

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



TESIS PARA TITULO PROFESIONAL

**“ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN REOLÓGICA DE
MERMELADA DE CAMU CAMU (*Myrciaria dubia* HBK McVaugh)
Y ESTABILIDAD EN EL ALMACENAMIENTO”**

**PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**ELABORADO POR
BAZAN COLQUE RONEL JOEL**

TINGO MARÍA – PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
Carretera Central Km. 1.21. Teléfono (062) 561385
Apartado Postal 156 Tingo María E.mail; fia@unas.edu.pe

"Año de la lucha contra la corrupción y la impunidad"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 004-2019

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en acto público el 31 de enero de 2019, a horas 7:30 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. **BAZAN COLQUE, Ronel Joel**, titulada:

"ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN REOLÓGICA DE MERMELADA DE CAMU CAMU (*Myrciaria dubia* HBK Mc Vaugh) Y ESTABILIDAD EN EL ALMACENAMIENTO"

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 Bachiller, queda apto para recibir el título de **Ingeniero en Industrias Alimentarias** del Consejo Universitario, 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, 04 de febrero de 2019

Ing. Washington Paredes Pereda
Presidente



Ing. Alfredo Abelardo Carmona Ruíz
Miembro

Ing. Humberto Hugo Rivera Rojas
Miembro

Ing. Jaime Eduardo Basilio Atencio
Asesor

DEDICATORIA

Este trabajo de tesis lo he dedicado a mi querida familia:

A mis queridos padres: Enrique Bazán
Ismiño y Maritza Colque Ambrosio por
haberme inculcado los valores,
principios y haberme apoyado siempre
en las decisiones tomadas.

A mis hermanos: Finley, Erick, Jorge,
y Brenda por creer en mí en todo
momento. A mis hermanos Betsy y
Alain (*In memoriam*) con todo mi amor
y cariño.

A mi esposa Fiorella Ivette Ruiz Barreto
que siempre me brinda su apoyo
incondicional y las fuerzas necesarias
para continuar en mi superación
profesional.

A mis hijos: Thiago Alexandre y Daenerys Areliz Maritza, por ser mi mayor
motivación y fortaleza de vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios todopoderoso por darme la oportunidad de vivir y las fuerzas necesarias para terminar uno de mis objetivos planteados que es la Tesis. Además por ser mi fuente de fortaleza y por permitir en conocer personas maravillosas que me ayudaron mucho en mi superación profesional.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por ser mí hogar de formación profesional, a la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias y docentes, por haberme brindado los conocimientos y herramientas necesarias para desarrollarme en mi profesionalmente.

Al Ing. M.Sc. Jaime Eduardo Basilio Atencio, asesor de tesis y al Ing. Caleb Leandro Laguna. Gracias por sus orientaciones y colaboraciones que hizo posible la culminación del presente trabajo de investigación y por ser ejemplo de dedicación, esfuerzo y trabajo.

A los jurados de tesis: Ing. M.Sc. Washington Paredes Pereda (Presidente), al Ing. M.Sc. Humberto Hugo Rivera Rojas (Miembro) y al Ing. M.Sc. Alfredo Abelardo Carmona Ruiz (Miembro) por sus colaboraciones para el desarrollo y culminación de este trabajo de investigación.

A todos quienes colaboraron durante mi formación profesional **Gracias!!!**

Ronel Joel Bazán Colque

INDICE GENERAL

Contenido	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Camu camu (<i>Myrciaria dubia</i> HBK McVaugh)	3
2.1.1. Origen y distribución geográfica	3
2.1.2. Hábitat y condiciones de cultivo.....	4
2.1.3. Características botánicas.....	5
2.1.4. Características taxonómicas.....	6
2.1.5. Composición nutricional.....	7
2.1.6. Consumo y procesamiento	8
2.2. Mermelada de frutas	9
2.2.1. Elaboración de la mermelada	10
2.2.2. Acidez y valor de pH de la mermelada	11
2.3. Defectos de la mermelada.....	12
2.3.1. Mermelada poco firme	12
2.3.2. Sinéresis	12
2.3.3. Cambio de color.....	12
2.3.4. Cristalización	13

