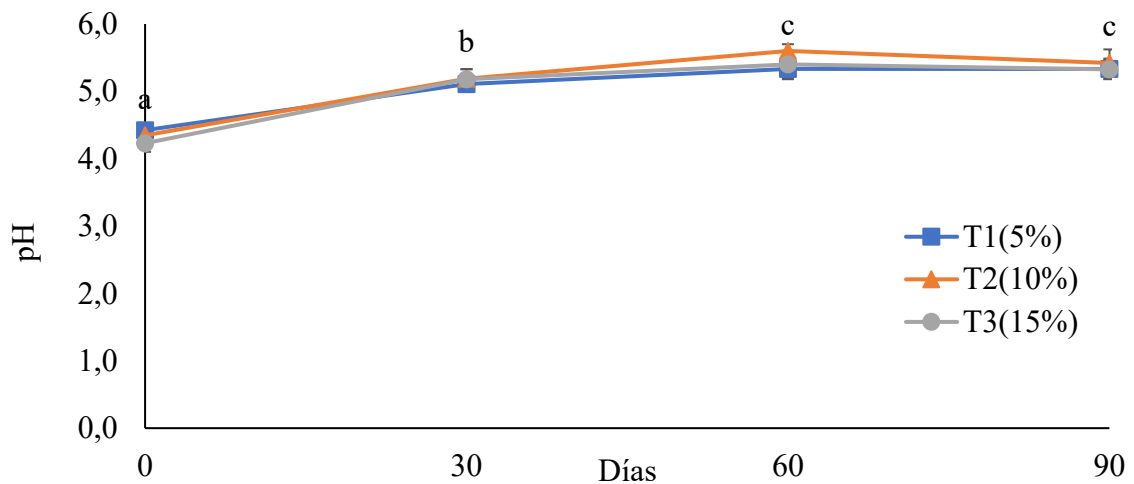


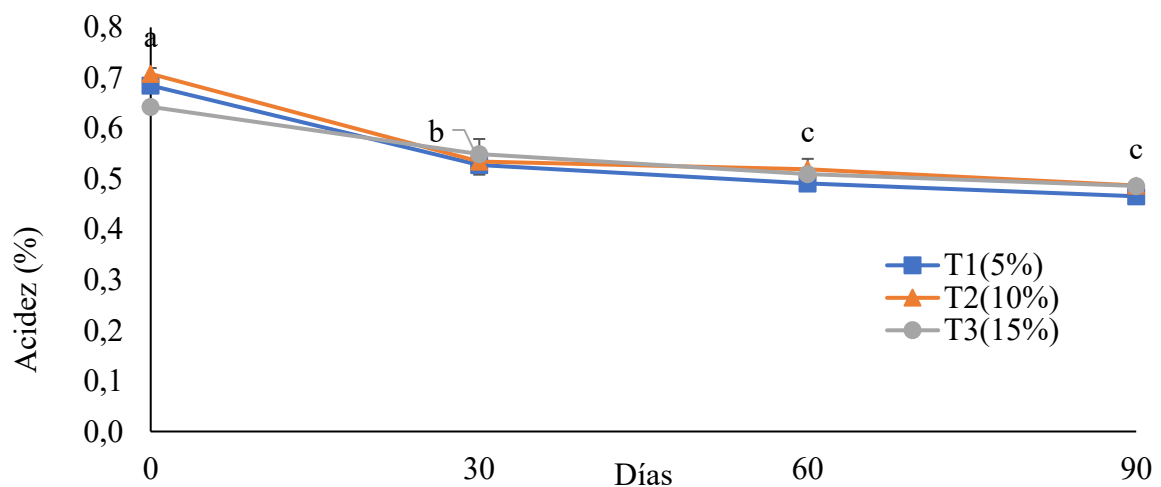
Figura 2. Comportamiento del pH durante el almacenamiento

4.2.2. Acidez titulable

Después de estandarizar el pH a un valor de 4,3 en promedio de la pulpa de mango adicionando ácido cítrico, la acidez quedó entre 0,64 a 0,71%. Se presentó diferencias significativas a los 30 y 60 días de almacenamiento ($p < 0,05$), el tercer mes de almacenamiento la acidez se mantuvo constante (Tabla 4 y Figura 3).

Tabla 4. Variación de la acidez durante el almacenamiento de la pulpa de mango

Días	Acidez (% ácido cítrico)		
	T1 (5%)	T2 (10%)	T3 (15%)
0	0,685 ± 0,011 ^a	0,708 ± 0,012 ^a	0,643 ± 0,009 ^a
30	0,527 ± 0,010 ^b	0,534 ± 0,026 ^b	0,550 ± 0,030 ^b
60	0,491 ± 0,015 ^c	0,519 ± 0,021 ^c	0,509 ± 0,010 ^c
90	0,466 ± 0,012 ^c	0,487 ± 0,006 ^c	0,486 ± 0,009 ^c

**Figura 3.** Evolución de la acidez a lo largo del periodo de almacenamiento

La acidez de la fruta del mango se debe principalmente a la presencia de ácidos cítrico y málico. Sin embargo, se han registrado otros ácidos orgánicos habituales del ciclo tricarboxílico en la fruta del mango, como el cítrico, oxálico, succínico, málico y pirúvico, además de ácidos tartáricos, mucónicos, galípicos, glucurónicos y galacturónicos; de estos, el cítrico es el ácido, Por ejemplo, en el mango Keitt, los ácidos cítrico y málico son los orgánicos predominantes, en cambio, los ácidos α -cetoglutarico, ascórbico, oxálico y tartárico se hallan en niveles más reducidos. En los mangos de Badami, la concentración más elevada es del ácido cítrico, aunque también se identificaron ácidos succínico y málico (Maldonado-Celis et al., 2019).

El comportamiento del pH y la acidez se observa en las Figuras 2 y 3. En estas gráficas se puede observar un aumento del pH y una disminución de la acidez, lo que confirma la pérdida y descomposición de los ácidos orgánicos (Quintero et al., 2013).

4.2.3. Sólidos solubles totales (SST)

La Tabla 5 y Figura 4 muestran que los valores de sólidos solubles totales subieron ligeramente durante el periodo de almacenamiento en los tres tratamientos. Kumhar et al. (2014) informaron un aumento mínimo en SST en pulpa de *Annona squamosa* L. a una temperatura de almacenamiento baja, afirmaron que podría deberse al efecto de la temperatura en una menor reducción en la hidrólisis de polisacáridos y ácidos. También el mantenimiento de constante de los SST es un indicador de que no hay crecimiento de microorganismos especialmente los fermentativos quienes utilizan como sustrato a los azúcares.

Tabla 5. Variación de los sólidos solubles totales en el almacenamiento de la pulpa de mango

Días	Sólidos solubles totales (°Brix)		
	T1 (5%)	T2 (10%)	T3 (15%)
0	23,100 ± 1,015 ^a	27,667 ± 1,528 ^a	30,833 ± 0,764 ^a
30	25,000 ± 1,000 ^{ab}	27,300 ± 1,136 ^{ab}	31,567 ± 1,102 ^{ab}
60	26,000 ± 0,954 ^{bc}	29,300 ± 1,136 ^{bc}	32,367 ± 1,026 ^{bc}
90	27,033 ± 0,950 ^c	30,333 ± 1,528 ^c	34,267 ± 1,358 ^c

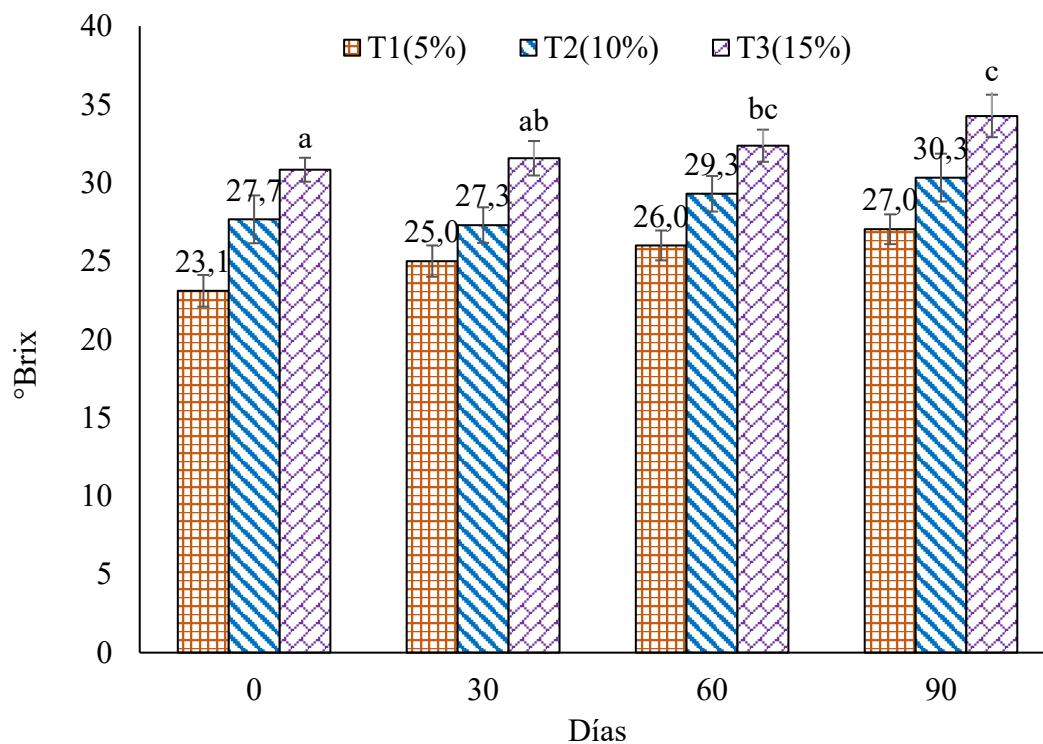


Figura 4. Comportamiento de los sólidos solubles totales durante el periodo de almacenamiento

