

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**

**TESIS PARA OBTENER
EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA AGROINDUSTRIAL**

**PROPIEDADES TÉRMICAS Y REOLÓGICAS DE
CHOCOLATE CON LECHE A PARTIR DE LICOR DE
CACAO DE DISTINTAS PROCEDENCIAS**

Autor: Bach. Diana Rosy Nuñez Perez

Asesora: Ms. Marleni Medina Mendoza

Co-asesor: Ms. César Rafael Balcázar Zumaeta

Registro: (.....)

CHACHAPOYAS – PERÚ

2024

DEDICATORIA

A Dios, por protegerme y brindarme salud.

A mis padres Silvia Perez y Mesias Nuñez,

Que siempre han estado ahí para acompañarme en cada fase de mi vida, demostrándome su inmenso amor.

Han sido quienes me han guiado y moldeado en la persona que soy y llegaré a ser. Muchos de mis logros se deben a ustedes, incluido este

A mi querida Abby Delgado, mi mayor motivación y fuente de inspiración, gracias por ser mi luz en los momentos más oscuros y por recordarme constantemente el propósito de este esfuerzo

A mis hermanos, familiares, amigos y docentes por sus consejos y apoyo incondicional que me brindaron todo este tiempo.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios Padre Todo Poderoso por darme la vida, y la fuerza necesaria para poder avanzar en todas las metas propuestas.

Agradecer a mi Asesora, la Ms. Marleni Medina Mendoza por el apoyo y guía durante la ejecución de la investigación y proporcionarme los consejos necesarios que se materializan hoy en el presente informe.

De igual manera, al Ms. César Rafael Balcázar Zumaeta por las recomendaciones y orientaciones en la presentación de resultados y consejos para reforzar el presente trabajo de investigación.

Asimismo, agradecer al Dr. Efraín Manuelito Castro Alayo y la Ing. Llisela Torrejón Valqui por proporcionarme las facilidades de desarrollar mis análisis en el Laboratorio de Biotecnología Agroindustrial de la UNTRM.

Un agradecimiento especial al Proyecto C.U.I. N° 2343049 “Creación de los servicios de investigación en ingeniería de los alimentos y postcosecha de la UNTRM”, que a través del Laboratorio de Investigación en Ingeniería de los Alimentos y Poscosecha me brindo la facilidad de instalaciones y equipos para el desarrollo de la investigación.

Por último, a la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, por albergarme durante los años de mi formación de estudio de pregrado.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

Ph. D. Jorge Luis Maicelo Quintana

Rector

Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres

Vicerrector Académico

Dra. María Nelly Luján Espinoza

Vicerrectora de Investigación

Dr. Erick Aldo Auquiñivín Silva

Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias

VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS



ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM ()/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada «PROPIEDADES TÉRMICAS Y REOLÓGICAS DE CHOCOLATE CON LECHE A PARTIR DE LICOR DE CAJAO DE DISTINTAS PROCEDENCIAS» ; del egresado DIANA ROSY NUÑEZ PEREZ de la Facultad de INGENIERIA Y CIENCIAS DERDRIAS Escuela Profesional de INGENIERIA DERINDUSTRIAL de esta Casa Superior de Estudios.



El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 08 de FEBRERO de 2024


Firma y nombre completo del Asesor

ING. MS. MARLENI MEDINA MENDOZA

VISTO BUENO DEL CO-ASESOR DE LA TESIS



ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM ()/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada “PROPIEDADES TÉRMICAS Y REOLÓGICAS DE CHOCOLATE CON LECHE A PARTIR DE LICOR DE CACAO DE DISTINTAS PROCEDENCIAS” ; del egresado DIANA ROSY NUÑEZ PEREZ de la Facultad de INGENIERIA Y CIENCIAS AGRARIAS Escuela Profesional de INGENIERIA DE INDUSTRIA de esta Casa Superior de Estudios.



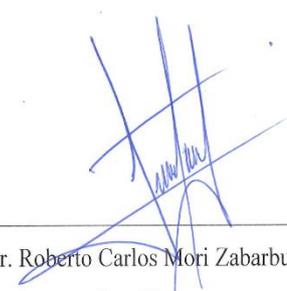
El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 08 de FEBRERO de 2024

Firma y nombre completo del Asesor

Ingr. Ms. César Rafael Balcazar Zumacta

JURADO EVALUADOR DE LA TESIS



Dr. Roberto Carlos Mori Zabarrurú
Presidente

Aline Camila Caetano

M. Sc. Aline Camila Caetano
Secretario



Dr. Erick Aldo Auquiñivín Silva
Vocal

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



ANEXO 3-Q

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

«PROPIEDADES TÉCNICAS Y REOLOGÍA DE CHOCOLATE CON LECHE A PARTIR DE LICOR DE CACAO DE DISTINTAS PROCEDENCIAS»

presentada por el estudiante ()/egresado (X) DIANA ROSY NUÑEZ PEREZ
de la Escuela Profesional de INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
con correo electrónico institucional 71497536@UNTRM-EDU-PE

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- a) La citada Tesis tiene 20 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (X) / igual () al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- b) La citada Tesis tiene _____ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.



Chachapoyas, 04 de ABRIL del 2024

Olivia Camila Cárdeno
SECRETARIO

[Signature]
VOCAL

[Signature]
PRESIDENTE

OBSERVACIONES:
.....
.....

REPORTE TURNITIN

PROPIEDADES TÉRMICAS Y REOLÓGICAS DE CHOCOLATE CON LECHE A PARTIR DE LICOR DE CACAO DE DISTINTAS PROCEDENCIAS

INFORME DE ORIGINALIDAD

20% INDICE DE SIMILITUD	19% FUENTES DE INTERNET	5% PUBLICACIONES	6% TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
-----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------	--------------------------------------

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	8%
2	repositorio.untrm.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	Submitted to Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas Trabajo del estudiante	1%
4	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unas.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	revistas.unas.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	uvadoc.uva.es Fuente de Internet	<1%



Dr. Roberto Carlos Moxi Zabarburúix

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-S

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 15 de mayo del año 2024 siendo las 15 horas, el aspirante: Diana Rosy Nuñez Perez, asesorado por Ing. Ms. Marleni Medina Mendoza defiende en sesión pública presencial () / a distancia () la Tesis titulada: Propiedades térmicas y reológicas de chocolate con leche a partir de licor de cacao de distintas procedencias, para obtener el Título Profesional de Ingeniera Agroindustrial, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Dr. Roberto Carlos Mori Zaherburú

Secretario: M.Sc. Aline Camila Caetano

Vocal: Dr. Erick Aldo Aquilivivín Silva

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado () por Unanimidad () / Mayoría () Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 17:12 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

Aline Camila Caetano
SECRETARIO


VOCAL


PRESIDENTE

OBSERVACIONES:
.....

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS	iv
VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS	v
VISTO BUENO DEL CO-ASESOR DE LA TESIS	vi
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS	vii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS	viii
REPORTE TURNITIN	ix
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS	x
ÍNDICE GENERAL	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
I. INTRODUCCIÓN	16
II. MATERIALES Y MÉTODOS	19
2.1. Material de estudio	19
2.2. Métodos y técnicas	19
2.3. Análisis de datos	22
III. RESULTADOS	23
3.1. Determinar las propiedades térmicas (cristalización y fusión) de chocolate con leche a partir de licor de cacao de distintas procedencias	23
3.2. Determinar las propiedades reológicas de chocolate con leche a partir de licor de cacao de distintas procedencias	25
IV. DISCUSIÓN	30
V. CONCLUSIONES	34
VI. RECOMENDACIONES	35
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
ANEXOS	43
Anexo 1. Reportes de los termogramas DSC en las muestras de chocolates oscuros	43
Anexo 2. Galería fotográfica	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Procedencia del cacao criollo para la elaboración de chocolate con leche.....	19
Tabla 2 Propiedades térmicas de cristalización en chocolate con leche a partir de licor de cacao de distintas procedencias	23
Tabla 3 Propiedades térmicas de fusión en chocolate con leche a partir de licor de cacao de distintas procedencias.	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujoograma de la elaboración de chocolate con leche.....	20
Figura 2. Límite elástico de Casson en chocolate con leche a partir de licor de cacao de distintas procedencias	25
Figura 3. Viscosidad plástica en chocolate con leche a partir de licor de cacao de distintas procedencias.....	26
Figura 4. Dureza en chocolate con leche a partir de licor de cacao de distintas procedencias.....	26
Figura 5. Fracturabilidad en chocolate con leche a partir de licor de cacao de distintas procedencias.....	27
Figura 6. Comportamiento el límite elástico de Casson en chocolate con leche a partir de licor de cacao de distintas procedencias	28
Figura 7. Comportamiento de la viscosidad en chocolate con leche a partir de licor de cacao de distintas procedencias	29
Figura 8. Termograma de la muestra de chocolate con leche (Casual)	43
Figura 9. Termograma de la muestra de chocolate con leche (Chiriaco)	43
Figura 10. Termograma de la muestra de chocolate con leche (Chonza).....	44
Figura 11. Termograma de la muestra de chocolate con leche (José Olaya).....	44
Figura 12. Termograma de la muestra de chocolate con leche (Kigkis)	45
Figura 13. Termograma de la muestra de chocolate con leche (Limonyacu).....	45
Figura 14. Termograma de la muestra de chocolate con leche (Naranjos alto).....	46
Figura 15. Termograma de la muestra de chocolate con leche (Pakun)	46
Figura 16. Termograma de la muestra de chocolate con leche (Santa Rosa)	47
Figura 17. Recolección del material de cacao procedente de distintas localidades.....	48
Figura 18. Grano de cacao seco procedente de distintas localidades.....	48
Figura 19. Procesamiento del cacao para la obtención del licor de cacao de distintas procedencias.....	49
Figura 20. Elaboración de chocolates con leche a partir de licor de cacao de distintas procedencias.....	49
Figura 21. Barras de chocolates con leche a partir de licor de cacao de distintas procedencias.....	50
Figura 22. Análisis reológicas de las muestras de chocolate con leche.....	50
Figura 23. Análisis térmico de las muestras de chocolate con leche.....	51

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar las propiedades térmicas y reológicas de chocolate con leche a partir de licor de cacao de distintas procedencias. Para ello, se trabajó con cacao criollo procedente de nueve localidades productores de la zona norte de Amazonas, para la obtención de licor de cacao; y, a partir de ello, se elaboraron chocolate con leche. Se evaluaron las propiedades térmicas en la cristalización y fusión mediante calorimetría de barrido diferencial, y las reológicas mediante un texturómetro (límite elástico de Casson, viscosidad plástica, dureza y fracturabilidad). Los datos se obtuvieron por triplicado y se procesaron mediante el software RMarkdown (RStudio) mediante un análisis de varianza de una vía. Los resultados demostraron que la procedencia del licor de cacao en la temperatura (onset y endset) es significativa ($p < 0.05$) en cristalización y fusión. La temperatura de cristalización (T_c) se reportó entre 10.2 a 10.9 °C y la temperatura de fusión (T_m), de acuerdo a los resultados (17.8°C) representa un pico endotérmico que se asocia a la polimorfa α característico de la manteca de cacao en el chocolate. En cuanto a la reología, el límite elástico alcanzó 29.5 Pa, y la viscosidad plástica se reportó valores mayores a 6.2 Pa·s en chocolates con leche a partir de licor de cacao procedente de José Olaya y Limonyacu; y, una dureza que estuvo entre 9.2 a 23.0 N. Se concluyó que tanto las propiedades térmicas como reológicas influyen en el flujo del chocolate, que en el estudio es “no newtoniano”.

Palabras claves: Criollo, licor de cacao, no newtoniano, endoterma, exoterma

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the thermal and rheological properties of milk chocolate made from cocoa liquor from different origins. To this end, criollo cocoa from nine cocoa-producing localities in northern Amazonas was used to obtain cocoa liquor, from which milk chocolate was made. Thermal properties were evaluated in crystallization and fusion by differential scanning calorimetry, and rheological properties by means of a texturometer (Casson's elastic limit, plastic viscosity, hardness and fracturability). Data were obtained in triplicate and processed using RMarkdown software (RStudio) by one-way analysis of variance. Data were obtained in triplicate and processed using RMarkdown software (RStudio) by one-way analysis of variance. The results showed that the origin of cocoa liquor on temperature (onset and endset) is significant ($p < 0.05$) in crystallization and melting. The crystallization temperature (T_c) was reported between 10.2 to 10.9 °C and the melting temperature (T_m), according to the results (17.8°C) represents an endothermic peak that is associated with the polymorphic α characteristic of cocoa butter in chocolate. Regarding rheology, the elastic limit reached 29.5 Pa, and the plastic viscosity was reported values greater than 6.2 Pa·s in milk chocolates from cocoa liquor originating from José Olaya and Limonyacu; and, a hardness that ranged from 9.2 to 23.0 N. It was concluded that both thermal and rheological properties influence the flow of the chocolate, which in the study is "non-Newtonian".

Keywords: Criollo, cocoa liquor, non-Newtonian, endotherm, exotherm.