2.3.5. Crecimiento de hongos y levaduras en la superficie.....	13
2.4. Materias primas e insumos.....	14
2.4.1. Frutas.....	14
2.4.2. Azúcar.....	14
2.4.3. Pectina.....	15
2.4.4. Ácido.....	16
2.5. Reología de alimentos.....	17
2.5.1. Tipos de fluidos.....	18
2.5.2. Modelos matemáticos de reología de alimentos.....	20
2.5.3. Factores que afectan la viscosidad.....	20
2.6. Estabilidad en el almacenamiento.....	22
2.6.1. Pruebas aceleradas.....	22
2.6.2. Orden de reacción.....	23
2.6.3. Efecto de la temperatura en la velocidad de deterioro.....	24
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
3.1. Lugar de ejecución.....	25
3.2. Materia prima e insumos.....	25
3.2.1. Materia prima.....	25
3.2.2. Insumos.....	26
3.3. Materiales y equipos.....	26
3.3.1. Materiales y/o instrumentos de vidrio.....	26
3.3.2. Materiales de acero, plástico y madera.....	26
3.3.3. Equipos y máquinas para procesamiento.....	26

3.3.4. Equipos para la determinación reológica y estabilidad en el almacenamiento	26
3.4. Métodos de análisis.....	27
3.4.1. Análisis sensorial	27
3.4.2. Análisis reológico.....	27
3.5. Metodología experimental	27
3.5.1. Elaboración de la mermelada de camu camu.....	27
3.5.2. Evaluación en el almacenamiento	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1. Elaboración de la mermelada de camu camu	31
4.2. Evaluación sensorial	33
4.3. Evaluación reológica	35
4.3.1. Relación de la evaluación sensorial y reológica	38
4.4. Evaluación en el almacenamiento.....	39
4.4.1. Velocidad y orden de reacción.....	43
4.4.2. Energía de activación	45
V. CONCLUSIONES	48
VI. RECOMENDACIONES.....	49
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
ANEXOS	57

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Composición química del camu camu (100 g de pulpa fresca).....	7
2. Composición química de productos elaborados a partir del camu camu	8
3. Parámetros reológicos de los tratamientos	35
4. Relación entre el índice de consistencia y la evaluación sensorial.	38
5. Variación de parámetros reológicos durante el almacenamiento.....	40
6. Constantes de velocidad de reacción (k) y coeficientes de correlación (R ²) a diferentes órdenes de reacción.....	43
7. Constantes de velocidad de reacción (k) a diferentes temperaturas de almacenamiento de orden cero.....	45
8. Constantes de velocidad de reacción (k) a diferentes temperaturas de almacenamiento en el orden cero.....	46

INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Fruta de camu camu (<i>Myrciaria dubia</i> HBK McVaugh)	5
2. Tipos de fluidos independientes del tiempo	19
3. Flujograma de elaboración de la mermelada de camu camu.....	28
4. Mermeladas 50/50 de pulpa/azúcar.	32
5. Comparación de media de los tratamientos contra la textura.	33
6. Comparación de media de los tratamientos contra el sabor.	34
7. Comparación de media de los tratamientos contra la apariencia general.	34
8. Reograma del mejor tratamiento (50/50 de pulpa/azúcar al 1,0% de pectina).....	36
9. Relación entre índice de consistencia con la evaluación sensorial para los diferentes tratamientos.	39
10. Reogramas de la mermelada de camu camu durante el almacenamiento a 30°C.....	41
11. Reogramas de la mermelada de camu camu durante el almacenamiento a 40°C.....	41
12. Reogramas de la mermelada de camu camu durante el almacenamiento a 50°C.....	42

13. Mermelada durante el almacenamiento a 30 días a diferentes temperaturas.....	42
14. Variación de índice de consistencia con los días de almacenamiento ajustada en el orden cero.	44
15. Variación de índice de consistencia con los días de almacenamiento ajustada en el orden uno.	44
16. Relación de coeficiente de velocidad de reacción con la temperatura ajustada en el orden cero.	45
17. Relación de coeficiente de velocidad de reacción con la temperatura ajustada en el orden uno.	46