4.3. Características reológicas de la pulpa de mango en el almacenamiento

El comportamiento de la pulpa azucarada de mango se describió utilizando el modelo de Herschel-Bulckley (Ecuación 8). Las figuras 5 y 6 muestran el comportamiento de flujo de las muestras a diferentes concentraciones. Las pulpas de mango a diversas concentraciones mostraron un comportamiento de cizallamiento con esfuerzo de fluencia (Figura 5), un rasgo común en los alimentos multifásicos, como pulpas y zumos. Esto sugiere que hay una estructura reticulada u otra estructura interactiva que necesita desintegrarse antes de que el flujo pueda tener lugar a una velocidad apropiada (Mieles-Gómez et al., 2023). A este tipo de fluidos se les denomina no newtonianos pseudoplásticos, donde la viscosidad disminuye al aumentar la velocidad de corte (Inoue et al., 2025), como se observa en la Figura 5.

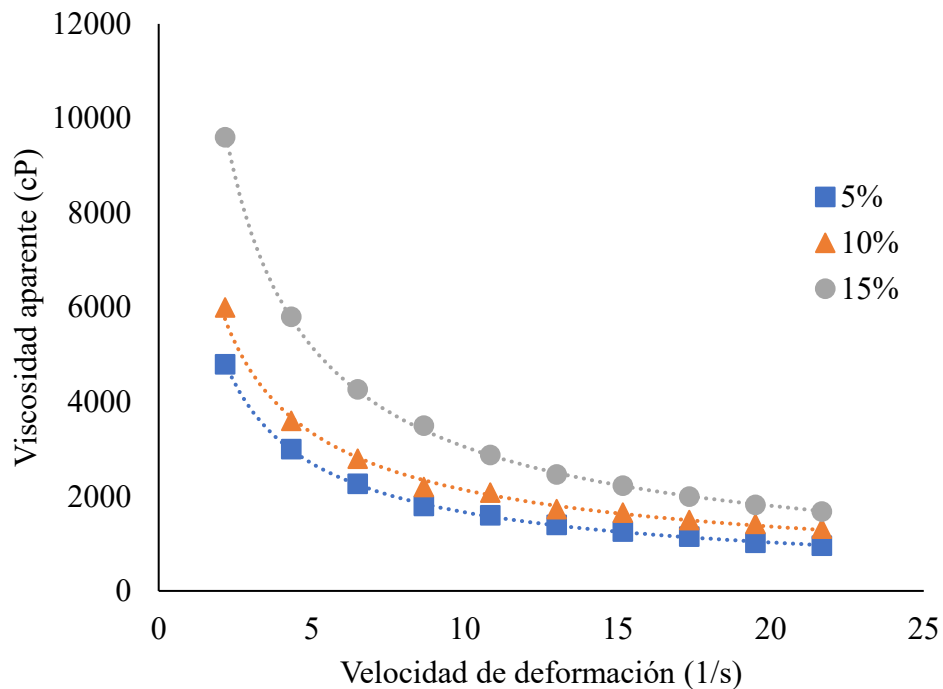


Figura 5. Comportamiento de la viscosidad aparente según la velocidad de deformación a diferentes concentraciones de azúcar

Los alimentos multifásicos muestran una curva de esfuerzo cortante que no se origina en el origen (Figura 6) del gráfico esfuerzo de corte versus la velocidad de deformación y es cóncava hacia abajo (Conceição et al., 2012), además, la disminución de la viscosidad aparente con el aumento de la velocidad de corte se puede explicar por la ruptura estructural de la pulpa causada por las fuerzas hidrodinámicas generadas y el aumento de la alineación de las moléculas constituyentes (Bezerra et al., 2015).

Los reogramas de pulpa de mango a las concentraciones 5%, 10% y 15% de azúcar mostraron el comportamiento esperado de la pulpa y los purés de frutas. Estos materiales biológicos presentan un comportamiento pseudoplástico, a veces con tensión inicial, como lo reportan Vidal et al. (2006) y Sato y Cunha (2007) para pulpa de guayaba. Las curvas presentes en la Figura 5 indican que la pulpa de mango presenta una conducta pseudoplástico con tensión inicial, dado que los puntos no se inician en el origen, de acuerdo con los resultados obtenidos por la investigación realizada por Vidal et al. (2006).

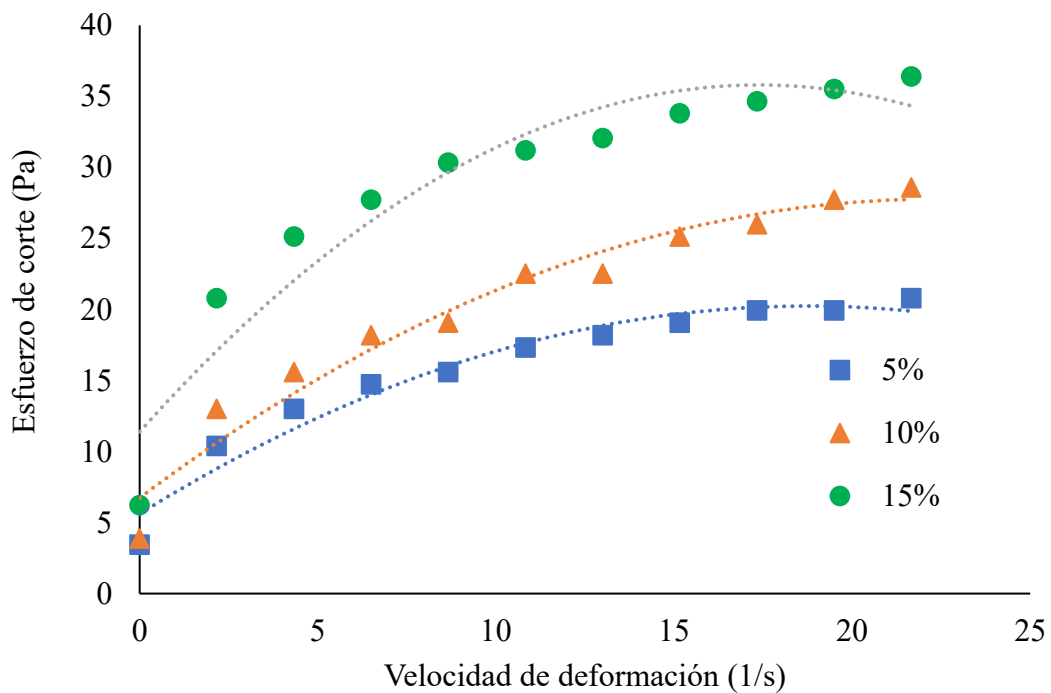


Figura 6. Reograma de la pulpa de mango a diferentes concentraciones

4.3.1. Índice de consistencia (k)

Para el modelo de Herschel-Bulkley, el índice de consistencia presentó durante el almacenamiento valores en el intervalo de 3,912 a 5,718 Pa.sⁿ al 5% de azúcar (23,1 °Brix), 4,973 a 7,115 Pa.sⁿ al 10% de azúcar (27,7 °Brix) y entre 8,034 a 13,849 Pa.sⁿ al 15% de azúcar (30,8 °Brix) (Anexo 1). los cuales son similares a los reportados por Vidal et al. (2004) precisamente en pulpa de mango a 16,6 °Brix de 3,41 a 4,57 Pa.sⁿ, en el intervalo de 10 a 60 °C, y también con respecto a otras pulpas en la pulpa de papaya de 12 a 51 °Brix de 0,7 a 15,3 Pa.sⁿ, en el intervalo de 25 a 55 °C (Telis-Romero et al., 2003).