I. INTRODUCCIÓN

El chocolate es masa de cacao y azúcar suspendidos en una matriz de manteca de cacao (Lim et al., 2021); cuya producción consta de la mezcla de ingredientes, refinado, conchado, templado y la cristalización (Konar et al., 2014). El cacao y sus derivados son ampliamente demandados por ser un sistema multifásico que le otorgan cualidades reológicas y sensoriales específicas, con un impacto positivo en la salud por su fracción polifenólica y compuestos volátiles (Balcázar-Zumaeta, Castro-Alayo, Muñoz-Astecker, et al., 2023; Rohm et al., 2018).

Actualmente se tiene tres tipos de chocolates (oscuro, blanco y con leche) que se diferencian en la composición del contenido de sólidos de cacao, manteca de cacao y grasa de leche (Hajiyeva & Shamilova, 2021). Referente al chocolate con leche es un producto preferido en los sectores más jóvenes (Konar et al., 2014), siendo una mezcla compleja de ingredientes con fuentes relativamente buenas de calcio (Ostrowska-Ligęza et al., 2022), se obtiene a partir de licor de cacao, azúcar y leche (Devos et al., 2021), presentando un sistema reológico de partículas sólidas dispersas en la manteca de cacao (Ostrowska-Ligęza et al., 2018). El chocolate se consume en gran medida por ser un producto placentero (aroma) (Ostrowska-Ligęza et al., 2019; Toker et al., 2019), por lo que es importante estudiar la calidad deseada para que destaque tanto por su valor nutricional como por sus propiedades químicas y físicas percibidas.

El chocolate contiene cristales complejos (cristales de forma I a forma V) que se derrite de un estado sólido a temperatura ambiente a una suspensión suave y en un fluido viscoso a temperatura corporal definida por características de la fase lipídica (Mantihal et al., 2019; Ziegler et al., 2001), siendo estos cristales responsables de la formación de cristales β de forma V y que junto a las propiedades de fusión contribuyen a la calidad del chocolate influyendo en una mayor aceptabilidad por la apariencia, brillo y estabilidad del producto durante su almacenamiento (Dolatowska-Żebrowska et al., 2019).

Debido a la complejidad de ingredientes es necesario una herramienta sensible que pueda determinar la composición del chocolate desde un punto de vista termoanalítico (Lapčiková et al., 2022), siendo la calorimetría de barrido diferencial (DSC) un método que permite evaluar el perfil de fusión o cristalización del chocolate (Ioannidi et al., 2021). El análisis térmico mediante el método del DSC evidencia la naturaleza de la

muestra o modificaciones por el procesamiento (Hajiyeva & Shamilova, 2021), determinando el perfil de fusión que pueda ser una imagen cualitativa y cuantitativa de cada chocolate reflejando variedades de grasas y condiciones aplicadas debido a la composición de ácidos grasos y partículas sólidas finas como azúcar y cacao según el tipo de chocolate (Dolatowska-Żebrowska et al., 2019; Lapčíková et al., 2022).

De acuerdo, a la investigación de Lim et al. (2021) se elaboraron chocolates oscuros sin sacarosa no impacta significativamente en la fusión y cristalización del chocolate, pero mostró una viscosidad Casson y dureza más bajos en comparación al chocolate que contiene sacarosa explicado por la interacción partícula-partícula más débil en el chocolate sin sacarosa.

De otro lado, el chocolate es una sustancia no newtoniana (Toker et al., 2021), cuya reología determina las propiedades de fluidez que sirve para predecir diferentes atributos como es la textura del chocolate (Mantihal et al., 2019) influenciados a su vez por la composición del mismo y afectados por las condiciones del proceso y almacenamiento (Lapčíková et al., 2022), siendo necesario para pronosticar la aceptación del consumidor (Toker et al., 2021). Por ejemplo, en el estudio de Rohm et al. (2018), el análisis de partículas en chocolate evidenció que la distribución de tamaño junto a la geometría y superficie de tamaño de las partículas fueron influenciadas por el refinado y tipo de refinador, además de demostrar que la intensidad de tensiones durante dicho proceso afecta las propiedades reológicas del chocolate.

La reología en chocolate con leche ubicamos la investigación de Konar et al. (2014) sobre el enriquecimiento de este tipo de chocolate con inulina como sustancia prebiótica donde se evidenció que dicho ingrediente tuvo efecto significativo sobre la dureza, actividad del agua, límite elástico y viscosidad. En el estudio de Konar et al. (2018), donde en la elaboración de chocolate con leche se adicionó diferentes formas de ácidos grasos (omega-3, EPA y DHA) después del conchado; los resultados indicaron un intervalo de viscosidad entre 7685 y 15 600 mPa*s, límite elástico que osciló entre 79,1 y 237,5 Pa, indicando que las propiedades reológicas son influenciadas por los ingredientes adicionados a diferentes niveles y se concluye que el uso de chocolate con leche es un agente de liberación de EPA y/o DHA.

En cuanto a las propiedades térmicas en el chocolate con leche; Dolatowska-Żebrowska et al. (2019), empleando como sustituto leche de cabra en dicho tipo de chocolate evidenció un perfil térmico similar al de un chocolate amargo, además la fusión de la grasa extraída del chocolate con leche de cabra mostró un mayor contenido de manteca de cacao en comparación a la mezcla que contenía grasa de leche de cabra evidenciándose así diferencias en las curvas de fusión DSC. En la investigación de Ostrowska-Liğeza et al. (2019) sobre las características térmicas en chocolate negro, leche y blanco; se evidenció que las curvas de fusión DSC de los chocolates están en función con la calidad y cantidad de grasa, adición de azúcar y/o emulsionantes y distribución de tamaño de partículas del producto, además las curvas de fusión en las grasas extraídas de los chocolate muestran un pico de mayor temperatura de la grasa láctea en comparación al pico de temperatura de la manteca de cacao que se debe al cambio de temperatura de fusión hacia los triacilgliceroles de bajo punto de fusión, siendo el método DSC útil para determinar diferencias entre la cantidad de ingredientes de los tres tipos de chocolate.

El estudio reportado por Lapčiková et al. (2022), en la elaboración de chocolate con leche adicionado suero de leche, se evidenció cambios en la cristalinidad de grasa de chocolate por medio de la ruptura de agregados cristalinos densos de grasa de cacao por la adición del suero a la masa compleja del chocolate, dicho cambios afectan las propiedades térmicas y reológicas del producto al disminuir la temperatura máxima de fusión y la viscosidad plástica de Casson debido al aumento del contenido de suero y se observó una disminución proporcional de la dureza por el efecto plastificante de partículas del suero en la estructura cristalina del chocolate.

El procesamiento como los ingredientes son importantes para determinar la calidad del chocolate (Konar et al., 2014), siendo las propiedades térmicas junto a la reología parámetros importantes que evidencian la calidad del chocolate (Lapčiková et al., 2022; Toker et al., 2019; Ziegler et al., 2001). Actualmente existe una mayor necesidad de comprender las variables que afectan las propiedades del chocolate (Toker et al., 2021), por lo que el presente estudio pretende determinar las propiedades en chocolates con leche a partir de licor de cacao de distintas procedencias; para lo cual se tuvo como objetivos específicos: Determinar las propiedades térmicas (cristalización y fusión), y las propiedades reológicas de chocolate con leche a partir de licor de cacao de distintas procedencias.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Material de estudio

Las muestras de cacao para la obtención del licor de cacao que se utilizó en la elaboración de chocolate con leche fueron procedentes de parcelas productoras de los distritos de Cajaruro, Copallín, La Peca y Bagua perteneciente a la Cooperativa APROCAM.

Tabla 1

Procedencia del cacao criollo para la elaboración de chocolate con leche

Localidad: Centro Poblado	Distrito	Geolocalización	Altitud (m.s.n.m.)	
Kigkis	Nieva	4° 53' 47.3" S; 77° 55' 30.3" W	233	< 300 msnm
Pakun	Imaza	5° 10' 18.3" S; 78° 17' 6.8" W	297	
Chiriaco	Imaza	5° 9' 50.4" S; 78° 17' 19.8" W	312	[300 – 700] msnm
Casual	Bagua	5° 35' 25.7" S; 78° 33' 8.1" W	393	
Naranjos alto	Cajaruro	5° 44' 6.8" S; 78° 21' 36.3" W	679	> 900 msnm
Chonza	Copallín	5° 38' 47.4" S; 78° 24' 47.3" W	951	
Limonyacu	Bagua	5° 49' 27.3" S; 78° 25' 41.2" W	1134	> 1500 msnm
Santa Rosa	Bagua Grande	5° 51' 22.1" S; 78° 25' 24" W	1521	
José Olaya	Cajaruro	5° 43' 50.4" S; 78° 13' 5.8" W	1976	

2.2. Métodos y técnicas

a) Preparación del licor de cacao

Para obtener el licor se empleó la técnica descrita por Nazario et al. (2013), para ello se realizó la limpieza de granos para eliminar residuos extraños o granos defectuosos, luego se tostó a 115°C por 20 minutos (Imsa Perú, AMD-Z, Perú) además con la finalidad de separar la cascarilla del grano se llevaron a un descascarillador.

Posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente por 20 minutos, luego los nibs obtenidos se trituró en un molino (Prosol Perú SAC, Tritur-50, Perú), estos una vez molidos se pasó a un proceso de refinador de dos rodillos (Premier, PG508, India), a 50°C por cuatro horas para ayudar a la finura.

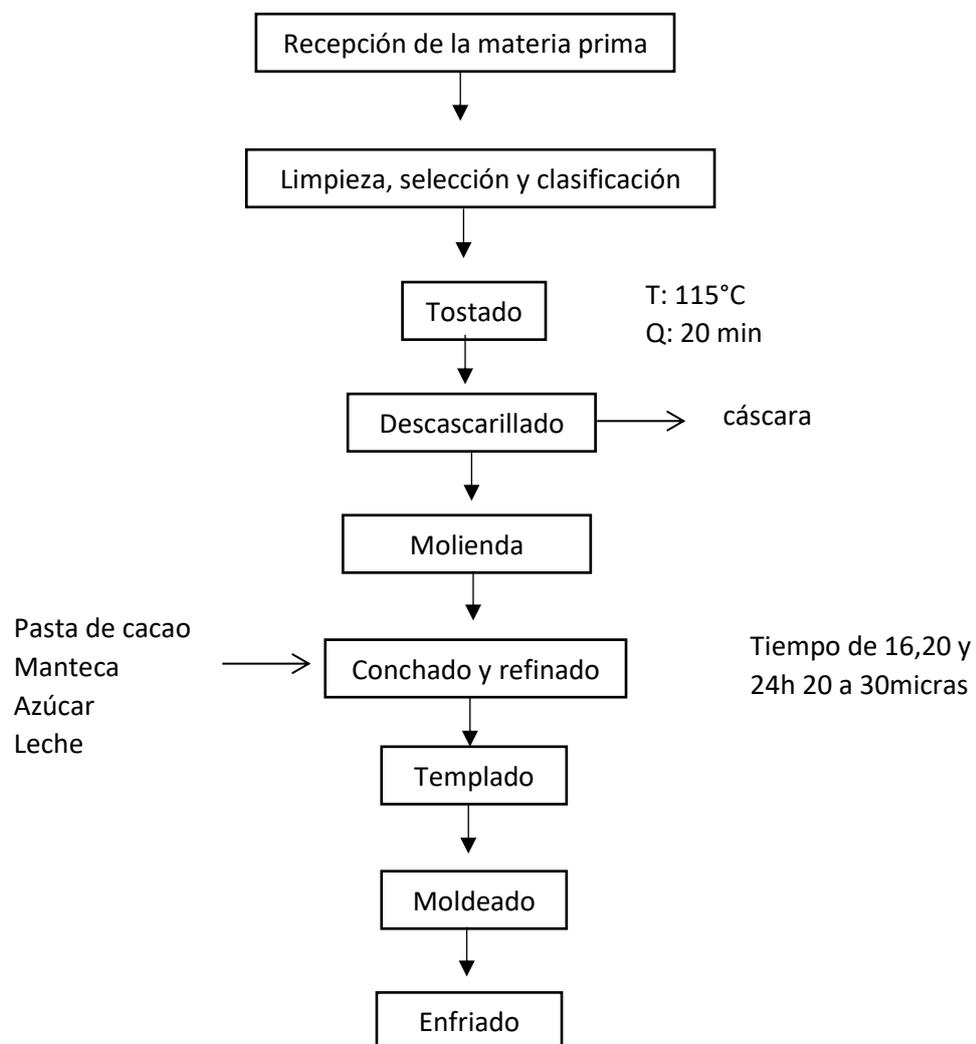
El licor obtenido se colocó en recipiente de plástico debidamente codificados de acuerdo a la tabla 1 con un rotulado para facilitar la identificación. Se dejó enfriar y se almacenó a 4°C, hasta su posterior uso.

b) Elaboración de chocolate con leche

La pasta de cacao obtenido en la tabla 1 se empleó para elaborar chocolate de cada localidad, para la elaboración de chocolate con leche se siguió el siguiente procedimiento:

Figura 1

Flujograma de la elaboración de chocolate con leche



c) Propiedades térmicas: Comportamiento de cristalización y fusión

Las temperaturas de cristalización y fusión de los chocolates con leche de distintas procedencias se utilizó el procedimiento descrito por Castro-Alayo et al. (2023): Se obtuvieron las temperaturas de cristalización y fusión en chocolates con leche. Las temperaturas de cristalización y fusión se determinaron con un calorímetro diferencial de barrido (DSC) (TA Instruments, Discovery DSC 2500, EE. UU.); para ello, se tomó aproximadamente 5 mg en un recipiente de aluminio de bajas masa T_{zero} que fue sellado con una prensa de muestra. Como referencia se empleó un recipiente vacío para obtener la configuración inicial. Se eliminó la memoria cristalina para la homogeneidad, luego las muestras se calentaron desde temperatura ambiente a 60 °C (se mantuvo por 10 minutos).