RESUMEN

El Camu camu (*Myrciaria dubia* H.B.K. McVaugh) es una fruta nativa más importante en la Amazonia peruana. Esta fruta no se puede consumir en natura por motivos de su alta acidez pero se constituye como excelente materia prima para la industria de mermeladas. El presente trabajo tiene como objetivo de elaborar y evaluar el índice de consistencia (m), índice de flujo (n) y el efecto de la temperatura en la estabilidad de almacenamiento de la mermelada de camu camu. Fueron elaborados 6 tipos de mermeladas con niveles de pulpa (50 y 60%) y pectina (0,5; 1,0 y 1,5%). El mejor tratamiento fue determinado por evaluaciones sensoriales y reológicas, para luego medir su estabilidad durante el almacenamiento a diferentes temperaturas (30, 40 y 50 °C). Los valores permitieron determinar el orden de reacción, constante de velocidad de reacción y la energía de activación. La mejor mermelada fue de 50% de pulpa, 50% de azúcar y 1,0% de pectina, existiendo diferencia significativa entre los tratamientos a un $p < 0,05$ en la evaluación sensorial. Esta presentó un comportamiento pseudoplástico ($n < 1$), con un índice de consistencia (m) 51,481 Pa·sⁿ e índice de flujo (n) 0,2802 s⁻¹. La estabilidad del índice de consistencia (m) se vio afectada por el efecto de la temperatura durante el almacenamiento. La cinética de degradación de la mermelada de camu camu fue de orden de reacción cero, con una energía de activación de 2,5495 Kcal.mol⁻¹ ($R^2=0,9997$),

este valor representa el más bajo de otras mermeladas reportadas, lo cual indica ser más sensible a cambios de temperatura.

Palabras claves: Mermelada, viscosidad, pruebas aceleradas, orden de reacción, energía de activación.

ABSTRACT

Camu camu (*Myrciaria dubia* H.B.K. McVaugh) is an important fruit that is native to the Peruvian Amazon. This fruit cannot be consumed in nature, due to its high acidity, but constitutes an excellent raw material for the jam industry. The present work has the objective of elaborating and evaluating the consistency index (m), the flow index (n) and the effect of the temperature on the stability during storage of camu camu jam. Six types of jams were elaborated with pulp levels (50 and 60%) and pectin (0.5, 1.0 and 1.5%). The best treatment was determined through sensory and rheological evaluations, in order to later measure the stability during storage at different temperatures (30, 40 and 50 °C). The values allowed for the determination of the reaction order, reaction velocity constant and the activation energy. The best jam was from 50% pulp, 50% sugar and 1.0% pectin, with a significant difference existing between the treatments at a $p < 0.05$ for the sensory evaluation. This presented a pseudo plastic behavior ($n < 1$), with a consistency index of (m) 51.481 Pa·s ^{n} and a flow index of (n) 0.2802 s⁻¹. The consistency stability index (m) was seen to be affected by the effect of the temperature during storage. The kinetic degradation of the camu camu jam was of the zero reaction order, with an activation energy of 2.5495 Kcal.mol⁻¹ ($R^2=0.9997$), this value represents the lowest among other reported jams, which indicates that is more sensitive to temperature changes.

Keywords: Camu camu jam, consistency index, accelerated tests, reaction order, activation energy.

I. INTRODUCCIÓN

El Camu camu (*Myrciaria dubia* HBK McVaugh) es una de las especies más importantes de la Amazonia peruana. Este cultivo presenta características peculiares y radica en el alto contenido de vitaminas y varios compuestos nutricionales, principalmente aminoácidos esenciales y minerales. Sin embargo, esta fruta es altamente perecible, porque la vida útil en el ambiente no supera los 10 días después de su cosecha. Su consumo *in natura* es una restricción y se debe a su extrema acidez y pH bajo que oscila entre 2,6 a 2,8. En la actualidad, esta fruta representa una excelente materia prima para la industria alimentaria para la elaboración de diversos productos como mermelada, néctar, yogurt, helado, entre otros. Pero es utilizado en pequeña escala de la industria alimentaria (CASTRO *et al.*, 2018).

La mermelada es un producto alimenticio cuya característica es altamente calórica debido a la alta concentración de sólidos solubles de 65 a 68 °Brix. Los ingredientes comunes para su elaboración son las pulpas de frutas y azúcar como medio conservante. La mermelada de camu camu es una alternativa para minimizar las pérdidas postcosecha en épocas de producción del fruto. Para su elaboración, se utiliza diversas maquinarias, tales como: bombas, dosificadoras, mezcladoras y tuberías. Para el diseño de cada maquinaria es necesario conocer las propiedades reológicas del alimento a

procesar. Así mismo, estas propiedades sirven como una medida de calidad durante el proceso de elaboración y durante el almacenamiento del producto terminado. Sin embargo, no hay suficiente información en cuanto a los parámetros de elaboración de la mermelada de camu camu y sus propiedades reológicas (CASTRO *et al.*, 2018).