Tabla 6. Índice de consistencia durante el almacenamiento en la pulpa azucarada de mango

Días	Índice de consistencia (Pa.s ⁿ)		
	5% azúcar	10% azúcar	15% azúcar
0	5,311 ± 0,217 ^a	6,474 ± 0,570 ^b	13,010 ± 0,844 ^c
30	5,088 ± 0,378 ^a	5,732 ± 0,411 ^b	10,680 ± 1,999 ^c
60	3,995 ± 0,083 ^a	5,634 ± 0,838 ^b	8,107 ± 0,116 ^c
90	5,565 ± 0,154 ^a	5,838 ± 0,251 ^b	10,040 ± 0,909 ^c

El índice de consistencia (k en la ecuación 8) da una idea de la viscosidad del fluido (Gutiérrez-Álzate et al., 2023); claramente se observó que la concentración de azúcar (Tabla 6) influye significativamente en el índice de consistencia ($p < 0,01$), Guida et al. (2020) observaron una relación de dependencia entre el índice de consistencia y la concentración de sólidos solubles, en consonancia con el comportamiento esperado, Huang et al. (2018) afirmaron que con el aumento de la concentración de polisacáridos de la pulpa de *Litchi chinensis Sonn*, el índice de consistencia aumenta también gradualmente.

La conservación de la pulpa de mango a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ no generó alteraciones relevantes (Tabla 6). Las propiedades reológicas de la pulpa de mango se basan en elementos como la temperatura, la cantidad de sólidos solubles y el tamaño de las partículas. Estos elementos influyen en las características reológicas de la pulpa, tales como la cremosidad, la succulencia, la suavidad y la dureza (Guida et al., 2020).

4.3.2. Índice de flujo (n)

Para todas las muestras, los valores de n fueron menores a 1 (Tabla 7), corroborando de esta manera la característica pseudoplástica de las dispersiones para las condiciones analizadas. Desde el punto de vista sensorial, este valor también fue importante porque fue inferior a 0,6, que se considera el límite para una buena percepción de los alimentos en la boca (Capitani et al., 2015), se puede asumir que, para las condiciones experimentales consideradas, la pulpa de mango es un material altamente estructurado, que presenta una alta resistencia a fluir a bajas velocidades de cizallamiento y una ruptura de la estructura cuando la velocidad de deformación aumenta (Toneli et al., 2008). En todos los tratamientos el índice de comportamiento de flujo permanece constante después del almacenamiento por tres meses ($p > 0,05$) y tampoco es afectado por la concentración de azúcar de forma significativa.

Tabla 7. Índice de flujo durante el almacenamiento a diferentes concentraciones de azúcar

Días	Índice de comportamiento de flujo (adimensional)		
	5% azúcar	10% azúcar	15% azúcar
0	0,356 ± 0,049 ^a	0,366 ± 0,080 ^a	0,286 ± 0,012 ^a
30	0,395 ± 0,017 ^a	0,369 ± 0,026 ^a	0,305 ± 0,031 ^a
60	0,392 ± 0,001 ^a	0,345 ± 0,043 ^a	0,370 ± 0,003 ^a
90	0,239 ± 0,091 ^a	0,361 ± 0,044 ^a	0,300 ± 0,021 ^a

4.3.3. Umbral de fluencia

Después de la congelación y descongelación, el comportamiento reológico de la pulpa de mango necesita un esfuerzo cortante mínimo inicial para que el material comience a fluir (Larsson y Duffy, 2013). La determinación de este parámetro es crucial en diversas áreas del procesamiento, manejo, almacenamiento y características de desempeño. Este estudio muestra una tendencia creciente del valor del esfuerzo de fluencia debido a la concentración de azúcar o al contrario la tensión de fluencia inicial disminuyó con la reducción de la concentración de azúcar de la pulpa, esta observación explica que la pulpa puede fluir después de superar la tensión de fluencia correspondiente, lo que indica un comportamiento más cercano al flujo newtoniano y la pulpa puede fluir fácilmente (Priyadarshini et al., 2023).

No se detectó ninguna diferencia significativa del umbral de fluencia durante los 90 días de almacenamiento en congelación a -18 °C (Tabla 8).

Tabla 8. Umbral de fluencia durante el almacenamiento a diferentes concentraciones de azúcar

Días	Umbral de fluencia (Pa)		
	5% azúcar	10% azúcar	15% azúcar
0	3,622 ± 0,303 ^a	4,441 ± 0,560 ^b	6,540 ± 0,305 ^c
30	3,438 ± 0,295 ^a	3,121 ± 0,342 ^b	5,781 ± 0,749 ^c
60	2,183 ± 0,203 ^a	3,931 ± 0,042 ^b	4,777 ± 0,041 ^c
90	2,401 ± 0,103 ^a	4,324 ± 0,267 ^b	5,005 ± 0,860 ^c

4.4. Propiedades termofísicas de la pulpa de mango en el almacenamiento

4.4.1. Calor específico

El calor específico determinado por calorimetría diferencial de barrido (DSC) en pulpa de mango azucarada al 5, 10 y 15%. La pulpa azucarada al 5% reportó un calor

específico entre 2,451 a 2,866 J/g.K, al 10% de azúcar oscilo entre 2,394 a 2,782 J/g.K y al 15% de azúcar fue entre 2,360 a 2,7267 (Anexo 3). Se han informado resultados similares en pulpa de mango sin azúcar (2,738 a 2,833 J/g.K) (Bon et al., 2010), se puede observar que el calor específico determinado es ligeramente inferior al reportado anteriormente, esta diferencia posiblemente este influenciada por el azúcar agregada a la pulpa.

El calor específico de la pulpa de mango azucarada depende más de la concentración de azúcar que de la temperatura (Figuras 7 y 8). En cuanto a la influencia del porcentaje de azúcar (Figura 7), se puede observar que la concentración de azúcar disminuye el calor específico, este comportamiento tiene que ver con el hecho un aumento del contenido de sólidos significa una reducción en el agua y consecuentemente la caída del calor específico (Costa et al., 2018). Una disminución del calor específico junto con un aumento en los sólidos también se observó en otros alimentos de origen vegetal como el jugo de caña (Rao et al., 2009), jugo de uva (Evangelista et al., 2020), entre otros.

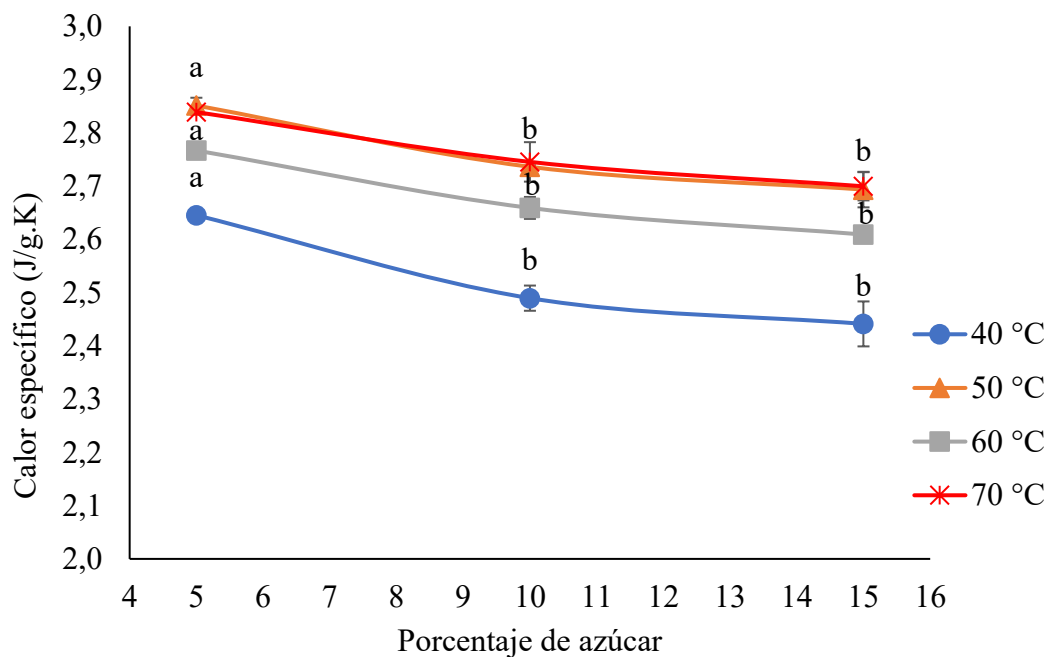


Figura 7. Calor específico de la pulpa de mango azucarada en función de la temperatura antes del almacenamiento.

De acuerdo con los resultados experimentales, el calor específico se conservó prácticamente inalterable entre los 50 °C y 70 °C, en cambio, entre los 40 °C y 60 °C, esta característica evidenció una gran variabilidad entre las réplicas. Estos sucesos podrían estar relacionados con la interacción entre las moléculas de agua y la composición del alimento. Las variaciones en la estructura de los elementos también pueden justificar este comportamiento,

dado que el calor específico está vinculado con la habilidad de las moléculas de agua para construir vínculos de hidrógeno y la intensidad de estos enlaces, y que la composición fisicoquímica del alimento ejerce un fuerte impacto en esta característica (Sánchez-Riaño et al., 2022). Este comportamiento fue similar en pulpa de mango sin azúcar (Bon et al., 2010).