Las muestras se enfriaron a 10 °C/min hasta -35 °C que se mantuvo por 10 min, seguido de un incremento a 10 °C/min hasta 60 °C. Posteriormente, empleando el software Trios, se determinaron las temperaturas de cristalización (T_c) y derretimiento (T_m), los cuales correspondieron a las temperaturas de los picos de cristalización (exoterma) y fusión (endoterma) en el termograma (flujo de calor vs temperatura). Asimismo, el inicio (T_{onset}) y el final (T_{endset}) se determinaron en cada pico. Por último, el trazado de referencia permitió obtener la entalpía en cada proceso como área del pico (en J/g).

d) Propiedades reológicas

- **Textura:** Se empleó un analizador de textura (CT3 Texture Analyzer, AMETEK Brookfield, MA, EE.UU.) de acuerdo a lo descrito por Balcázar-Zumaeta et al. (2022), equipado con una celda de 25 kg de carga y sonda de acero inoxidable (TA2/1000) para medir la textura. Las muestras de chocolate con leche se mantuvieron a temperatura ambiente por una hora previo a la medición. Los parámetros empleados para la velocidad previa, la velocidad de prueba, carga de celda y fuerza de disparo se determinaron en 0.5 mm/s, 2.0 mm/s, 0.7 mm × 55 mm × 50 mm, 3 mm, 1~2 min, 50 mm/s, 25 kg y 20 g, respectivamente. Se determinó la dureza y fracturabilidad (ambos en N).

- **Propiedades de fluidez:** Se empleó lo descrito por Balcázar-Zumaeta et al. (2022) y Medina-Mendoza et al. (2021) para realizar un análisis reológico y determinar el comportamiento del flujo de los chocolates. El límite elástico de Casson (en Pa) y la viscosidad plástica (en Pa·s) en la que se, evaluaron mediante un cilindro concéntrico equipado en un reómetro (MCR92, Anton Paar, Austria). Se cuantificaron los parámetros reológicos (de acuerdo a la IOCCC).

Las muestras de chocolate se fundieron a 50°C por una hora y se colocaron en tazas, y las mediciones se realizaron a 40°C. El ciclo inicia en una fase de preacondicionamiento de 60 s a 40°C; posteriormente, los datos se analizaron en el software Rheo-Compass, en base al modelo de Casson (Abdul et al., 2019) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\sigma^{0.5} = (\sigma_0)^{0.5} + k_1 \cdot (\gamma)^{0.5}$$

σ : Límite elástico (Pa)

σ_0 : Límite elástico de Casson (Pa)

k_1 : Viscosidad plástica de Casson (Pa·s)

γ : Velocidad de corte (s^{-1})

2.3. Análisis de datos

Para el análisis de datos se empleó el software libre RMarkdown (RStudio, v.2022.07.2+576, MA, EE.UU.), donde de cada lote de chocolate se tomaron tres muestras independientes ($n = 3$) para los análisis. Se empleó análisis de varianza de una vía (ANOVA) y una prueba post-hoc (Tukey) para determinar las diferencias significativas entre los chocolates.

III. RESULTADOS

3.1. Determinar las propiedades térmicas (cristalización y fusión) de chocolate con leche a partir de licor de cacao de distintas procedencias

La Tabla muestra los rangos de la cristalización en chocolate con leche a partir de licor de cacao, que corresponde a la temperatura inicial y final en cada uno de ellos. Se puede apreciar que la temperatura inicial (T_{onset}) es menor conforme la procedencia del licor de cacao es mayor (relación inversa, $p < 0.05$), donde la temperatura de inicio de cristalización del cacao procedente de Kigkis fue mayor en comparación al resto. Referente a la temperatura final (T_{endset}), ha mostrado de igual forma un comportamiento inversamente proporcionalmente ($p < 0.05$).

Tabla 2

Propiedades térmicas de cristalización en chocolate con leche a partir de licor de cacao de distintas procedencias

	Procedencia	T_{onset} (°C)	T_c (°C)	T_{endset} (°C)	Entalpía (J/g)
< 300 msnm	Kigkis	$13.87 \pm 0.04a$	$10.97 \pm 0.11a$	$-4.16 \pm 0.05ab$	$23.72 \pm 0.06b$
	Pakun	$13.79 \pm 0.04ab$	$10.96 \pm 0.07a$	$-4.17 \pm 0.42ab$	$23.59 \pm 0.20b$
[300 – 700] msnm	Chiriaco	$13.65 \pm 0.02bcd$	$10.29 \pm 0.10bc$	$-5.17 \pm 0.28ab$	$21.88 \pm 0.25cd$
	Casual	$13.69 \pm 0.01abcd$	$10.66 \pm 0.06ab$	$-4.29 \pm 0.54ab$	$21.82 \pm 1.03cd$
	Naranjos alto	$13.70 \pm 0.05abcd$	$10.55 \pm 0.17abc$	$-5.67 \pm 0.36b$	$24.03 \pm 0.35b$
> 900 msnm	Chonza	$13.78 \pm 0.06abc$	$10.94 \pm 0.11a$	$-10.21 \pm 1.39c$	$27.47 \pm 0.38a$
	Limonyacu	$13.67 \pm 0.11bcd$	$10.22 \pm 0.12c$	$-4.6 \pm 0.16ab$	$22.98 \pm 0.36bc$
> 1500 msnm	Santa Rosa	$13.53 \pm 0.02d$	$10.75 \pm 0.03a$	$-4.4 \pm 0.28ab$	$24.14 \pm 0.34b$
	José Olaya	$13.6 \pm 0.11cd$	$10.27 \pm 0.33bc$	$-3.79 \pm 0.57a$	$21.31 \pm 0.18d$

Referente a la temperatura de cristalización, la procedencia del licor de cacao influye sobre esta variable ($p < 0.05$, ver Tabla 2), se pudo observar que las localidades donde reportaron mayor temperatura ($> 10.9^\circ\text{C}$), fueron aquellas menores a 300 msnm (Kigkis y Pakun) y mayores a 900 msnm (Chonza y Santa Rosa). Por otra parte, en cuanto a la entalpía, se pudo determinar que la máxima energía liberada (exoterma) fue en el chocolate con licor de cacao procedente de Chonza (27.47 J/g), y, además mientras la procedencia del licor de cacao era de una mayor altitud la entalpía se reducía significativamente ($p < 0.05$).

Respecto a las propiedades térmicas en la fusión del chocolate, en la Tabla 3 se puede observar que la procedencia tuvo efecto significativo en las variables evaluadas ($p < 0.05$). Por ejemplo, en T_{onset} donde el chocolate con leche elaborado con licor de cacao procedente de 233 y 1134 msnm contaron con una mayor temperatura ($> 8.3^{\circ}\text{C}$), y la menor temperatura de inicio de este proceso fue de 6.83°C (Santa Rosa). Por otro lado, en cuanto a la temperatura final de cristalización se reportó un valor mayor a 31.4°C (Pakun y Santa Rosa), en el cual nuevamente la procedencia del licor de cacao es influyente en la variable ($p < 0.05$).

Tabla 3.

Propiedades térmicas de fusión en chocolate con leche a partir de licor de cacao de distintas procedencias

	Procedencia	T_{onset} ($^{\circ}\text{C}$)	T_m ($^{\circ}\text{C}$)	T_{endset} ($^{\circ}\text{C}$)	Entalpía (J/g)
< 300 msnm	Kigkis	$8.41 \pm 0.06a$	$17.326 \pm 0.12a$	$20.94 \pm 0.25bc$	$29.49 \pm 0.34a$
	Pakun	$8.19 \pm 0.17ab$	$17.32 \pm 0.16a$	$31.50 \pm 0.56a$	$20.76 \pm 0.11d$
[300 – 700] msnm	Chiriaco	$7.85 \pm 0.06c$	$17.45 \pm 0.21a$	$21.21 \pm 0.31bc$	$28.17 \pm 0.23bc$
	Casual	$8.19 \pm 0.19ab$	$17.34 \pm 0.10a$	$21.29 \pm 0.64bc$	$29.50 \pm 0.34a$
	Naranjos alto	$8.14 \pm 0.08abc$	$17.38 \pm 0.20a$	$21.31 \pm 0.33bc$	$28.24 \pm 0.19bc$
> 900 msnm	Chonza	$7.88 \pm 0.03bc$	$16.77 \pm 0.12b$	$20.48 \pm 0.11c$	$29.63 \pm 0.30a$
	Limonyacu	$8.38 \pm 0.12a$	$17.73 \pm 0.18a$	$21.74 \pm 0.34b$	$29.05 \pm 0.24ab$
> 1500 msnm	Santa Rosa	$6.83 \pm 0.11d$	$16.42 \pm 0.19b$	$31.44 \pm 0.18a$	$20.11 \pm 0.20d$
	José Olaya	$8.08 \pm 0.12abc$	$17.86 \pm 0.30a$	$21.67 \pm 0.74bc$	$27.57 \pm 0.71c$

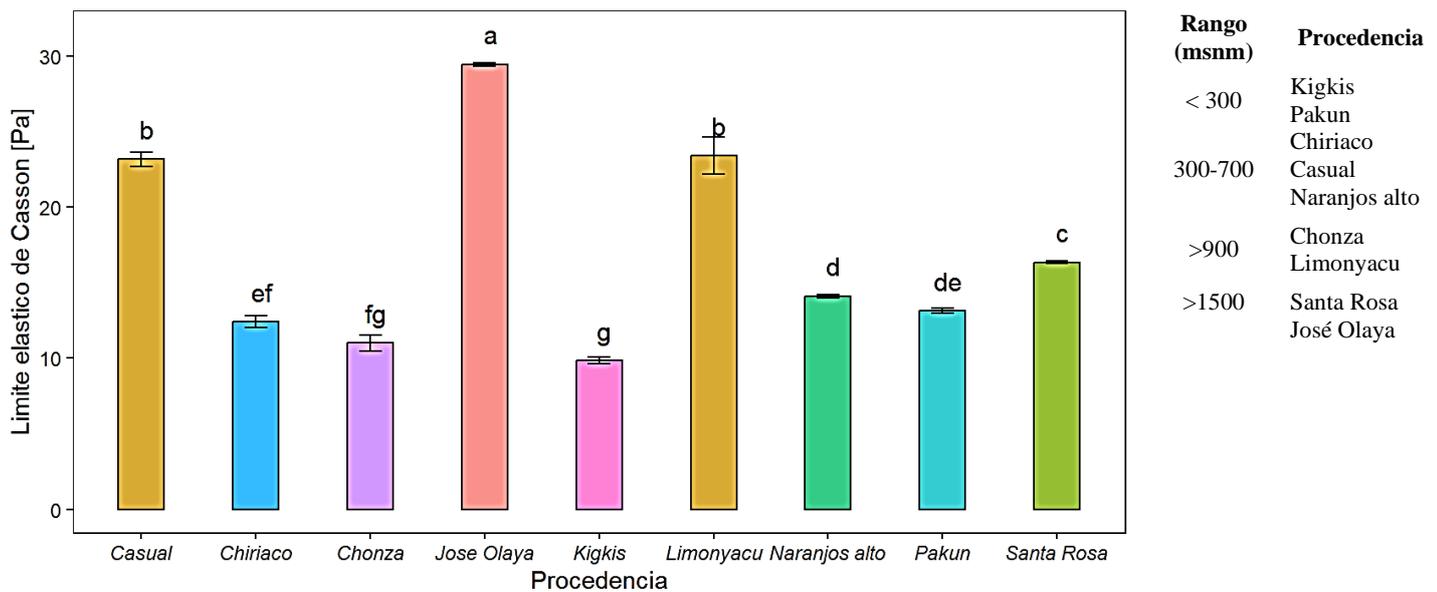
La temperatura de cristalización en los chocolates se puede observar que todos ellos fueron mayores a 17.3°C ($p < 0.05$), a excepción de chocolates de licor de cacao de las procedencias de Chonza y Santa Rosa que registraron 16.77 y 16.42°C , respectivamente. En cuanto a la energía necesaria para la fusión (endoterma), en la Tabla 3 se reportó que la procedencia del licor de cacao tiene efecto ($p < 0.05$); sin embargo, no existe una tendencia referente a la altitud por lo que alcanzó un alto valor de entalpía mayor a 29.4 J/g (Kigkis, Casual y Chonza).

3.2. Determinar las propiedades reológicas de chocolate con leche a partir de licor de cacao de distintas procedencias

En la Figura 2, se observa la diferencia significativa a partir de la procedencia del licor de cacao ($p < 0.05$), donde a una mayor altitud (José Olaya 1976 msnm) existe un mayor límite elástico de 29.5 Pa, y en la que se puede afirmar que conforme la procedencia del licor de cacao era de una menor altitud, el valor de la variable disminuyó (proporcionalmente) hasta 9.86 Pa (Kigkis, 233 msnm). En general el límite estuvo por encima de los 10 Pa (a excepción del lugar antes indicado), donde el chocolate con licor de cacao procedente de Casual, Limonyacu y Casual presentaron un límite elástico mayor a 23.2 Pa.