La reología es la ciencia que estudia la deformación física de un fluido. Esta ciencia es una herramienta útil en la ingeniería de procesos, que implican la transferencia de calor y cantidad de movimiento. La reología se utiliza también en el control de calidad durante el proceso y la etapa de almacenamiento, por lo que se usa el criterio para evaluar la estabilidad del producto en un periodo de almacenamiento mediante pruebas aceleradas considerando que el producto es un alimento semi perecible. Por lo tanto, este trabajo de investigación permite ser una base para futuros y nuevos trabajos que incentive su aplicación. En el presente trabajo, se plantearon los siguientes objetivos:

- Determinar los parámetros de elaboración de la mermelada de camu camu.
- Evaluar el comportamiento de flujo y las características sensoriales de la mermelada de camu camu.
- Relacionar los valores de textura y el índice de consistencia (m) para determinar el mejor tratamiento.
- Evaluar el efecto de la temperatura en la estabilidad de almacenamiento de la mermelada de camu camu mediante pruebas aceleradas.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Camu camu (*Myrciaria dubia* HBK McVaugh)

2.1.1. Origen y distribución geográfica

El camu camu es una fruta nativa muy relevante en la Amazonía peruana, conocida como *Myrciaria dubia* HBK McVaugh. Esta especie pertenece a la familia Myrtaceae, su crecimiento mayormente se realiza en las orillas de ríos, pequeños charcos y cursos menores de agua amazónica HERNÁNDEZ *et al.* (2011). Se encuentra en estado silvestre en forma de rodales naturales en Perú, Brasil, Colombia, Venezuela y Ecuador (CASTRO *et al.*, 2018; MAEDA *et al.*, 2003).

Su mayor concentración y diversidad se encuentra en la amazonia peruana, en las regiones de Loreto y Ucayali, a lo largo de los ríos Ucayali, Amazonas y sus afluentes. La quebrada del Supay es observado con mayor concentración de esta fruta. También se indica que el camu camu se encuentra a lo largo del río Amazonas hasta el estado de Amazonas en Brasil, así como en la cuenca del río Orinoco y en el estado de Rondônia, Brasil (VILLACHICA, 1996). En la región Ucayali existe 1 112,27 hectáreas de Camu camu, distribuidas entre las provincias de Coronel Portillo y Padre Abad, de las cuales el 49% están mantenidas, 9,71% por recuperar y el 41,33% no recuperables (RIVA, 2001; VELAZCO *et al.*, 2003).

2.1.2. Hábitat y condiciones de cultivo

El camu camu se desarrollada naturalmente en zonas periódicamente inundables, de alta humedad relativa y aparece con mayor frecuencia en los márgenes de los ríos, charcos y lagos. Por lo tanto, esta especie puede permanecer totalmente sumergida por aproximadamente cinco meses (ANDRADE, 1991; SOUZA, 1996; VILLACHICA, 1996).

El camu camu es una planta de clima tropical, pero su adaptación al clima subtropical también es posible, ya que se desarrolla rápidamente en temperaturas que oscilan entre 20 a 35 °C, siendo que a 30 °C la temperatura media de su hábitat natural es considerada ideal. (ALVARADO VERTIZ, 1969).

En condiciones silvestres la precipitación pluvial esta entre 2 500 a 3 500 mm/año y en condiciones de cultivo, la planta se desarrolla mejor en precipitaciones pluviales entre 1 700 a 3 500 mm/año (ALVARADO VERTIZ, 1969; VILLACHICA, 1996; AKTER *et al.*, 2011). La ciudad de Pucallpa representa la región donde se concentra la mayor área cultivada de camu camu. Los frutos son cultivados en suelos aluviales inundables, en suelos no inundables con drenaje deficiente y en suelos bien drenados y fue observado que la adaptación a esos tipos de suelos es bastante satisfactoria (VILLACHICA, 1996).

De acuerdo al trabajo realizado por la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana – UNAP, el tipo de suelo en el cual el camu camu es encontrado en condiciones silvestres presenta un pH entre 5,0 a 6,5 (ALVARADO VERTIZ, 1969). De acuerdo a VILLACHICA (1996) el camu camu se encuentra en un rango de pH un poco más ácido que varía entre 4,5 a 5,6. El viento también es un factor importante para la polinización (VILLACHICA, 1996).