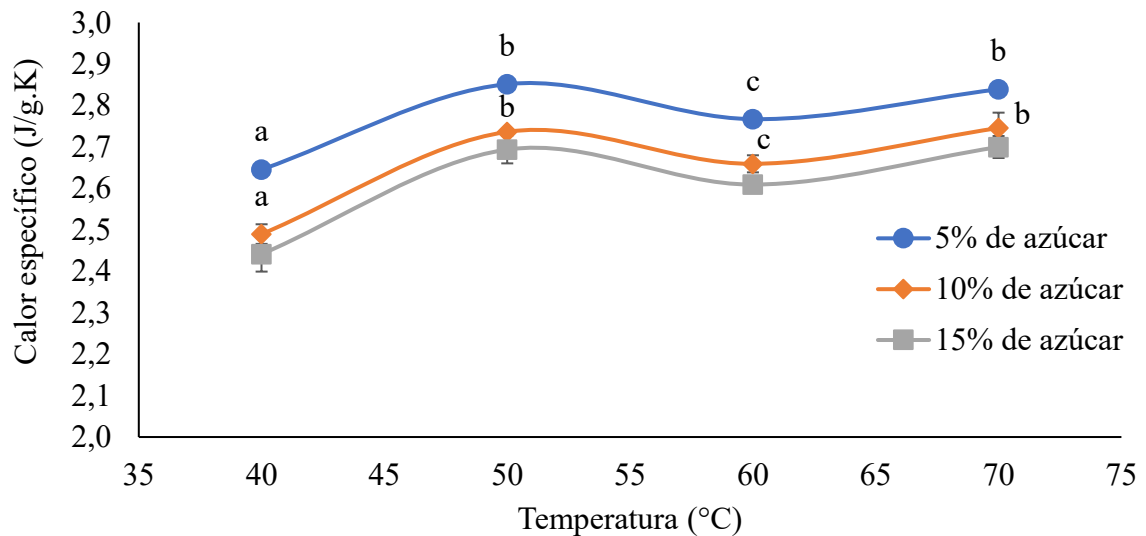


Figura 8. Calor específico de la pulpa de mango azucarada en función de la temperatura a cero días de almacenamiento

El tiempo de almacenamiento influye significativamente ($p < 0,05$) sobre el calor específico (Figura 9), Rajkumar et al. (2007) estudiaron las características de secado de pulpa de mango, indicaron que el calor específico de la pulpa de mango fresca fue mayor en comparación con la pulpa en polvo debido a la alta humedad antes del secado. Como mencionan también Bon et al. (2010) la capacidad calorífica del mango depende más del contenido de humedad que de la temperatura, por lo tanto, se puede explicar que la caída del calor específico puede deberse a pérdida de humedad de la pulpa a lo largo del almacenamiento, como se confirma en la Figura 4 donde se observa el incremento de los sólidos solubles totales.

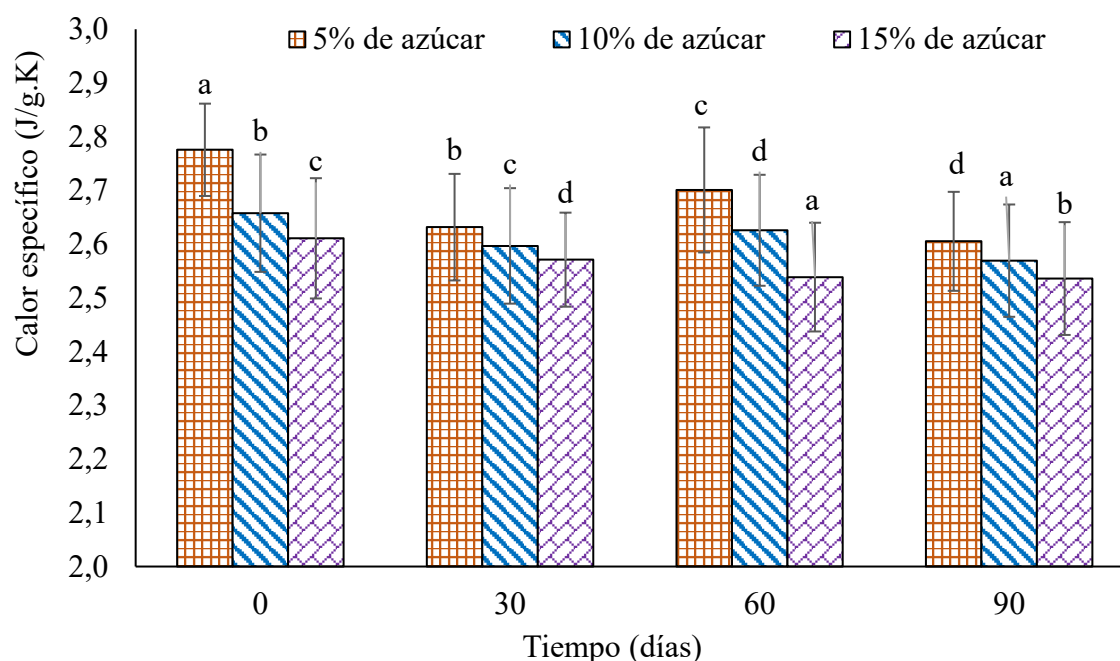


Figura 9. Calor específico de la pulpa de mango durante el almacenamiento

4.4.2. Difusividad térmica

Es ampliamente reconocido que para describir la transferencia de calor es necesario establecer las características termofísicas de la materia prima empleada (Santos-González et al., 2017), Una de estas características es la difusividad del calor (Ruiz-Cabrera et al., 2015). La difusividad térmica se encontró entre $1,151 \times 10^{-7}$ a $1,810 \times 10^{-7}$ los cuales son muy próximos a los informados por Dissa et al. (2011) quienes reportaron difusividades térmicas entre $1,07 \times 10^{-7}$ y $2,12 \times 10^{-7}$.

La difusividad térmica en función de la concentración de azúcar disuelta en la pulpa no mostro diferencias significativas en todos los tratamientos ($p > 0,05$) como se observa en la Figura 10. Chauhan et al. (2017) determinaron la difusividad térmica en cristales de caramelo preparados a partir de azúcar rubia a partir de *Borassus flabellifer* L, concluyeron que el incremento de los grados brix producía un descenso de la difusividad térmica, esta diferencia con nuestros resultados puede deberse a que en dicho estudio se compararon las difusividades para cambios de 10 °Brix en promedio, sin embargo, en este trabajo los cambios de los valores solidos solubles totales solo fue de 5 °Brix (Figura 4).

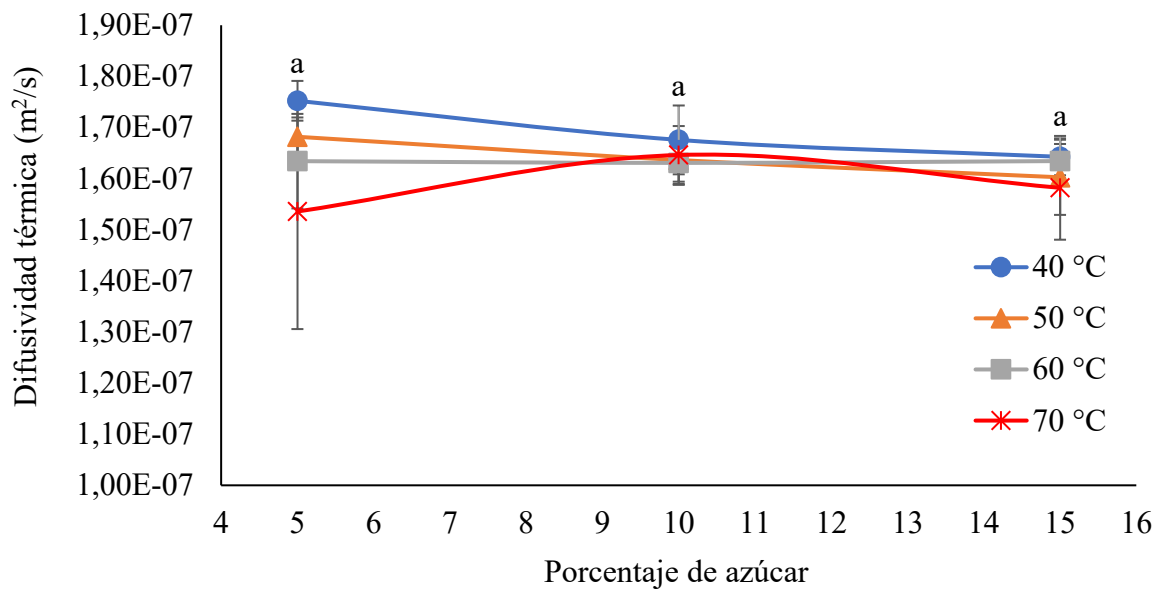


Figura 10. Difusividad de la pulpa de mango azucarada en función del porcentaje de azúcar

La difusividad térmica decrece ligeramente con el incremento de la temperatura, el cambio es estadísticamente significativo ($p < 0,05$) cuando alcanza los 80 °C (Figura 11). Se anticipa que las características termofísicas cambien durante el proceso. No obstante, diversos autores ven estas propiedades con valores estables (Muramatsu et al., 2017), y esta circunstancia puede generar fallos sistemáticos en los resultados logrados. Los escritores notaron que, en cada momento, durante un proceso temporal, existe una repartición de la temperatura en el producto y, por lo tanto, la difusividad térmica debe interpretarse como una función de la temperatura. Algunos estudios pueden ser mencionados. A modo de ejemplo, Greiby et al. (2014) calcularon la conductividad térmica en función de la temperatura del orujo de cereza durante la calefacción no isotérmica. Asimismo, Mishra et al. (2016) desarrollaron un instrumento basado en un procedimiento rápido para calcular las características térmicas de los alimentos que dependen de temperaturas entre 20 y 140 °C. Determinar con exactitud la difusividad térmica y el tiempo necesario para calentar un producto en un tratamiento térmico específico es sencillo mediante una simulación sencilla (Da Silva et al., 2011).