Figura 2

Límite elástico de Casson en chocolate con leche a partir de licor de cacao de distintas procedencias



Respecto a la viscosidad plástica determinada (ver Figura 3), el efecto de la procedencia del licor de cacao para el chocolate con leche fue significativo ($p < 0.05$), donde a una mayor altitud se reportó una mayor viscosidad de 6.28 Pa·s (José Olaya), seguido de Limonyacu y Casual que fueron de 6.20 y 5.84 Pa·s, respectivamente. Por otro lado, la menor viscosidad fue de 2.72 Pa·s (Kigkis).

Figura 3

Viscosidad plástica en chocolate con leche a partir de licor de cacao de distintas procedencias

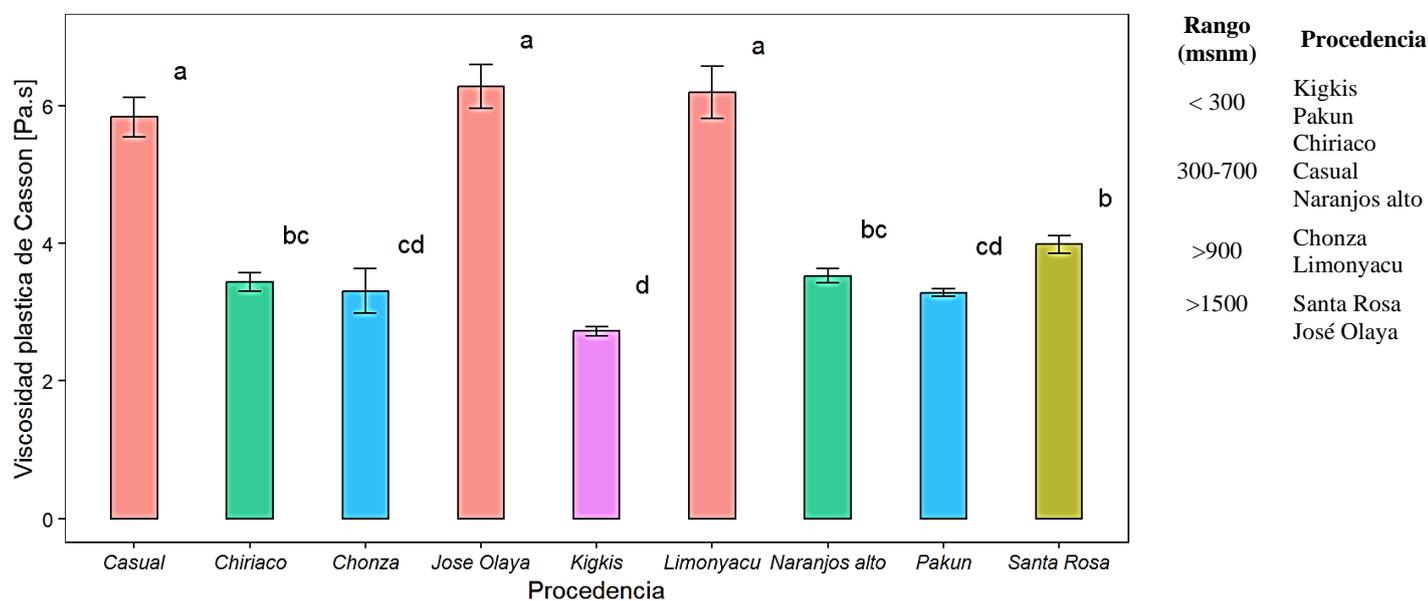
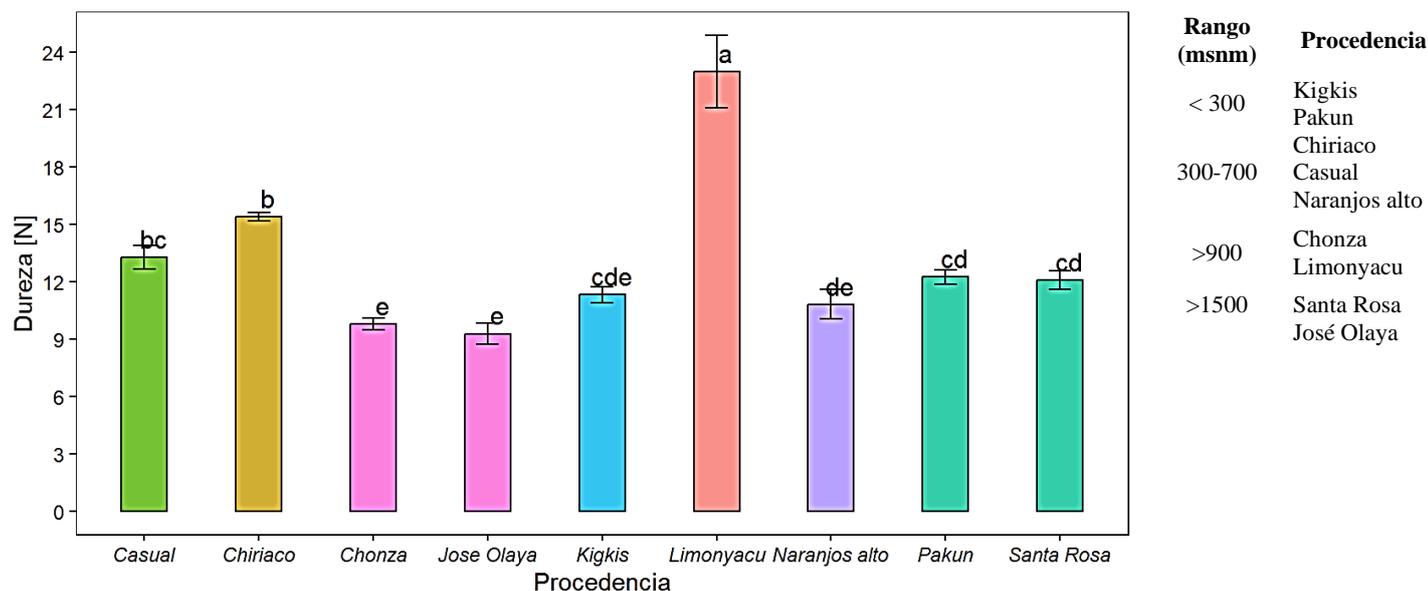


Figura 4

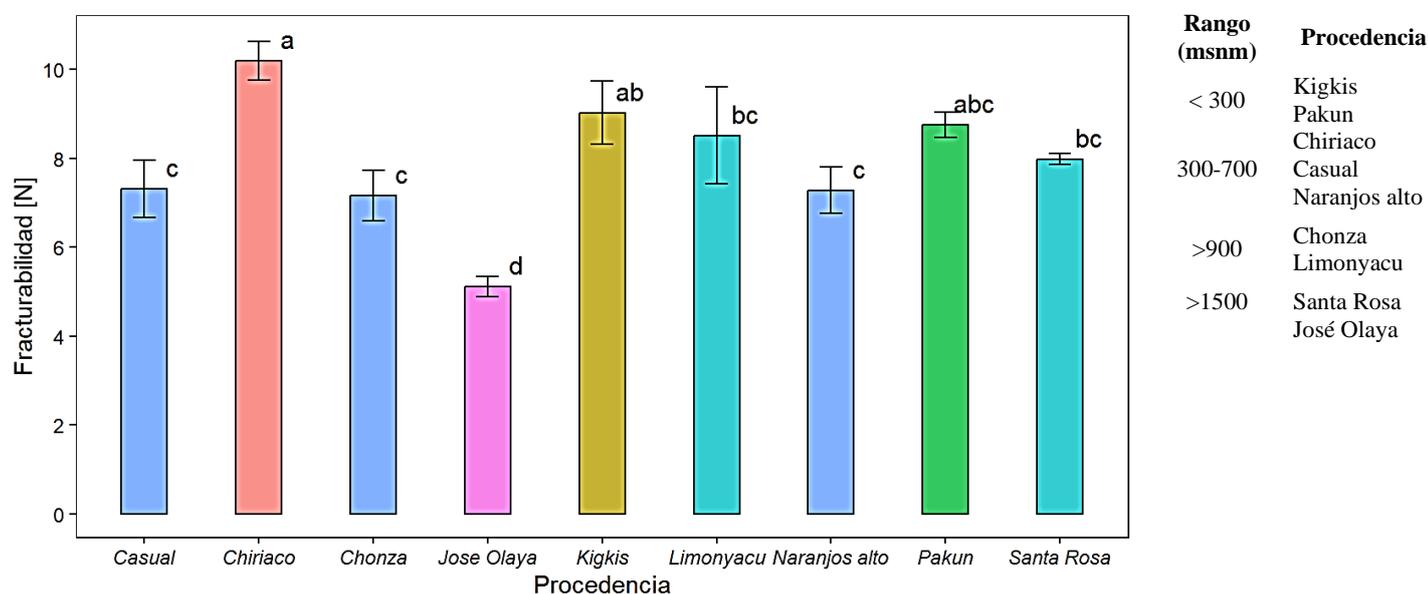
Dureza en chocolate con leche a partir de licor de cacao de distintas procedencias



Uno de los principales parámetros de la textura es la dureza, en la Figura 4 se puede apreciar que el chocolate con licor de cacao de Limonyacu presentó una mayor dureza de 23.0 N; valor considerablemente mayor respecto al resto de muestra que estuvieron por debajo de 15.4 N de dureza, registrando el mínimo valor de 9.27 (José Olaya). En esta variable, no existe una tendencia definida entre la dureza y la altitud de la procedencia.

Figura 5

Fracturabilidad en chocolate con leche a partir de licor de cacao de distintas procedencias

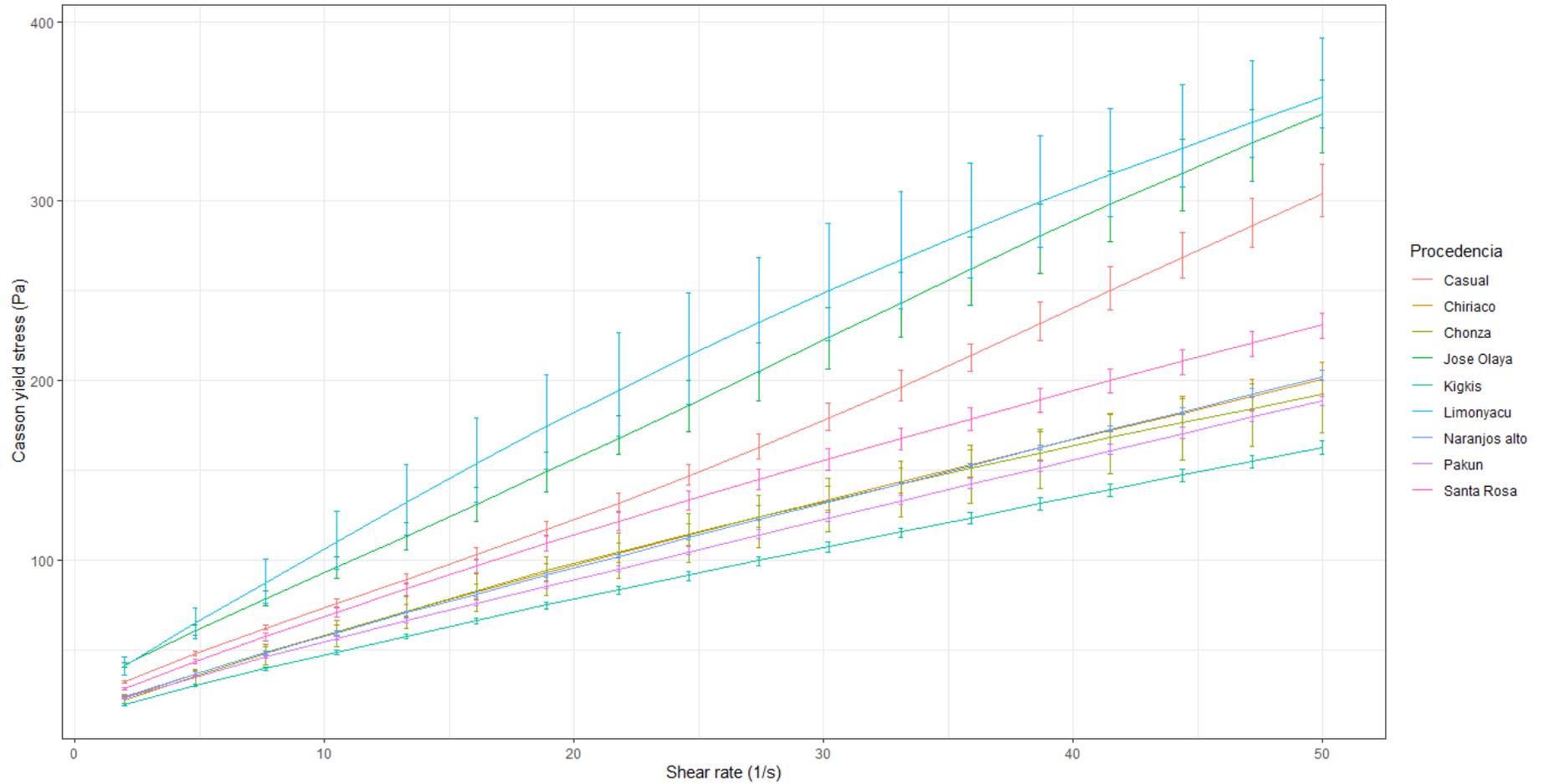


En la Figura 5, se determinó que la fracturabilidad en las muestras de chocolate con leche como se puede observar en la Figura 5, estuvo ente un rango de 5.11 a 10.2 N, donde se determinó que a una menor altitud (Kigkis, Chiriaco y Pakun) se obtuvieron una mayor fracturabilidad, el cual fue disminuyendo conforme se obtuvo chocolates con leche a partir de licor de cacao de mayor altitud (José Olaya, 1976 msnm).