2.1.3. Características botánicas

En su estado silvestre, la planta puede alcanzar de 4 a 8 m de altura, puede permanecer sumergido hasta seis meses en el agua, y crece naturalmente en el área de la llanura de inundación (JUSTI *et al.*, 2000).



Figura 1. Fruta de camu camu (*Myrciaria dubia* HBK McVaugh).

Típicamente, el arbusto camu-camu alcanza de 1 a 3 m de altura. El tronco es delgado y liso, tiene un diámetro de 10 a 15 cm y es muy ramificado, las ramas son delgadas y levemente péndulas. Las raíces son profundas y con gran cantidad de pelos absorbentes. Las hojas son opuestas, simples, pecioladas, las láminas son lanceoladas a elípticas de 3 a 10 cm de extensión y 1,5 a 4,5 cm de largura. El haz de la hoja es verde oscuro y algo brillante, mientras que el envés es opaco y verde claro (VILLACHICA, 1996).

Presenta inflorescencia axilar, con cuatro flores subsésil dispuestas en dos pares. Las frutas presentan la forma globular de 1,0 a 3,2 cm de diámetro, pesan de 2 a 20 g, tienen de una a cuatro semillas por fruta y de 50 a 55% de pulpa blanca con una piel delgada y brillante, que va desde rosa a rojo intenso o incluso oscuro. púrpura cuando está completamente maduro (RODRIGUES *et al.*, 2006).

2.1.4. Características taxonómicas

La clasificación taxonómica es la siguiente, descrito por ALVARADO

VERTIZ (1969):

Reino	: Vegetal
División	: Fanerógamas
Subdivisión	: Angiospermas
Clase	: Dicotiledóneas
Subclase	: Rosidae
Orden	: Myrtales
Suborden	: Myrtanae
Familia	: Myrtaceae
Género	: <i>Myrciaria</i>
Especie	: <i>dubia</i>

El camu camu es conocido científicamente por el nombre de *Myrciaria dubia* HBK McVaugh, pero también posee las siguientes sinonimias como: *Psidium dubium* HBK, *Psidium dubia* Kunt in HBK, *Psidium dubia* Kunth, *Myrciaria riedeliana* Berg, *Myrciaria caurensis* Steyerm, *Myrciaria paraensis* Berg, *Myrciaria spruceana* Berg, *Eugenia divaricata* Benth, *Myrciaria divaricata* (Benth), *Myrciaria phillyracoides* Berg (ANDRADE, 1991; SOUZA, 1996; VILLACHICA, 1996).

La especie *Myrciaria dubia* HBK McVaugh es conocida como “camocamo” y camu camu (en Ecuador y Perú), “caçari” o “araçá d'água” (en Brasil), “guayabo” (en Colombia) y “guayabato” o “guaiabito” (en Venezuela) (HERNÁNDEZ *et al.*, 2011).

2.1.5. Composición nutricional

La mayor importancia comercial de esta fruta es su alto contenido de ácido ascórbico o vitamina C, de aproximadamente 2800 mg/100g de pulpa fresca, concentración superior al de otros frutos (naranja con 92 mg/ 100g de pulpa y limón con 44,2 mg/ 100g de pulpa) y hortalizas del mundo, lo que le confiere gran potencial económico en la Agroindustria, pues se sabe que la vitamina C interviene en la totalidad de nuestros metabolismos: síntesis del colágeno, síntesis hormonales, estimulación de la cicatrización y propiedades antioxidantes por lo que neutraliza los radicales libres (ALVARADO *et al.*, 2002; CHIRINOS *et al.*, 2010).

Cuadro 1. Composición química del camu camu (100 gramos de pulpa fresca).

Componentes	Valor
Agua	94,4 g
Proteína	0,5 g
Carbohidratos	4,7 g
Fibra	0,6 g
Ceniza	0,2 g
Calcio	27,0 mg
Fosforo	17,0 mg
Hierro	0,5 mg
Tiamina	0,01 mg
Riboflavina	0,04 mg
Niacina	0,062 mg
Ácido ascórbico reducido	2780,0 mg
Ácido ascórbico total	2994,0 mg

Fuente: (HERNÁNDEZ *et al.*, 2011; VILLACHICA, 1996).