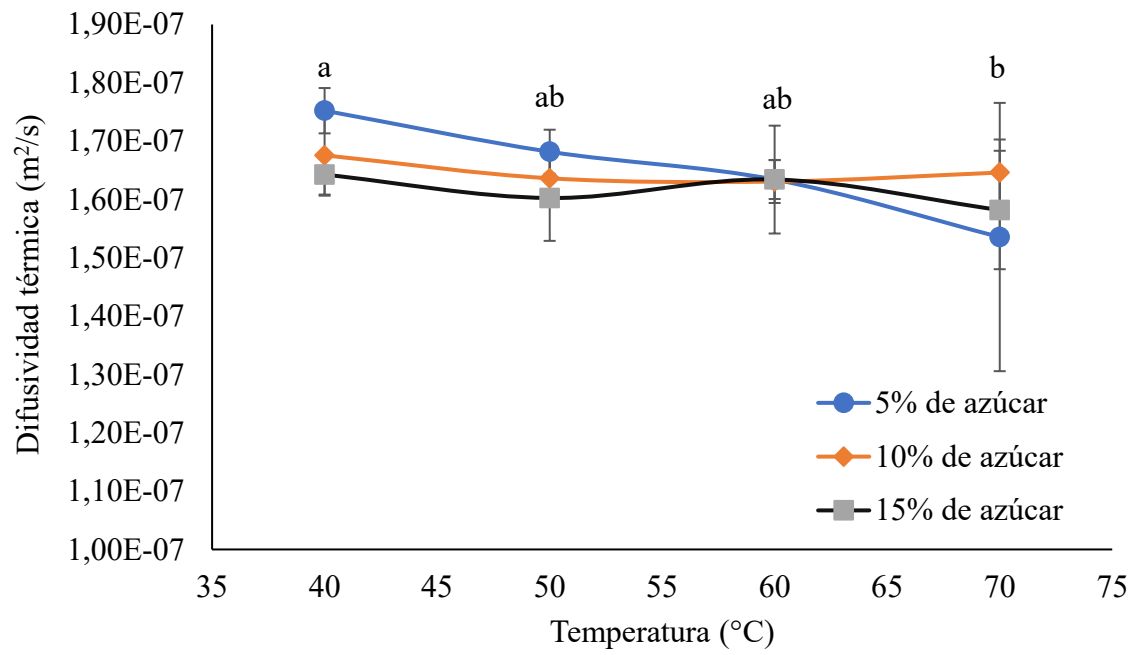


Figura 11. Difusividad de la pulpa de mango azucarada en función de la temperatura.

V. CONCLUSIONES

El rendimiento de la pulpa de mango fue de 81,84%, la diferencia resultó ser 9,32% de cáscara y 8,84% de semilla.

Los días de almacenamiento afectaron significativamente el pH, acidez titulable y sólidos solubles totales.

La caracterización reológica de la pulpa azucarada de mango en el almacenamiento demostró que el índice de consistencia y umbral de fluencia fueron afectados por la concentración de azúcar de manera directamente proporcional y los cambios durante el almacenamiento no fueron significativos. Los cambios en el índice de flujo por efecto de la concentración de azúcar no fueron significativos.

El calor específico fue afectado significativamente por la concentración de azúcar, temperatura y tiempo de almacenamiento. La difusividad térmica no fue influenciada por la concentración de azúcar, sin embargo, la temperatura lo cambió significativamente.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

- Estandarizar el pH mediante ácido cítrico a valores cercanos a 3, debido al almacenamiento el pH muy alto puede permitir el crecimiento de bacterias si el producto es descongelado.
- En futuros trabajos sobre conservación de pulpa en congelación se recomienda medir la humedad a lo largo del tiempo de estudio.

VII. REFERENCIAS

- Alhamdan, A., Hassan, B., Alkahtani, H., Abdelkarim, D., & Younis, M. (2018). Freezing of fresh Barhi dates for quality preservation during frozen storage. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(8), 1552-1561. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.02.003>
- ASTM. (2018). *Standard Test Method for Determining Specific Heat Capacity by Differential Scanning Calorimetry*. <https://www.astm.org/e1269-11r18.html>
- Barros, Á. C. F. de, Cordeiro, F. C., Silva, C. K. F. da, & Silva, Z. E. da. (2017). Rheological properties estimation of mango pulp by inverse methods. *International Journal of Food Properties*. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10942912.2017.1297948>
- Bezerra, T. S., Fernandes, T. N., & de Resende, J. V. (2015). Effects of added sucrose and pectin on the rheological behavior and freezing kinetics of passion fruit pulp Studied by response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*, 52(6), 3350-3357. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1400-0>
- Bon, J., Váquiro, H., Benedito, J., & Telis-Romero, J. (2010). Thermophysical properties of mango pulp (*Mangifera indica* L. cv. Tommy Atkins). *Journal of Food Engineering*, 97(4), 563-568. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.12.001>
- Brito, G. B. (2004). *Aplicación de nuevas tecnologías agroindustriales para el tratamiento de frutas tropicales y andinas para exportación*. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3903>
- Brookfield. (2010). *Programmable Rheometer / Operating Instructions / Manual No. M98-211-E0912*. <http://www.brookfieldengineering.com/>
- Buergy, A., Rolland-Sabaté, A., Leca, A., Falourd, X., Foucat, L., & Renard, C. M. G. C. (2021). Pectin degradation accounts for apple tissue fragmentation during thermomechanical-mediated puree production. *Food Hydrocolloids*, 120, 106885. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106885>
- Capitani, M. I., Corzo-Rios, L. J., Chel-Guerrero, L. A., Betancur-Ancona, D. A., Nolasco, S. M., & Tomás, M. C. (2015). Rheological properties of aqueous dispersions of chia (*Salvia hispanica* L.) mucilage. *Journal of Food Engineering*, 149, 70-77. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.09.043>
- Ceballos, A. M., Giraldo, G. I., & Orrego, C. E. (2012). Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried soursop fruit pulp. *Journal of Food Engineering*, 111(2), 360-365. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.02.010>

- Chauhan, L., Prakash, K. S., Srivastav, P. p., & Bashir, K. (2017). Physicochemical and Thermal Properties of Candy Crystals Prepared from Palmyra-Palm Jaggery. *Journal of Food Process Engineering*, 40(1), e12337. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12337>
- Conceição, M. C., Fernandes, T. N., Prado, M. E. T., & de Resende, J. V. (2012). Effect of sucrose and pectin addition on physical, chemical, thermal and rheological properties of frozen/thawed pineapple pulps. *Korea-Australia Rheology Journal*, 24(3), 229-239. <https://doi.org/10.1007/s13367-012-0028-8>
- Costa, H. C. B., Silva, D. O., & Vieira, L. G. M. (2018). Physical properties of açai-berry pulp and kinetics study of its anthocyanin thermal degradation. *Journal of Food Engineering*, 239, 104-113. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.07.007>
- Da Silva, F. D., Itoda, C., Rosa, C. I. L. F., Vital, A. C. P., Yamamoto, L. N., Yamamoto, L. Y., Botelho, R. V., & Matumoto-Pintro, P. T. (2018). Effects of blackberries (*Rubus* sp.; cv. Xavante) processing on its physicochemical properties, phenolic contents and antioxidant activity. *Journal of Food Science and Technology*, 55(11), 4642-4649. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3405-6>
- Da Silva, R. L. M., Maia, G. A., Figueiredo, R. W. de, Sousa, P. H. M. de, Gonzaga, M. L. da C., & Figueiredo, E. A. T. de. (2012). Estudo do comportamento reológico de polpas de caju (*Anacardium occidentale*, l.), acerola (*Malpighia emarginata*, d.c.) e manga (*Mangifera indica*, l.). *Semina: Ciências Agrárias*, 33(1), Article 1. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n1p237>
- Da Silva, W. P., e Silva, C. M. D. P. S., & Lins, M. A. A. (2011). Determination of expressions for the thermal diffusivity of canned foodstuffs by the inverse method and numerical simulations of heat penetration. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(4), 811-818. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02552.x>
- Dissa, A. O., Desmorieux, H., Degraeve, P., Bathiebo, J., & Koulidiati, J. (2011). Impact of Fruit Ripeness on Physicochemical Properties and Convective Drying Characteristics of Kent Mango (*Mangifera indica* L. cv. 'Kent'). *International Journal of Food Engineering*, 7(3). <https://doi.org/10.2202/1556-3758.2126>
- Evangelista, R. R., Sanches, M. A. R., de Castilhos, M. B. M., Cantú-Lozano, D., & Telis-Romero, J. (2020). Determination of the rheological behavior and thermophysical properties of malbec grape juice concentrates (*Vitis vinifera*). *Food Research International*, 137, 109431. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109431>
- F. de Barros, Á. C., Cavalcanti Cordeiro, F., F. da Silva, C. K., & da Silva, Z. E. (2017). Rheological properties estimation of mango pulp by inverse methods. *International*