Respecto a la Figura 6 y 7 se observa la curva de flujo en chocolates con leche a partir de licor de cacao de nueve procedencias; donde, se muestra un comportamiento de fluido no newtoniano donde la viscosidad plástica de Casson disminuye conforme se incrementa la tasa (velocidad) de corte (Figura 7). En cambio, en el límite elástico de Casson se evidencio un comportamiento inverso (Figura 6), y donde las muestras de Casual, Limonyacu y José Olaya mostraron valores superiores a lo largo de las curvas reportadas. Asimismo, en la Figura 7 se observa que las muestras de José Olaya y Limonyacu son curvas que están por encima del resto, evidenciando una diferencia considerable en cuando al comportamiento de la viscosidad plástica.

Figura 6

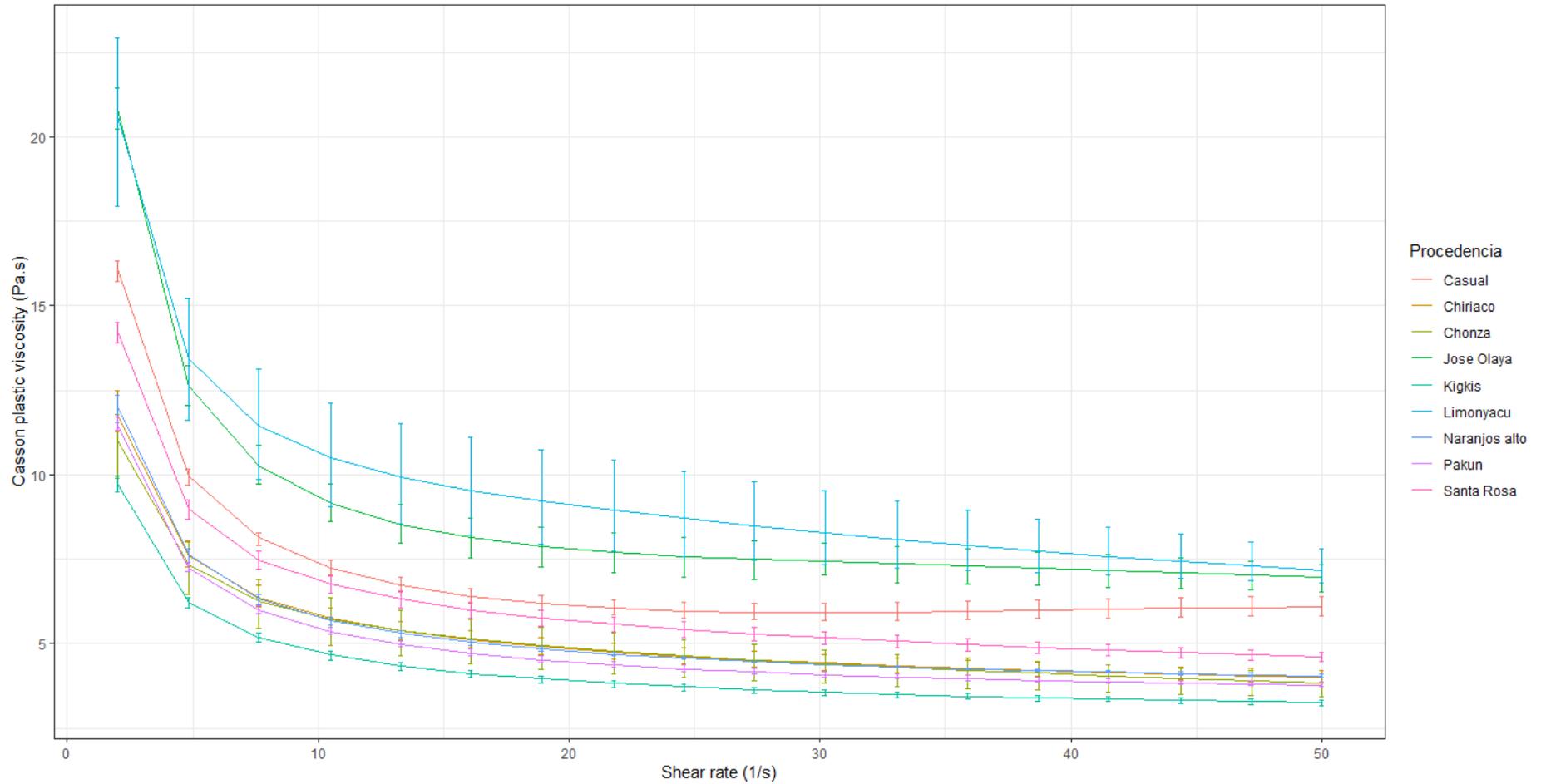
Comportamiento el límite elástico de Casson en chocolate con leche a partir de licor de cacao de distintas procedencias



Nota: < 300 msnm: Kigkis y Pakun. [300-700] msnm: Chiriaco, Casual y Naranjos alto. > 900 msnm: Chonza y Limonyacu. > 1500 msnm: Santa Rosa y José Olaya.

Figura 7

Comportamiento de la viscosidad en chocolate con leche a partir de licor de cacao de distintas procedencias



Nota: < 300 msnm: Kigkis y Pakun. [300-700] msnm: Chiriaco, Casual y Naranjos alto. > 900 msnm: Chonza y Limonyacu. > 1500 msnm: Santa Rosa y José Olaya.

IV. DISCUSIÓN

La procedencia del licor de cacao en la temperatura (T_{onset}) de chocolate con leche tuvo efecto significativo ($p < 0.05$) resultando en un valor alrededor de 13.6°C (ver Tabla 2), que es menor a lo reportado a otros chocolates como el oscuro de acuerdo a Castro-Alayo et al. (2023), esta temperatura de inicio menor evidenció que este tipo de chocolates requiere un mayor grado de cristalinidad, que se puede deber a la presencia de la grasa láctea libre en la mezcla del chocolate (Lapčíková et al., 2022; Sarfarazi & Mohebbi, 2020); y, que de igual forma impactará en la temperatura final de cristalización que estuvo alrededor de -4 a -5°C (a excepción de Chonza, que fue de 10.2°C).

Respecto a la entalpía, estuvo entre un rango de 21.3 a 27.4 J/g (ver Tabla 2), que en comparación a la fusión (Tabla 3) es ligeramente menor, lo cual implica que el licor de cacao (especialmente de Chonza y Santa Rosa) presentan un considerable cantidad de manteca de cacao cristalina que requiere una mayor energía para la cristalización (Calva-Estrada et al., 2020). La temperatura pico de la cristalización (T_c) se reportó entre 10.2 a 10.9°C , que se asemeja al estudio reportado por Fernandes et al. (2013) y que provoca la formación de polimorfos α y β'_2 , esto demuestra que en la cristalización se genera dos o más polimorfos que aumenta la movilidad dentro del sistema hacia estructuras más estables en el chocolate (Fernandes et al., 2013; Marangoni & McGauley, 2003).

La temperatura para el inicio de la fusión (T_{onset}) estuvo en la mayoría de los chocolates por encima de 8°C (a excepción de Santa Rosa y Chonza), donde si bien la procedencia del licor tuvo efecto en la variable en el chocolate con leche los valores son bastantes bajos (ver Tabla 3), lo que evidencia que el producto comienza a fundirse rápidamente (Sarfarazi & Mohebbi, 2020), que en términos prácticos es la temperatura en la que una forma cristalina se comienza a derretir en el chocolate (Calva-Estrada et al., 2020). Respecto a la temperatura final de la fusión (T_{endset}), el estudio reportó un rango entre 20.4 hasta 31.5°C ($p < 0.05$), indicando un relativo valor bajo, para que el chocolate con leche quede completamente licuado (Sarfarazi & Mohebbi, 2020).

Respecto a la entalpía en la fusión, esta se llama también calor latente que representa el calor necesario para la fusión del producto por completo (Sarfarazi & Mohebbi, 2020), en el estudio se pudo observar que alcanzó un máximo de 29.63 J/g (ver Tabla 3) y un mínimo de 20.1 J/g, que es similar a lo reportado por Lapčíková et al. (2022) que fue de

20.68 J/g, este rango de entalpía durante la fusión en el chocolate con leche se puede deber a una mayor interacción de grasa-grasa y menor cantidad de partículas sólidas no grasas suspendidas en la red de grasa como mencionan (Calva-Estrada et al., 2020), y que se asocia con la fusión de la manteca de cacao (α) presente en el chocolate (Lapčíková et al., 2022). Se muestra los resultados respecto a la temperatura pico (T_m), de acuerdo a los resultados (16.4 – 17.8°C), similar a lo reportado por Lapčíková et al. (2022) (19.6) y que este representa un pico endotérmico que se asocia a la polimorfa α característico de la manteca de cacao en el chocolate y la fusión de una o más formas polimórficas de grasa láctea (Ostrowska-Ligęza et al., 2023); asimismo, se pudo observar que a una menor altitud de la procedencia del licor de cacao en chocolate la T_c fue mayor, que es indicador de una mayor velocidad de fusión en el chocolate con leche de dichas procedencias (Calva-Estrada et al., 2020; Sarfarazi & Mohebbi, 2020).

Balcázar-Zumaeta et al. (2022) indican que el flujo de chocolate comienza mediante el valor del límite elástico de Casson; en el estudio, este límite estuvo entre 9.8 a 29.5 Pa (ver Figura 2) para las muestras de chocolate con leche, donde se pudo determinar que a una mayor altitud se generaba un mayor límite elástico ($p < 0.05$), esto se puede relacionar a una mayor cantidad de grasa libre en la mezcla de chocolate (Lapčíková et al., 2022) y la disminución del tamaño de partículas provocando que exista una mayor superficie disponible para interactuar en el chocolate con leche (De Clercq et al., 2012). Por otro lado, los valores reportados en chocolate con leche son superiores a investigaciones similares empleando leche de soya y suero en polvo que fue de 8 y 3.8 Pa, respectivamente (Lapčíková et al., 2022; Pajin et al., 2013). Sin embargo, de acuerdo a Pajin et al. (2013) en la industria de la confitería en la producción de chocolate con leche el límite elástico óptimo sería aquellos productos elaborados a partir de licor de cacao procedente de menores altitudes ya que están próximo al rango de 6 a 8 Pa, que evidencia la formación de cristales β' en los chocolates (Medina-Mendoza et al., 2021).

La energía necesaria para mantener el flujo del chocolate que inicio mediante el límite elástico se le denomina viscosidad plástica de Casson (Balcázar-Zumaeta et al., 2022); en la investigación, se reportó valores mayores a 6.2 Pa·s en chocolates con leche a partir de licor de cacao procedente de José Olaya y Limonyacu (ver Figura 3) que se debe existe un alto contenido de grasa asociado a un aumento en el número de partículas que provocan una obstrucción en el flujo (Kaiser et al., 2021; Verde et al., 2022). Por otro lado, la

viscosidad plástica se redujo en chocolates con leche a partir de licor de cacao procedentes de menores altitudes (2.72 Pa·s, Kigkis), que se puede atribuir a un mayor contenido de sólidos grasos (Fernandes et al., 2013; Lapčíková et al., 2022) al reducir la interacción partícula-partícula (de Jesus et al., 2022; Medina-Mendoza et al., 2021).

Respecto a la dureza, es un indicador que representa la fuerza necesaria para obtener una determinada deformación (Medina-Mendoza et al., 2021). En la Figura 4, la dureza estuvo entre 9.2 a 23.0 N, que difiere considerablemente en productos similares (suero en polvo) que según manifiesta el autor se puede deber porque alcanzó los 73.3 N (Lapčíková et al., 2022), es probable que se deba a las concentraciones que en el presente estudio no fue una variable que se estudió. Estos resultados de dureza, se pueden deber posiblemente a procesos como el conchado que son determinante para que el producto sea más compacto (Balcázar-Zumaeta et al., 2022), por lo que mayores estudios se amerita respecto a este último, para que se pueda comparar con otros chocolates como blanco y oscuro (donde generalmente el chocolate con leche presenta un mayor valor) (Lapčíková et al., 2022). Si bien la mayor dureza se reportó en el cacao procedente de Limonyacu, que puede ser un valor atípico conforme se incrementa a la altitud de procedencia del licor de cacao, es preciso señalar que el origen y prácticas agronómicas pueden llegar a influir en la manteca presente en la pasta de cacao, que es responsable de la dureza en el chocolate (Balcázar-Zumaeta, Castro-Alayo, Cayo-Colca, et al., 2023; Castro-Alayo et al., 2022); sin embargo, mayores estudios se ameritan que permitan dilucidar de mejor manera los resultados reportados previamente.