Según TAYLOR (2003), señala que el Camu-camu posee propiedades nutritivas y se caracteriza por contener niveles destacables de beta caroteno, calcio, hierro, niacina, fósforo, riboflavina, tiamina. El valor nutracéutico del camu camu es bien conocido ya que tiene el contenido más alto de vitamina

C de todas las frutas conocidas. La vitamina C es utilizada por diferentes industrias y su forma liofilizada se usa como un alimento funcional (HERNÁNDEZ *et al.*, 2011). También posee bajo contenido de proteínas, lípidos, minerales y fibras que no exceden del 1% (de cada uno), carbohidratos 4,7% y el contenido de agua representa la diferencia 94,4%.

2.1.6. Consumo y procesamiento

La fruta presenta un consumo restringido (que no atrae su consumo *in natura*), esto se debe a su alta concentración de ácido ascórbico y compuestos fenólicos que da como resultado la alta acidez del camu camu. Sin embargo, se puede mezclar con otras frutas para proporcionar un enriquecimiento nutricional, además de servir como un excelente uso para el procesamiento de mermeladas, jugos, néctar, helados, yogurt, concentrados, licores, vinos y como ingrediente de otros alimentos (CASTRO *et al.*, 2018; SOUZA *et al.*, 2013; AGUIAR *et al.*, 2015; RODRIGUES *et al.*, 2004; MAEDA y DE SOUZA ANDRADE, 2003; JUSTI *et al.*, 2000).

Cuadro 2. Composición química de productos elaborados a partir del camu camu

Componentes	Mermelada	Néctar	Helado	Yogurt
Humedad (%)	36,07	93,75	69,67	82,18
Ceniza (%)	0,32	0,11	1,32	0,68
Grasa (%)	0,08	0,06	2,25	4,12
Fibra (%)	0,42	0,19	0,12	0,08
Proteína (%)	0,38	0,18	3,82	4,02
Carbohidratos (%)	62,73	5,71	22,82	8,92
Ácido ascórbico (mg)	515,53	1788,97	251,35	233,36

Fuente: (VELAZCO y VEGA, 2003).

2.2. Mermelada de frutas

Es el producto de consistencia pastosa, o gelatinosa, obtenida por la cocción y concentración de frutas sanas, limpias y adecuadamente preparadas, adicionadas de edulcorantes naturales y aditivos permitidos, con o sin adición de agua (ITINTEC, 1991). La fruta puede ir entera, en trozos, tiras o partículas finas y deben estar dispersas uniformemente en todo el producto. La mermelada aún continúa siendo un método de conservación más popular aplicado para las frutas y hortalizas (FEATHERSTONE, 2016; MEYER, 2007; CORONADO y ROSALES, 2001). RORIZ (2010) define a la mermelada como un tipo de dulce de fruta que no contiene toda la pulpa de la fruta, presentando un aspecto semitransparente y una consistencia, debido a la pectina presente en las frutas. La palabra “geleia” tiene su origen del francés “gelée”, que significa solidificar o gelificar.

De acuerdo a MEYER (2007), la solidificación de la mermelada se debe a la presencia de pectina y ácidos presentes en los vegetales. La pectina presenta el poder de solidificar una masa con el 65% de azúcares y hasta 0,8% de ácidos, este contenido debe resultar dentro de un pH de 3,0 a 3,4 para la elaboración de la mermelada. También se añaden pectina y ácidos para reducir los tiempos de elaboración y para obtener una mejor calidad (CORONADO y ROSALES, 2001).

Este producto es obtenido a través de una rápida concentración de la fruta mezclada con el azúcar, hasta llegar al punto sólido conteniendo 65% de sólidos solubles. Durante la concentración, se evapora el agua que está presente en la fruta (los tejidos) logrando ablandarlos. Este fenómeno permite a la fruta absorber azúcar (intercambio) y libera pectina y ácidos. A causa de la presencia

de los ácidos y de la alta temperatura, ocurre la parcial inversión de los azúcares (MEYER, 2007).

Los conservadores químicos como el ácido benzoico y el ácido sórbico (comúnmente usados) presentan la acción de inhibir el desarrollo de microorganismos (principalmente hongos y levaduras) que puedan ser tolerantes a las condiciones de estos productos y asegurar la conservación del producto después que se ha abierto el envase (MEYER, 2007).