- Journal of Food Properties*, 20(sup1), S366-S376.
<https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1297948>
- Faraoni, A. S., Ramos, A. M., Guedes, D. B., Moacir, M. R., & Pinto, R. (2013). Propriedades reológicas de sucos mistos de manga, goiaba e acerola adicionados de fitoquímicos. *Brazilian Journal of Food Technology*, 16, 21-28. <https://doi.org/10.1590/S1981-67232013005000002>
- Ferreira, G. M., Queiroz, A., Conceição, R. S., & Gasparetto, C. (2002). Efeito da temperatura no comportamento reológico das polpas de caju e goiaba. *Revista Ciências Exatas E Naturais*, 4, 175-184.
- Figuerola-Flórez, J. A., Barragán-Viloria, K., & Salcedo-Mendoza, J. G. (2017). Comportamiento reológico en pulpa edulcorada de mango (*Mangifera indica* L. cv. Magdalena river). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(3), Article 3. https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num3_art:748
- Gomes, R., & Penna, A. (2009). Características reológicas e sensoriais de bebidas lácteas funcionais. *Semina: Ciências Agrárias*, 30. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2009v30n3p629>
- Gómez-López, V. M., Orsolani, L., Martínez-Yépez, A., & Tapia, M. S. (2010). Microbiological and sensory quality of sonicated calcium-added orange juice. *LWT - Food Science and Technology*, 43(5), 808-813. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.01.008>
- Greiby, I., Mishra, D. K., & Dolan, K. D. (2014). Inverse method to sequentially estimate temperature-dependent thermal conductivity of cherry pomace during nonisothermal heating. *Journal of Food Engineering*, 127, 16-23. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.10.039>
- Guida, I. I. S., Villa-Velez, H. A., Santana, A. A., & Sampaio, R. M. (2020). STUDY OF THE STABILITY AND RHEOLOGICAL BEHAVIOR OF THE PULP OF BACURI (*Platonia insignis* Mart.). *Latin American Applied Research - An International Journal*, 50(1), Article 1. <https://doi.org/10.52292/j.laar.2020.57>
- Gutiérrez-Álzate, K., Rosario, I. L. S., de Jesus, R. L. C., Maciel, L. F., Santos, S. A., de Souza, C. O., Vieira, C. P., Cavalheiro, C. P., & Costa, M. P. da. (2023). Physicochemical, Rheological, and Nutritional Quality of Artisanal Fermented Milk Beverages with Cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) Pulp and Flour. *Foods*, 12(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/foods12112217>
- Hajji, W., Bellagha, S., & Allaf, K. (2020). Effect of partial drying intensity, frozen storage and repeated freeze-thaw cycles on some quality attributes of dehydrofrozen quince fruit.

- Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(1), 353-365.
<https://doi.org/10.1007/s11694-019-00297-z>
- Huang, F., Liu, Y., Zhang, R., Dong, L., Yi, Y., Deng, Y., Wei, Z., Wang, G., & Zhang, M. (2018). Chemical and rheological properties of polysaccharides from litchi pulp. *International Journal of Biological Macromolecules*, 112, 968-975.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.02.054>
- Huang, L., & Liu, L.-S. (2009). Simultaneous determination of thermal conductivity and thermal diffusivity of food and agricultural materials using a transient plane-source method. *Journal of Food Engineering*, 95(1), 179-185.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.04.024>
- Hussain, A., Kausar, T., Siddique, T., Kabir, K., An, Q. U., Rukhsar, F., Gorski, F. I., Yaqub, S., Kauser, S., Rehman, A., Najam, A., Haroon, H., Rafiu, A., Korma, S. A., & Mahdi, A. A. (2024). Physiological and biochemical variations of naturally ripened mango (*Mangifera Indica* L.) with synthetic calcium carbide and ethylene. *Scientific Reports*, 14(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52483-9>
- Inoue, I., Hanasaki, I., Suetsugu, D., & Kudo, T. (2025). 3D liquid pattern in beverage retained by pseudoplasticity of hydrocolloid polysaccharides. *Food Hydrocolloids*, 160, 110767.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110767>
- Jha, P. K., Chapleau, N., Meyers, P.-E., Pathier, D., & Le-Bail, A. (2024). Can cryogenic freezing preserve the quality of fruit matrices during long-term storage compared to the mechanical method? *Applied Food Research*, 4(1), 100374.
<https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100374>
- Kaushik, N., Kaur, B. P., Rao, P. S., & Mishra, H. N. (2014). Efecto del procesamiento a alta presión sobre el color, características bioquímicas y microbiológicas de la pulpa de mango (*Mangifera indica* cv. Amrapali). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 22, 40-50. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.12.011>
- Kaushik, N., Rao, P. S., & Mishra, H. N. (2016). Optimización de procesos para el procesamiento a alta presión asistido térmicamente de pulpa de mango (*Mangifera indica* L.) utilizando la metodología de superficie de respuesta. *LWT - Food Science and Technology*, 69, 372-381. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.062>
- Kumhar, D., Pareek, S., & Ameta, K. D. (2014). Effect of antioxidants and storage temperatures on browning and quality of custard apple (*Annona squamosa* L.) pulp. *Journal of scientific and industrial research*, Accepted.

- Larsson, M., & Duffy, J. (2013). An overview of measurement techniques for determination of yield stress. *Annu. Trans. Nord. Rheol. Soc.*, *21*, 125-138.
- Lopez-Sanchez, P., Nijssen, J., Blonk, H. C. G., Bialek, L., Schumm, S., & Langton, M. (2011). Effect of mechanical and thermal treatments on the microstructure and rheological properties of carrot, broccoli and tomato dispersions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *91*(2), 207-217. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4168>
- Maldonado-Celis, M. E., Yahia, E. M., Bedoya, R., Landázuri, P., Loango, N., Aguillón, J., Restrepo, B., & Guerrero Ospina, J. C. (2019). Chemical Composition of Mango (*Mangifera indica* L.) Fruit: Nutritional and Phytochemical Compounds. *Frontiers in Plant Science*, *10*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01073>
- Marcotte, M., Taherian Hoshahili, A. R., & Ramaswamy, H. S. (2001). Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. *Food Research International*, *34*(8), 695-703. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(01\)00091-6](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00091-6)
- Mieles-Gómez, L., Martínez, S. E. Q., & García-Zapateiro, L. A. (2023). Physicochemical Properties, Steady and Dynamic Rheological Measurements of Sour Guava (*Psidium araca*) Pulp. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, *11*(2), 560-568.
- Mishra, D. K., Dolan, K. D., Beck, J. V., & Ozadali, F. (2016). A novel instrument for rapid measurement of temperature-dependent thermal properties of conduction-heated food up to 140 °C. *Journal of Food Engineering*, *191*, 19-27. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.06.028>
- Moelants, K. R. N., Cardinaels, R., Jolie, R. P., Verrijssen, T. A. J., Van Buggenhout, S., Van Loey, A. M., Moldenaers, P., & Hendrickx, M. E. (2014). Rheology of Concentrated Tomato-Derived Suspensions: Effects of Particle Characteristics. *Food and Bioprocess Technology*, *7*(1), 248-264. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1070-3>
- Mokbul, M., Cheow, Y. L., & Siow, L. F. (2022). Characterization of the physicochemical properties of mango (*Mangifera indica* L., Dragon variety) kernel fat extracted via supercritical carbon dioxide and Soxhlet techniques. *Journal of Food Processing and Preservation*, *46*(8), e16799. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16799>
- Mukama, M., Ambaw, A., & Opara, U. L. (2020). Thermophysical properties of fruit—A review with reference to postharvest handling. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *14*(5), 2917-2937. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00536-8>
- Muramatsu, Y., Greiby, I., Mishra, D. K., & Dolan, K. D. (2017). Rapid Inverse Method to Measure Thermal Diffusivity of Low-Moisture Foods. *Journal of Food Science*, *82*(2), 420-428. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13563>