En la Figura 5, se puede observar que, con licor de cacao procedente de las localidades de menor altitud se reportó una mayor fracturabilidad de hasta 10.2N, que representa en el producto una mayor carga máxima que se puede asociar a una considerable dureza de la barra (Szczesniak, 2002). Sin embargo, en el chocolate con leche de licor de cacao procedente de José Olaya se redujo la fracturabilidad hasta 5.1 N, que demostró un bajo nivel de compresión de la sustancia entre los molares y el grado en que una sustancia se comprime entre los dientes antes de romperse (De Clercq et al., 2012).

De acuerdo a Afoakwa et al. (2008), la reología en los alimentos permite evaluar la calidad de las materias primas empleadas para predecir el comportamiento de los materiales, donde una de las propiedades reológicas es el límite elástico que en el chocolate es el esfuerzo de cizalla para iniciar el flujo, el cual se asocia a la forma en que

se funde el chocolate en la boca y en las manos de los potenciales consumidores (Ahmed et al., 2016; Toker et al., 2019). Referente a los comportamientos del flujo de chocolate con leche; en la Figura 6, el límite elástico se incrementa conforme aumenta la tasa de corte en las muestras, este tipo de comportamiento es propio de los chocolates denominados como “no newtoniano” (De Clercq et al., 2012); y, que se corrobora con la Figura 7 donde la viscosidad plástica de Casson disminuye al incrementar la velocidad de corte (Balcázar-Zumaeta et al., 2022), que se asocia particularmente a un comportamiento pseudoplástico (Qaiser et al., 2021). En ambas figuras, se puede observar que los chocolates con leche a partir de licor de cacao procedente de José Olaya y Limonyacu son las líneas de tendencia con mayores valores por encima de las demás muestras de chocolate, donde el comportamiento de las muestras de chocolate con leche es similar a lo reportado por de Jesus et al. (2022) y Lapčíková et al. (2022).

V. CONCLUSIONES

Respecto a las propiedades térmicas en los chocolates con leche, se concluye que la procedencia del licor de cacao en la temperatura (T_{onset} y T_{endset}) en chocolate con leche es significativa ($p < 0.05$) en cristalización y fusión. La temperatura de cristalización (T_c) se reportó entre 10.2 a 10.9 °C que provoca la formación de polimorfos α y β'_2 ; por otro lado, la temperatura de fusión (T_m), de acuerdo a los resultados (16.4 – 17.8°C) representa un pico endotérmico que se asocia a la polimorfa α característico de la manteca de cacao en el chocolate y la fusión de una o más formas polimórficas de grasa láctea.

En cuanto a las propiedades reológicas, se determinó que límite elástico de Casson estuvo entre 9.8 a 29.5 Pa, y que a una mayor altitud se generaba un mayor límite ($p < 0.05$). Respecto a la viscosidad plástica de Casson, se reportó valores mayores a 6.2 Pa·s en chocolates con leche a partir de licor de cacao procedente de José Olaya y Limonyacu; y, una dureza que estuvo entre 9.2 a 23.0 N. Por último, en el caso de la fracturabilidad se reportó valores de hasta 10.2N, que representa en el producto una mayor carga máxima que se puede asociar a una considerable dureza de la barra.

Referente a los comportamientos del flujo de chocolate con leche, el límite elástico se incrementa conforme aumenta la tasa de corte en las muestras, este tipo de comportamiento es propio de los chocolates denominados como “no newtoniano”; y, que se corrobora con la Figura 7 donde la viscosidad plástica de Casson disminuye al incrementar la velocidad de corte.

VI. RECOMENDACIONES

A partir de ello, es evidente que la variedad o procedencia del material que se emplea para la producción de chocolate es un factor determinante en cuanto a sus propiedades, siendo necesario ampliar el estudio hacia la composición química de este producto en función de la procedencia del material.

Se requieren mayores estudios relacionados al polimorfismo de los chocolates con leche, presentando atención a los parámetros de producción debido a que crean las condiciones adecuadas para contar con los polimorfos adecuados que evitan una floración de grasa.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdul, H. S., Selamat, J., Mirhosseini, S. H., & Hussain, N. (2019). Sensory preference and bloom stability of chocolate containing cocoa butter substitute from coconut oil. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(4), 443-448. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.02.005>
- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., & Vieira, J. (2008). Relationship between rheological, textural and melting properties of dark chocolate as influenced by particle size distribution and composition. *European Food Research and Technology*, 227(4), 1215-1223. <https://doi.org/10.1007/s00217-008-0839-5>
- Ahmed, J., Ptaszek, P., & Basu, S. (Eds.). (2016). *Advances in Food Rheology and Its Applications*. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/C2014-0-04114-7>
- Balcázar-Zumaeta, C. R., Castro-Alayo, E. M., Cayo-Colca, I. S., Idrogo-Vásquez, G., & Muñoz-Astecker, L. D. (2023). Metabolomics during the spontaneous fermentation in cocoa (*Theobroma cacao* L.): An exploratory review. *Food Research International*, 163, 112190. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112190>
- Balcázar-Zumaeta, C. R., Castro-Alayo, E. M., Medina-Mendoza, M., Muñoz-Astecker, L. D., Torrejón-Valqui, L., Rodríguez-Pérez, R. J., Rojas-Ocampo, E., & Cayo-Colca, I. S. (2022). Physical and Chemical Properties of 70% Cocoa Dark Chocolate Mixed with Freeze-Dried Arazá (*Eugenia stipitata*) Pulp. *Preventive Nutrition and Food Science*, 27(4), 474-482. <https://doi.org/10.3746/pnf.2022.27.4.474>
- Balcázar-Zumaeta, C. R., Castro-Alayo, E. M., Muñoz-Astecker, L. D., Cayo-Colca, I. S., & Velayarce-Vallejos, F. (2023). Food Technology forecasting: A based

- bibliometric update in functional chocolates. *Heliyon*, 9(9).
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19578>
- Calva-Estrada, S. J., Utrilla-Vázquez, M., Vallejo-Cardona, A., Roblero-Pérez, D. B., & Lugo-Cervantes, E. (2020). Thermal properties and volatile compounds profile of commercial dark-chocolates from different genotypes of cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) from Latin America. *Food Research International*, 136, 109594.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109594>
- Castro-Alayo, E. M., Balcázar-Zumaeta, C. R., Torrejón-Valqui, L., Medina-Mendoza, M., Cayo-Colca, I. S., & Cárdenas-Toro, F. P. (2023). Effect of tempering and cocoa butter equivalents on crystallization kinetics, polymorphism, melting, and physical properties of dark chocolates. *LWT*, 173, 114402.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114402>
- Castro-Alayo, E. M., Torrejón-Valqui, L., Medina-Mendoza, M., Cayo-Colca, I. S., & Cárdenas-Toro, F. P. (2022). Kinetics crystallization and polymorphism of cocoa butter throughout the spontaneous fermentation process. *Foods*, 11(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/foods11121769>
- De Clercq, N., Moens, K., Depypere, F., Vila Ayala, J., Calliauw, G., De Greyt, W., & Dewettinck, K. (2012). Influence of cocoa butter refining on the quality of milk chocolate. *Journal of Food Engineering*, 111(2), 412-419.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.033>
- de Jesus, G., Gonçalves, B.-H. R. F., Conceição, D. G., de Jesus, J. C., Vidigal, M. C. T. R., Simiqueli, A. A., Bonomo, R. C. F., & Ferrão, S. P. B. (2022). Microstructural and rheological behavior of buffalo milk chocolates. *Journal of Food Science and Technology*, 59(2), 572-582. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05042-3>

- Devos, N., Reyman, D., & Sanchez-Cortés, S. (2021). Chocolate composition and its crystallization process: A multidisciplinary analysis. *Food Chemistry*, 342, 128301. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128301>
- Dolatowska-Żebrowska, K., Ostrowska-Ligęza, E., Wirkowska-Wojdyła, M., Bryś, J., & Górska, A. (2019). Characterization of thermal properties of goat milk fat and goat milk chocolate by using DSC, PDSC and TGA methods. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 138(4), 2769-2779. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08181-0>
- Fernandes, V. A., Müller, A. J., & Sandoval, A. J. (2013). Thermal, structural and rheological characteristics of dark chocolate with different compositions. *Journal of Food Engineering*, 116(1), 97-108. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.12.002>
- Hajiyeva, S., & Shamilova, M. (2021). Characterization of thermal properties of fats extracted from milk, white, dark chocolates and chocolate powder by differential scanning calorimetry (DSC) technique. *New Materials, Compounds and Applications*, 5(2), 102-109.
- Ioannidi, E., Risbo, J., Aarøe, E., & van den Berg, F. W. J. (2021). Thermal Analysis of Dark Chocolate with Differential Scanning Calorimetry—Limitations in the Quantitative Evaluation of the Crystalline State. *Food Analytical Methods*, 14(12), 2556-2568. <https://doi.org/10.1007/s12161-021-02073-6>
- Konar, N., Özhan, B., Artık, N., Dalabasmaz, S., & Poyrazoglu, E. S. (2014). Rheological and physical properties of Inulin-containing milk chocolate prepared at different process conditions. *CyTA - Journal of Food*, 12(1), 55-64. <https://doi.org/10.1080/19476337.2013.793214>

- Konar, N., Toker, O. S., Rasouli Pirouzian, H., Oba, S., Genc Polat, D., Palabiyik, İ., Poyrazoglu, E. S., & Sagdic, O. (2018). Enrichment of Milk Chocolate by Using EPA and DHA Originated from Various Origins: Effects on Product Quality. *Sugar Tech*, 20(6), 745-755. <https://doi.org/10.1007/s12355-018-0611-5>
- Lapčíková, B., Lapčík, L., Salek, R., Valenta, T., Lorencová, E., & Vašina, M. (2022). Physical characterization of the milk chocolate using whey powder. *LWT*, 154, 112669. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112669>
- Lim, P. Y., Wong, K. Y., Thoo, Y. Y., & Siow, L. F. (2021). Effect of inulin, fructo-oligosaccharide, trehalose or maltodextrin (M10 and M30) on the physicochemical and sensory properties of dark compound chocolate. *LWT - Food Science and Technology*, 149, 111964. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111964>
- Mantihal, S., Prakash, S., Godoi, F. C., & Bhandari, B. (2019). Effect of additives on thermal, rheological and tribological properties of 3D printed dark chocolate. *Food Research International*, 119, 161-169. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.056>
- Marangoni, A. G., & McGauley, S. E. (2003). Relationship between Crystallization Behavior and Structure in Cocoa Butter. *Crystal Growth & Design*, 3(1), 95-108. <https://doi.org/10.1021/cg0255801>
- Medina-Mendoza, M., Rodriguez-Pérez, R. J., Rojas-Ocampo, E., Torrejón-Valqui, L., Fernández-Jeri, A. B., Idrogo-Vásquez, G., Cayo-Colca, I. S., & Castro-Alayo, E. M. (2021). Rheological, bioactive properties and sensory preferences of dark chocolates with partial incorporation of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil. *Heliyon*, 7(2), e06154. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06154>
- Nazario, O., Ordoñez, E., Mandujano, Y., & Arévalo, J. (2013). Polifenoles totales, antocianinas, capacidad antioxidante de granos secos y análisis sensorial del licor

- de cacao (*Theobroma cacao* L.) criollo y siete clones. *Investigación y Amazonía*, 3(1), 51-59.
- Ostrowska-Ligęza, E., Dolatowska-Żebrowska, K., Brzezińska, R., Wirkowska-Wojdyła, M., Bryś, J., Piasecka, I., & Górka, A. (2023). Characterization of Thermal Properties of Ruby Chocolate Using DSC, PDSC and TGA Methods. *Applied Sciences*, 13(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/app13095221>
- Ostrowska-Ligęza, E., Górka, A., Wirkowska-Wojdyła, M., Bryś, J., Dolatowska-Żebrowska, K., Shamilowa, M., & Ratusz, K. (2018). Thermogravimetric characterization of dark and milk chocolates at different processing stages. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 134(1), 623-631. <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7091-4>
- Ostrowska-Ligęza, E., Marzec, A., Górka, A., Wirkowska-Wojdyła, M., Bryś, J., Rejch, A., & Czarkowska, K. (2019). A comparative study of thermal and textural properties of milk, white and dark chocolates. *Thermochimica Acta*, 671, 60-69. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2018.11.005>
- Ostrowska-Ligęza, E., Szulc, K., Jakubczyk, E., Dolatowska-Żebrowska, K., Wirkowska-Wojdyła, M., Bryś, J., & Górka, A. (2022). The Influence of a Chocolate Coating on the State Diagrams and Thermal Behaviour of Freeze-Dried Strawberries. *Applied Sciences*, 12(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/app12031342>
- Pajin, B., Dokić, L., Zarić, D., Šoronja-Simović, D., Lončarević, I., & Nikolić, I. (2013). Crystallization and rheological properties of soya milk chocolate produced in a ball mill. *Journal of Food Engineering*, 114(1), 70-74. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.06.024>