- Petzold, G., Caro, M., & Moreno, J. (2014). Influence of blanching, freezing and frozen storage on physicochemical properties of broad beans (*Vicia faba* L.). *International Journal of Refrigeration*, *40*, 429-434. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2013.05.007>
- Prasetia, H. A., Budiawan, S., Syahputra, A., Umiarsih, R., Pangastuwani, R., Fauzidanty, M. R., Harahap, I. S., Setyabudi, D. A., Affandi, Daulay, M. U., & Sutian, W. (2023). Effects of Freezing Time on Degradation of Durian (*Durio zibethinus* Murr.) Fruit's Attributes During the Frozen Storage. *Tropical Life Sciences Research*, *34*(1), Article 1. <https://doi.org/10.21315/tlsr2023.34.1.2>
- Quintero, C. V. D., German, G., Lucas-Aguirre, J., Leal, J., & Resumen. (2013). Caracterización fisicoquímica del mango comun (*Mangifera indica* L.) durante su proceso de maduración. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *11*, 10-18.
- Rajkumar, P., Kailappan, R., Viswanathan, R., & Raghavan, G. S. V. (2007). Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. *Journal of Food Engineering*, *79*(4), 1452-1459. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.027>
- Rao, J., Das, M., & Das, S. K. (2009). Changes in physical and thermo-physical properties of sugarcane, palmyra-palm and date-palm juices at different concentration of sugar. *Journal of Food Engineering*, *90*(4), 559-566. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.07.024>
- Rastegar, S., & Rahimzadeh, M. (2023). Impact of Maturity and Genotype on the Physicochemical Properties of Mango (*Mangifera indica* L.) Fruit. *Erwerbs-Obstbau*, *65*(5), 1647-1655. <https://doi.org/10.1007/s10341-023-00920-w>
- Rodríguez, M. C., Sandoval, G. R. H., & Velásquez, H. J. C. (2015). Optimización experimental de una formulación de pulpa de uchuva (*Physalis peruviana*) para mejorar su procesamiento en el secado por atomización. *Vitae*, *22*(2), Article 2. <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v22n2a07>
- Ruiz-Cabrera, M. A., De Anda-Salazar, A., González-García, R., Abud-Archila, M., & Grajales-Lagunes, A. (2015). Experimental and simulated thermal properties and process time for canned escamoles (*Liometopum apiculatum*) under sterilization conditions. *CyTA - Journal of Food*, *13*(2), 188-195. <https://doi.org/10.1080/19476337.2014.936512>
- Sánchez-Riaño, A. M., Solanilla-Duque, J. F., & Váquiro-Herrera, H. A. (2022). Desorption and thermophysical properties of feijoa pulp as affected by temperature and moisture content. *International Journal of Food Properties*, *25*(1), 2089-2106. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2125008>

- Santos-González, I., García-Valladares, O., Ortega, N., & Gómez, V. H. (2017). Numerical modeling and experimental analysis of the thermal performance of a Compound Parabolic Concentrator. *Applied Thermal Engineering*, *114*, 1152-1160. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.10.100>
- Sato, A. C. K., & Cunha, R. L. da. (2007). Influência da temperatura no comportamento reológico da polpa de jaboticaba. *Food Science and Technology*, *27*, 890-896. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000400033>
- Siller-Cepeda, J., Muy-Rangel, D., Báez-Sañudo, M., Araiza-Lizarde, E., & Ireta-Ojeda, A. (2009). Calidad poscosecha de cultivares de mango de maduración temprana, intermedia y tardía. *Revista fitotecnia mexicana*, *32*(1), 45-52.
- Silva, D. F. P. da, Siqueira, D. L. de, Pereira, C. S., Salomão, L. C. C., & Struiving, T. B. (2009). Caracterização de frutos de 15 cultivares de mangueira na Zona da Mata mineira. *Revista Ceres*, *56*(6), 783-789.
- Silva, E. de S., Santos Junior, H. B. dos, Guedes, T. J. F. L., Sandes, R. D. D., Rajan, M., Leite Neta, M. T. S., & Narain, N. (2021). Comparative analysis of fresh and processed mango (*Mangifera indica* L, cv. “Maria”) pulps: Influence of processing on the volatiles, bioactive compounds and antioxidant activity. *Food Science and Technology*, *42*, e54020. <https://doi.org/10.1590/fst.54020>
- Stevanović, S. M., Petrović, T. S., Marković, D. D., Milovančević, U. M., Stevanović, S. V., Urošević, T. M., & Kozarski, M. S. (2022). Changes of quality and free radical scavenging activity of strawberry and raspberry frozen under different conditions. *Journal of Food Processing and Preservation*, *46*(10), e15981. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15981>
- Telis-Romero, J., Guizzo-silva, L., Nicoletti, V., Telis, N., & Gabas, A. (2003). *Rheological Properties of Rehydrated Papaya*.
Texture of pureed fruit and vegetable foods. (2007). *Stewart Postharvest Review*, *3*(5), 1-14. <https://doi.org/10.2212/spr.2007.5.3>
- Tian, Y., Zhang, P., Zhu, Z., & Sun, D.-W. (2020). Development of a single/dual-frequency orthogonal ultrasound-assisted rapid freezing technique and its effects on quality attributes of frozen potatoes. *Journal of Food Engineering*, *286*, 110112. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110112>
- Tireki, S., Sumnu, G., & Sahin, S. (2023). Investigation of average crosslink distance and physicochemical properties of gummy candy during storage: Effect of formulation and

- storage temperature. *Physics of Fluids*, 35(5), 053115. <https://doi.org/10.1063/5.0146761>
- Toneli, J. T. D. C. L., Park, K. J., Murr, F. E. X., & Martinelli, P. O. (2008). Rheological Behavior of Concentrated Inulin Solution: Influence of Soluble Solids Concentration and Temperature. *Journal of Texture Studies*, 39(4), 369-392. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2008.00148.x>
- 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>
- Vidal, J. R. M. B., Pelegrine, D. H., & Gasparetto, C. A. (2004). Effect of the rheological behavior of mango pulp (*Mangifera indica* L-Keitt). *Food Science and Technology*, 24, 39-42. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612004000100008>
- Vidal, J. R. M. B., Sierakowski, M.-R., Haminiuk, C. W. I., & Masson, M. L. (2006). Propriedades reológicas da polpa de manga (*Mangifera indica* L. cv. Keitt) centrifugada. *Ciência e Agrotecnologia*, 30, 955-960. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000500020>
- Vilela, C., Santos, S. A. O., Oliveira, L., Camacho, J. F., Cordeiro, N., Freire, C. S. R., & Silvestre, A. J. D. (2013). La pulpa madura de *Mangifera indica* L.: Una rica fuente de fitoesteroles y otros fitoquímicos lipófilos. *Food Research International*, 54(2), 1535-1540. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.09.017>
- Wani, S. M., Masoodi, F. A., Ahmad, M., & Mir, S. A. (2018). Processing and storage of apricots: Effect on physicochemical and antioxidant properties. *Journal of Food Science and Technology*, 55(11), 4505-4514. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3381-x>
- Zhu, S., Marcotte, M., Ramaswamy, H., Shao, Y., & Le-Bail, A. (2008). Evaluation and comparison of thermal conductivity of food materials at high pressure. *Food and Bioprocess Processing*, 86(3), 147-153. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2006.08.001>

ANEXOS

Anexo 1. Extracción de pulpa mango

N°	Mango (g)	Cáscara (g)	Semilla (g)	Pulpa (g)	TOTAL
1	1039	117	107,3	814,7	1039
2	820	56,3	71,6	692,1	820
3	1040	84,7	73,6	881,7	1040
4	600	64,2	59	476,8	600
5	1000	69	64,8	866,2	1000
6	1474	115,8	96,7	1261,5	1474
7	870	58	52,9	759,1	870
8	849	54,9	100	694,1	849
9	593	69,2	63,7	460,1	593
10	643	59,2	67	516,8	643
11	1042	62,2	65,9	913,9	1042
12	772	57,6	99,4	615	772
13	1077	118,5	86,8	871,7	1077
14	703	112,8	70,8	519,4	703
15	787	70,6	82,1	634,3	787
16	598	83	63,4	451,6	598
17	984	134,6	91,4	758	984
TOTAL	14891	1387,6	1316,4	12187	14891

Anexo 2. Propiedades fisicoquímicas

TA	Propiedad	Azúcar	R1	R2	R3	Media	DE	CV
0 días	pH	5%	4,45	4,32	4,5	4,423	0,093	0,021
		10%	4,5	4,24	4,3	4,347	0,136	0,031
		15%	4,37	4,2	4,12	4,230	0,128	0,030
	Acidez	5%	0,685	0,696	0,675	0,685	0,011	0,015
		10%	0,710	0,719	0,696	0,708	0,012	0,016
		15%	0,650	0,633	0,644	0,643	0,009	0,013
	SST	5%	23,3	24	22	23,100	1,015	0,044
		10%	28	29	26	27,667	1,528	0,055
		15%	31,5	31	30	30,833	0,764	0,025
30 días	pH	5%	5,03	5,1	5,2	5,110	0,085	0,017
		10%	5,03	5,23	5,3	5,187	0,140	0,027
		15%	5,02	5,32	5,2	5,180	0,151	0,029
	Acidez	5%	0,520	0,538	0,525	0,527	0,010	0,018
		10%	0,507	0,538	0,559	0,534	0,026	0,049
		15%	0,520	0,550	0,579	0,549	0,030	0,054
	SST	5%	24	26	25	25,000	1,000	0,040
		10%	28,1	27,8	26	27,300	1,136	0,042
		15%	31,5	32,7	30,5	31,567	1,102	0,035
60 días	pH	5%	5,2	5,3	5,5	5,333	0,153	0,029
		10%	5,5	5,6	5,7	5,600	0,100	0,018
		15%	5,4	5,6	5,2	5,400	0,200	0,037
	Acidez	5%	0,486	0,480	0,508	0,491	0,015	0,030
		10%	0,543	0,504	0,511	0,519	0,020	0,039
		15%	0,516	0,514	0,498	0,509	0,010	0,019
	SST	5%	25,1	27	25,9	26,000	0,954	0,037
		10%	28	29,8	30,1	29,300	1,136	0,039
		15%	31,5	32,1	33,5	32,367	1,026	0,032
90 días	pH	5%	5,5	5,2	5,3	5,333	0,153	0,029
		10%	5,46	5,6	5,2	5,420	0,203	0,037
		15%	5,3	5,2	5,48	5,327	0,142	0,027
	Acidez	5%	0,469	0,453	0,475	0,466	0,012	0,025
		10%	0,482	0,485	0,494	0,487	0,006	0,013
		15%	0,489	0,476	0,493	0,486	0,009	0,019
	SST	5%	26,1	28	27	27,033	0,950	0,035
		10%	29	30	32	30,333	1,528	0,050
		15%	33	35,7	34,1	34,267	1,358	0,040

Anexo 3. Parámetros reológicos índice de consistencia (k), índice de flujo (n) y umbral de fluencia (τ_0)

TA	Azúcar	Parámetro	R1	R2	R3	Media	DE	CV
0 días	5%	k (Pa.s ⁿ)	5,439	5,060	5,433	5,311	0,217	0,041
		n	0,300	0,387	0,381	0,356	0,049	0,136
		τ_0 (Pa)	3,440	3,971	3,454	3,622	0,303	0,084
	10%	k (Pa.s ⁿ)	6,281	6,024	7,115	6,473	0,570	0,088
		n	0,310	0,458	0,331	0,366	0,080	0,219
		τ_0 (Pa)	4,999	3,879	4,444	4,441	0,560	0,126
	15%	k (Pa.s ⁿ)	13,010	13,849	12,161	13,007	0,844	0,065
		n	0,286	0,274	0,298	0,286	0,012	0,042
		τ_0 (Pa)	6,540	6,845	6,235	6,540	0,305	0,047
30 días	+ 5 %	k (Pa.s ⁿ)	5,468	4,712	5,085	5,088	0,378	0,074
		n	0,376	0,409	0,400	0,395	0,017	0,043
		τ_0 (Pa)	3,543	3,667	3,105	3,438	0,295	0,086
	10%	k (Pa.s ⁿ)	5,679	6,166	5,350	5,732	0,411	0,072
		n	0,359	0,350	0,399	0,369	0,026	0,071
		τ_0 (Pa)	2,776	3,459	3,129	3,121	0,342	0,109
	15%	k (Pa.s ⁿ)	8,369	11,925	11,731	10,675	1,999	0,187
		n	0,336	0,274	0,304	0,305	0,031	0,102
		τ_0 (Pa)	4,928	6,327	6,089	5,781	0,749	0,129
60 días	5%	k (Pa.s ⁿ)	3,912	4,077	3,995	3,995	0,083	0,021
		n	0,391	0,393	0,392	0,392	0,001	0,003
		τ_0 (Pa)	2,385	1,980	2,183	2,183	0,203	0,093
	10%	k (Pa.s ⁿ)	4,973	5,313	6,617	5,634	0,868	0,154
		n	0,328	0,394	0,313	0,345	0,043	0,125
		τ_0 (Pa)	3,971	3,934	3,887	3,931	0,042	0,011
	15%	k (Pa.s ⁿ)	8,240	8,034	8,046	8,107	0,116	0,014
		n	0,372	0,371	0,366	0,370	0,003	0,009
		τ_0 (Pa)	4,817	4,777	4,736	4,777	0,041	0,008
90 días	5%	k (Pa.s ⁿ)	5,718	5,565	5,411	5,565	0,154	0,028
		n	0,148	0,239	0,329	0,239	0,091	0,379
		τ_0 (Pa)	2,298	2,401	2,503	2,401	0,103	0,043
	10%	k (Pa.s ⁿ)	5,634	5,762	6,118	5,838	0,251	0,043
		n	0,312	0,397	0,375	0,361	0,044	0,122
		τ_0 (Pa)	4,382	4,557	4,032	4,324	0,267	0,062
	15%	k (Pa.s ⁿ)	10,747	10,348	9,012	10,036	0,909	0,091
		n	0,297	0,322	0,281	0,300	0,021	0,069
		τ_0 (Pa)	4,026	5,638	5,352	5,005	0,860	0,172

TA: Tiempo de almacenamiento; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variabilidad

Anexo 4. Calor específico (J/g.K) determinados por calorimetría

TA	Temp.	Azúcar	R1	R2	R3	Media	DE	CV
0 días	40 °C	5%	2,640	2,650	2,646	2,645	0,005	0,002
		10%	2,465	2,512	2,492	2,490	0,024	0,010
		15%	2,399	2,483	2,442	2,441	0,042	0,017
	50 °C	5%	2,837	2,866	2,851	2,851	0,015	0,005
		10%	2,733	2,739	2,737	2,736	0,003	0,001
		15%	2,660	2,727	2,694	2,694	0,033	0,012
	60 °C	5%	2,755	2,778	2,768	2,767	0,012	0,004
		10%	2,678	2,637	2,662	2,659	0,021	0,008
		15%	2,599	2,620	2,608	2,609	0,011	0,004
	70 °C	5%	2,845	2,834	2,839	2,839	0,005	0,002
		10%	2,782	2,708	2,747	2,745	0,037	0,013
		15%	2,726	2,673	2,700	2,700	0,027	0,010
30 días	40 °C	5%	2,451	2,460	2,537	2,483	0,047	0,019
		10%	2,420	2,446	2,428	2,431	0,013	0,005
		15%	2,507	2,429	2,408	2,448	0,052	0,021
	50 °C	5%	2,671	2,674	2,726	2,690	0,031	0,012
		10%	2,678	2,648	2,668	2,665	0,015	0,006
		15%	2,677	2,620	2,594	2,630	0,043	0,016
	60 °C	5%	2,613	2,622	2,677	2,637	0,035	0,013
		10%	2,590	2,565	2,684	2,613	0,063	0,024
		15%	2,611	2,559	2,547	2,572	0,034	0,013
	70 °C	5%	2,728	2,696	2,725	2,717	0,018	0,007
		10%	2,702	2,648	2,684	2,678	0,027	0,010
		15%	2,691	2,601	2,609	2,634	0,050	0,019
60 días	40 °C	5%	2,460	2,573	2,549	2,527	0,060	0,024
		10%	2,462	2,466	2,496	2,475	0,019	0,008
		15%	2,377	2,459	2,360	2,399	0,053	0,022
	50 °C	5%	2,735	2,794	2,810	2,779	0,040	0,014
		10%	2,660	2,717	2,655	2,677	0,035	0,013
		15%	2,577	2,651	2,549	2,592	0,053	0,020
	60 °C	5%	2,678	2,701	2,737	2,705	0,030	0,011
		10%	2,581	2,634	2,647	2,621	0,035	0,013
		15%	2,520	2,594	2,494	2,536	0,052	0,021
	70 °C	5%	2,746	2,810	2,820	2,792	0,040	0,014
		10%	2,708	2,717	2,767	2,731	0,032	0,012
		15%	2,584	2,680	2,619	2,628	0,049	0,019

...Continua

Continúa...

TA	Temp.	Azúcar	R1	R2	R3	Media	DE	CV
90 días	40 °C	5%	2,484	2,452	2,493	2,476	0,021	0,009
		10%	2,401	2,409	2,395	2,402	0,007	0,003
		15%	2,364	2,416	2,361	2,380	0,031	0,013
	50 °C	5%	2,716	2,650	2,664	2,677	0,035	0,013
		10%	2,631	2,661	2,666	2,653	0,019	0,007
		15%	2,601	2,622	2,584	2,602	0,019	0,007
	60 °C	5%	2,647	2,582	2,580	2,603	0,038	0,015
		10%	2,585	2,610	2,574	2,590	0,018	0,007
		15%	2,570	2,550	2,495	2,538	0,039	0,015
	70 °C	5%	2,749	2,643	2,604	2,665	0,075	0,028
		10%	2,629	2,630	2,641	2,633	0,006	0,002
		15%	2,637	2,674	2,558	2,623	0,059	0,022

Anexo 5. Galería fotográfica



Materia prima



Inicio de proceso de obtención de pulpa



Pelado



Separación de pulpa, cáscara y semilla



Pulpa de mango



Envasado de pulpa azucarada



Sellado de bolsas con pulpa azucarada



Pulpa azucarada a 5, 10 y 15%



Pruebas reológicas



Pruebas termofísicas