- Qaiser, A. A., Nazar, R., Anjum, M., Saeed, A., Zeeshan, M., Tahir, B., Muzaffar, M., & Jameel, N. (2021). Effects of composition, temperature and shear rate on chocolate milk rheology: An empirical modeling approach incorporating yield behavior. *International Journal of Food Engineering*, *17*(7), 561-569. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2019-0289>
- Rohm, H., Böhme, B., & Skorka, J. (2018). The impact of grinding intensity on particle properties and rheology of dark chocolate. *LWT - Food Science and Technology*, *92*, 564-568. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.006>
- Sarfarazi, M., & Mohebbi, M. (2020). An investigation into the crystalline structure, and the rheological, thermal, textural and sensory properties of sugar-free milk chocolate: Effect of inulin and maltodextrin. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *14*(3), 1568-1581. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00405-4>
- Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, *13*(4), 215-225. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(01\)00039-8](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(01)00039-8)
- Toker, O. S., Palabıyık, I., & Konar, N. (2019). Chocolate quality and conching. *Trends in Food Science & Technology*, *91*, 446-453. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.047>
- Toker, O. S., Pirouzian, H. R., Palabiyik, I., & Konar, N. (2021). Chocolate flow behavior: Composition and process effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *0*(0), 1-15. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1993782>
- Verde, A. B., Alvim, I. D., Luccas, V., Marangoni, L., & Alves, R. M. V. (2022). The influence of formulation and packaging material on the rheological properties of milk chocolate. *Applied Food Research*, *2*(2), 100199. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100199>

Ziegler, G. R., Mongia, G., & Hollender, R. (2001). The Role of Particle Size Distribution of Suspended Solids in Defining the Sensory Properties of Milk Chocolate. *International Journal of Food Properties*, 4(2), 353-370.
<https://doi.org/10.1081/JFP-100105199>

ANEXOS

Anexo 1. Reportes de los termogramas DSC en las muestras de chocolates oscuros

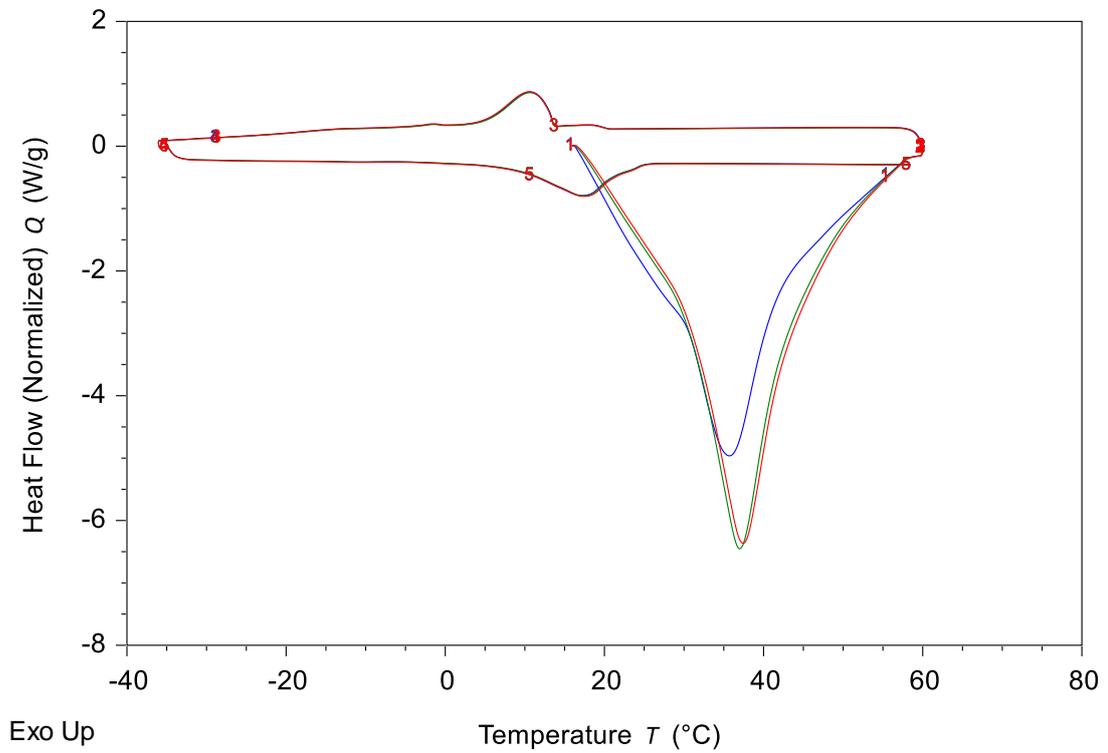


Figura 8. Termograma de la muestra de chocolate con leche (Casual)

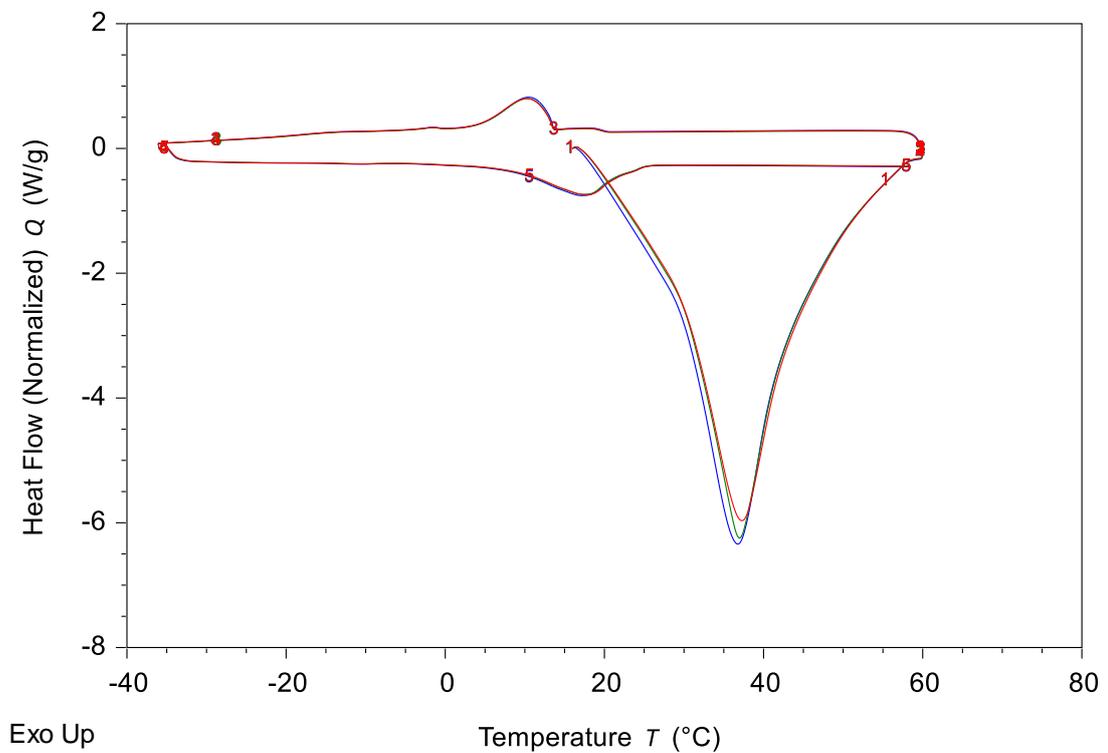


Figura 9. Termograma de la muestra de chocolate con leche (Chiriaco)

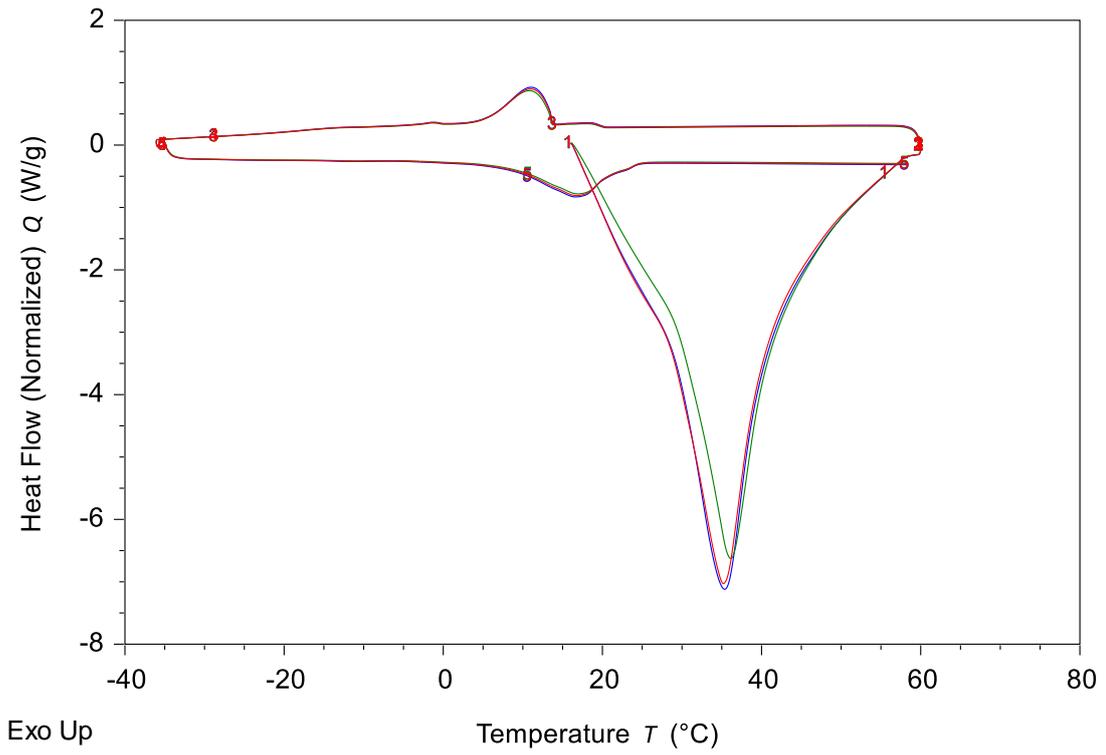


Figura 10. Termograma de la muestra de chocolate con leche (Chonza)

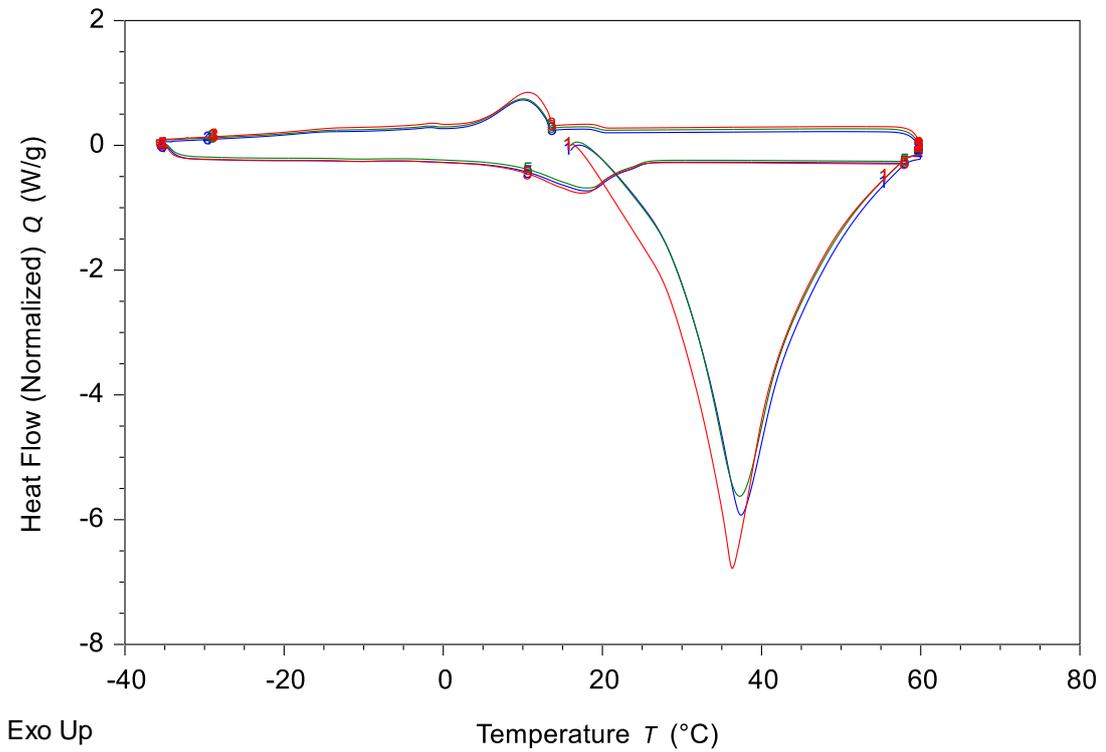


Figura 11. Termograma de la muestra de chocolate con leche (José Olaya)

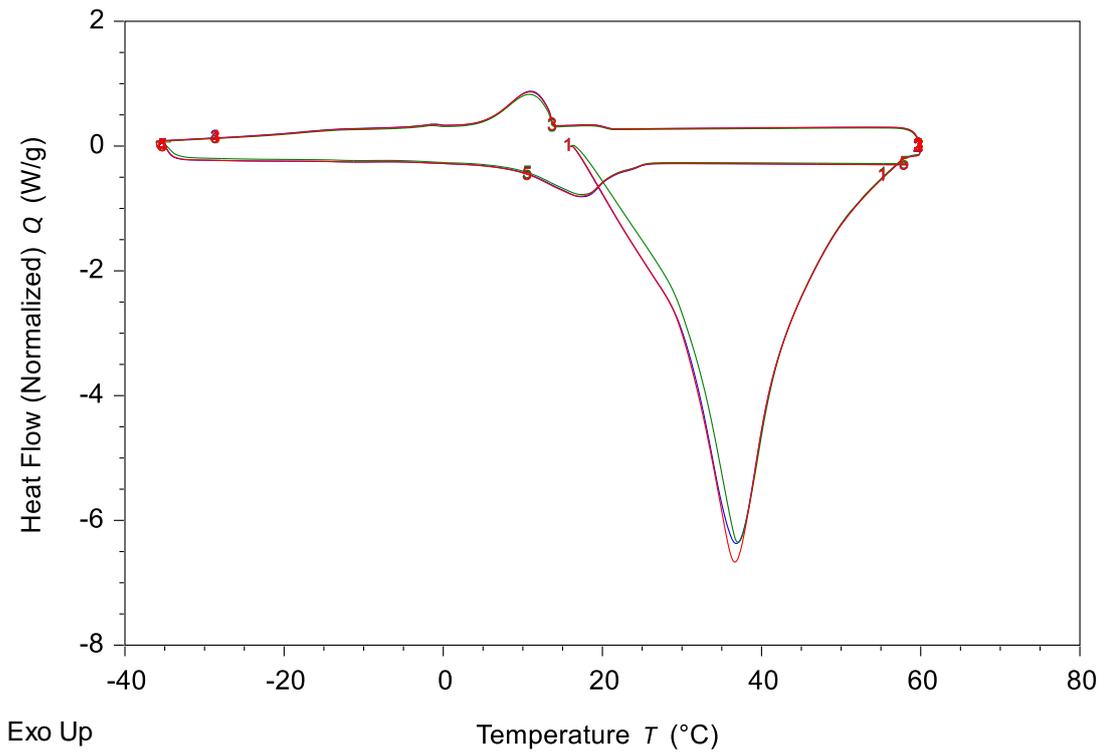


Figura 12. Termograma de la muestra de chocolate con leche (Kigkis)

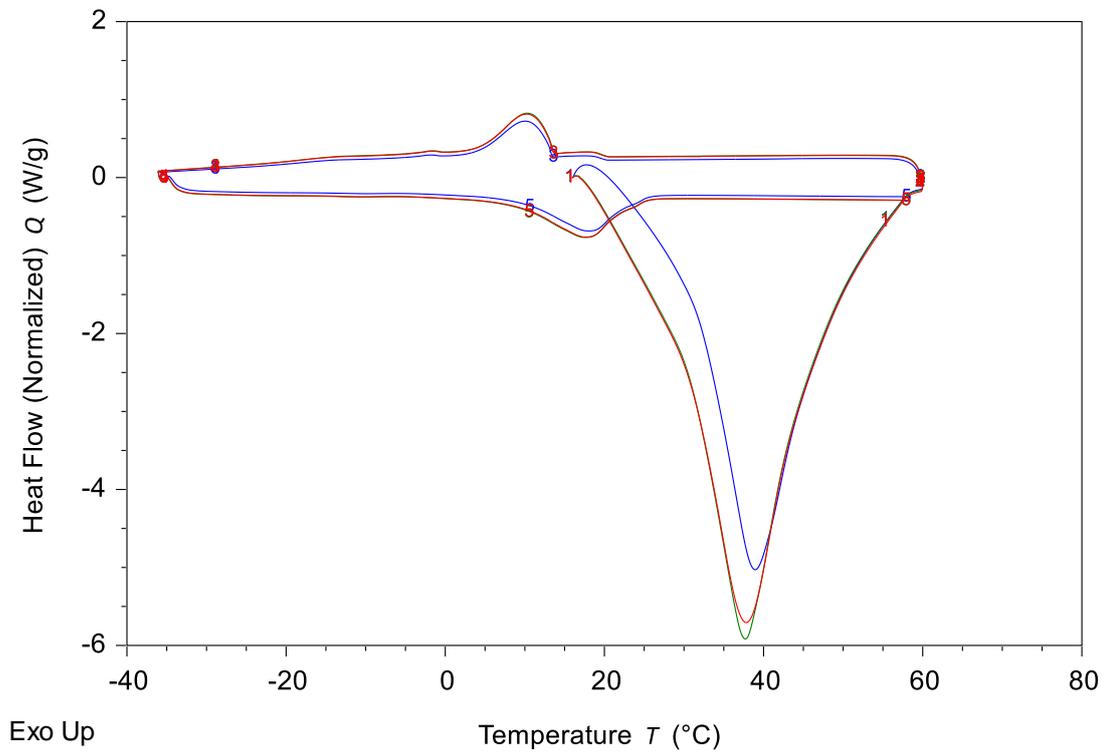


Figura 13. Termograma de la muestra de chocolate con leche (Limonyacu)

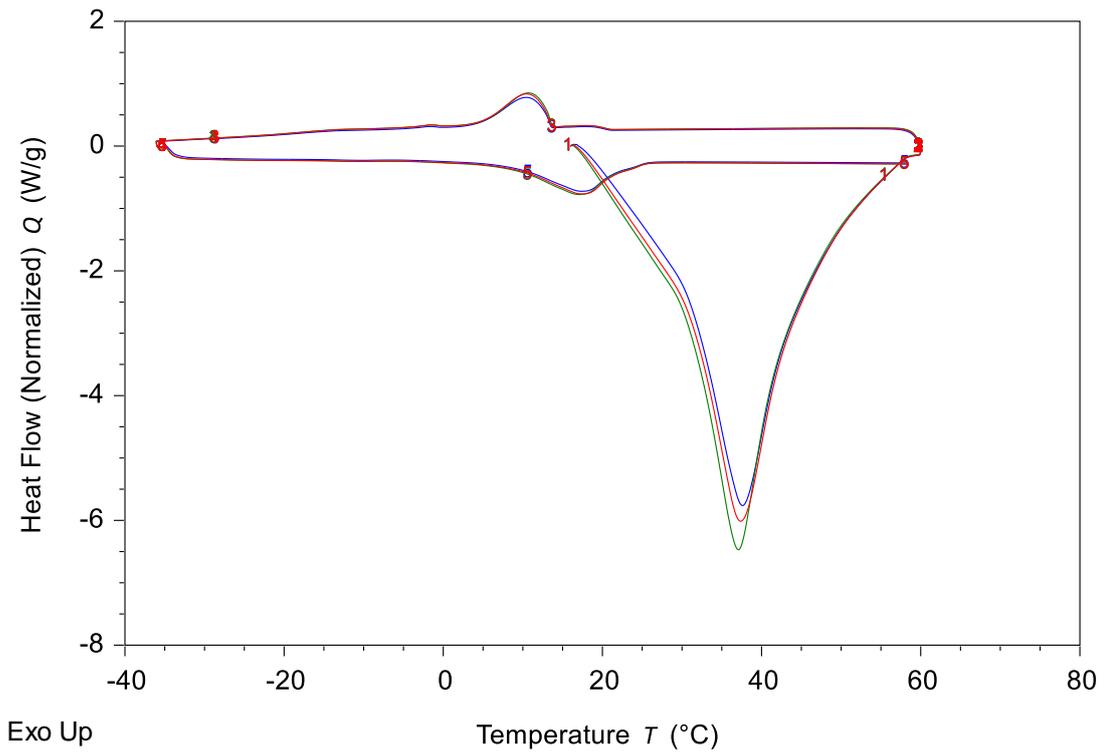


Figura 14. Termograma de la muestra de chocolate con leche (Naranjos alto)

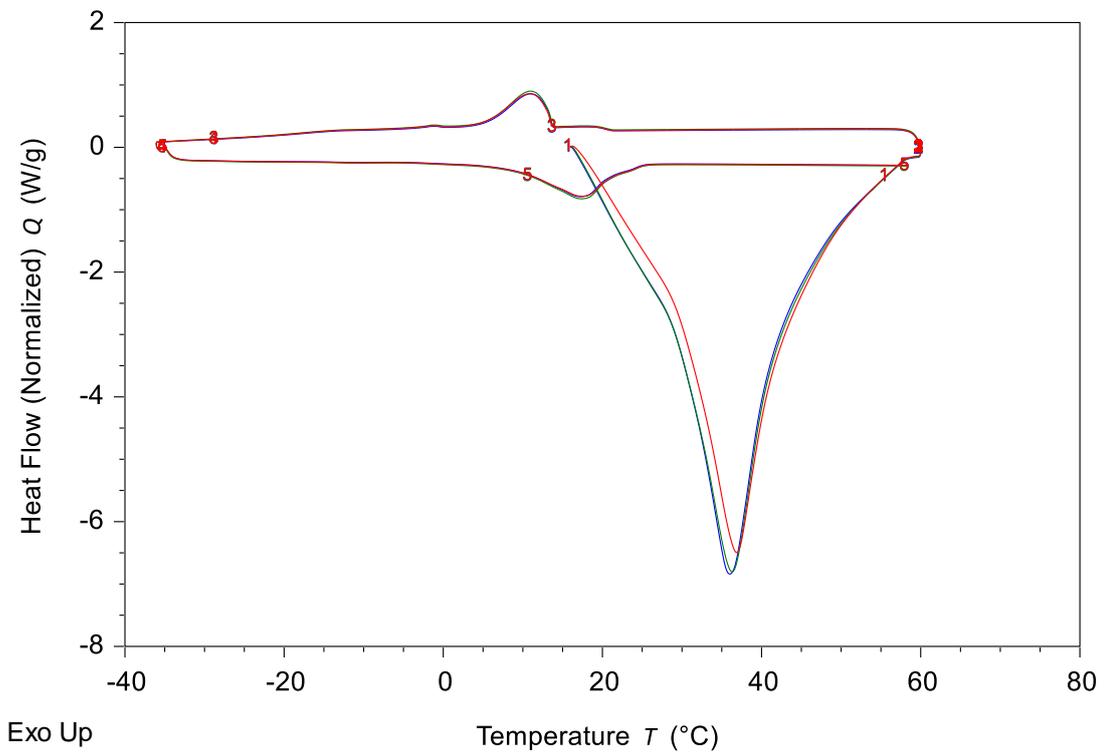


Figura 15. Termograma de la muestra de chocolate con leche (Pakun)

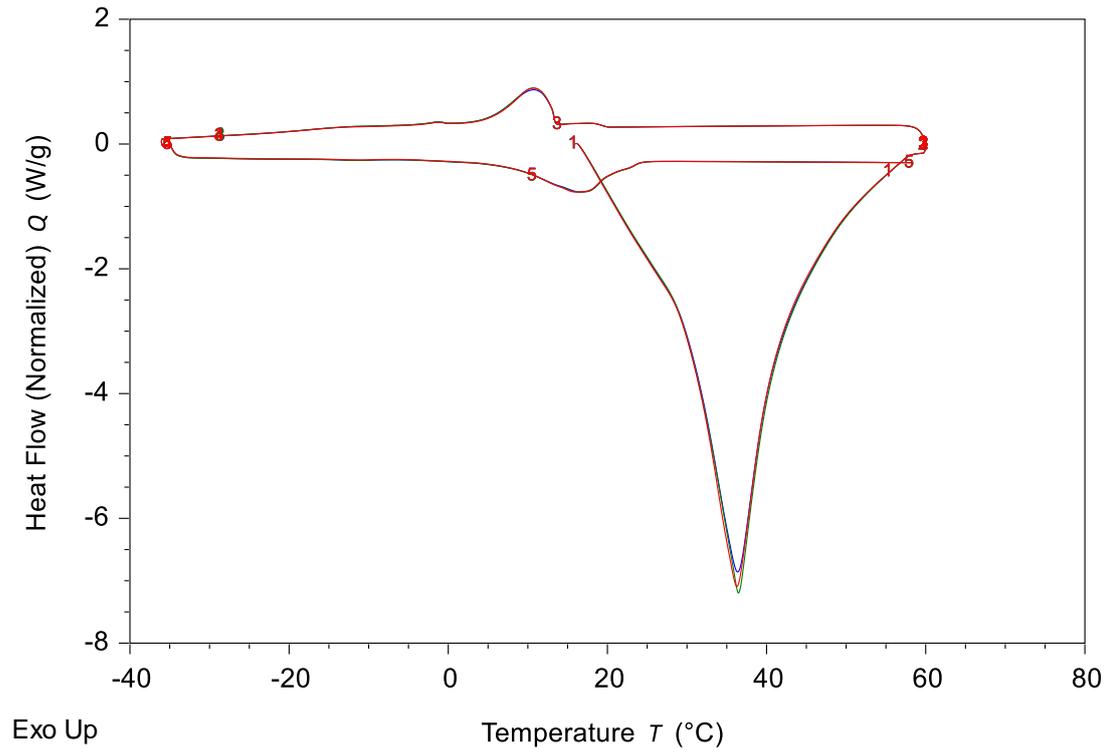


Figura 16. Termograma de la muestra de chocolate con leche (Santa Rosa)

Anexo 2. Galería fotográfica



Figura 17. Recolección del material de cacao procedente de distintas localidades



Figura 18. Grano de cacao seco procedente de distintas localidades



Figura 19. Procesamiento del cacao para la obtención del licor de cacao de distintas procedencias



Figura 20. Elaboración de chocolates con leche a partir de licor de cacao de distintas procedencias



Figura 21. Barras de chocolates con leche a partir de licor de cacao de distintas procedencias



Figura 22. Análisis reológicas de las muestras de chocolate con leche



Figura 23. Análisis térmico de las muestras de chocolate con leche