2.2.1. Elaboración de la mermelada

La elaboración de la mermelada sigue siendo uno de los métodos más populares para la conservación de frutas en general, a continuación se detalla las etapas para obtener una buena mermelada (BARBIERI *et al.*, 2018).

Cocimiento de la fruta: Permite ablandar la fruta y a la vez solubilizar la pectina. El tiempo de cocción depende de la variedad y textura de la fruta. En caso del camu camu no se empleó esta etapa, porque la fruta carece de pectina natural.

Adición del azúcar: El azúcar empleado es la sacarosa o azúcar comercial, una parte del azúcar debe ser invertido, esto para evitar la cristalización de la sacarosa.

Cocción de la mezcla: Es importante considerar el tiempo de cocción de la mezcla, esto para conservar el color y sabor de la fruta. El exceso de cocción en presencia de ácidos aumenta la inversión de la sacarosa.

Adición del ácido: Se agrega con el fin de ajustar el pH de la fruta asegurándose que la inversión de la sacarosa, no se severa. El ácido

comúnmente es el ácido cítrico, ya que es el que imparte mejor sabor ácido a los productos.

Adición de la pectina: La pectina necesaria para la elaboración de mermelada es proporcionada en un principio por las mismas frutas, en la mayoría de casos es necesario agregar. Su adición se hace disolviendo en agua caliente, en fruta cocida o en jugo de fruta, siempre y cuando la temperatura no sea mayor a los 50-80 °C se mezcla la cantidad requerida de pectina con 5-8 veces su peso de azúcar, que actúa como dispersante.

Determinación del punto final: La cocción debe finalizar cuando se haya obtenido el porcentaje de sólidos solubles deseado entre 65 a 68%. Existen dos métodos para evaluar el aumento de la concentración. El primero es empleado el refractómetro para que determine los grados °Brix de la solución. Y el segundo es empleado un termómetro que tenga una escala por lo menos hasta 100 °C.

Envasado y enfriado: El envasado se realiza en caliente (85 °C), debido a que obtiene mayor fluidez del producto en el llenado y permite obtener un vacío adecuado. El enfriado se pasa a los frascos a través de un baño de agua, o en su defecto a través de un túnel provisto de chorros de aire, esto para la adecuada gelificación, posteriormente el producto es almacenado en cajas.

2.2.2. Acidez y valor de pH de la mermelada

Según RAUCH (1987), la capacidad para cuajar y formar gel debe controlarse ajustando el pH de la pulpa o jugo de la fruta. No se forma ningún gel consistente por encima de las proximidades de pH 3,4. El poder gelatinizante aumenta reduciendo el índice de acidez a pH 3. Por debajo del pH 3 se observa

una tendencia a que se produzca el fenómeno conocido como “sangrado” (sinéresis).

2.3. Defectos de la mermelada

A continuación se presenta los principales defectos en la elaboración de mermeladas, descrito por RABABAH *et al.*, (2015):

2.3.1. Mermelada poco firme

Causado por: La cocción prolongada causa el hidrolisis de la pectina, dando lugar a un producto de consistencia como un jarabe; Acidez demasiado alta tiene un efecto similar, rompe el sistema reticular de la jalea, causando sinéresis; Acidez demasiado baja perjudica a la capacidad de gelatinización de la pectina y frecuentemente impide la formación de gel; La fruta contiene “Tampones” en forma de sales minerales naturales. Estas sales retrasan si se encuentran en proporciones elevadas, impiden por completo la gelatinización; La carencia general de la pectina en la fruta o pulpa de fruta; Demasiado azúcar en relación a la pectina y excesivo enfriamiento antes del envasado original el fenómeno referido frecuentemente como “rotura de gel”.

2.3.2. Sinéresis

Causado por: Acidez demasiado elevada; Deficiencia en pectina; Exceso de agua (demasiado baja en sólidos); Exceso de azúcar invertido.

2.3.3. Cambio de color

Causado por: Cocción prolongada: causa la caramelización del azúcar o afecta a la clorofila que se vuelva parda; Deficiente enfriamiento después del envasado, frecuentemente cuando se llenan envases grandes en

una sola operación; Pulpa descolorida, cuando se utiliza pulpa de frutas mal limpiadas; Empleo de tampones en exceso y contaminación con metales, los fosfatos de magnesio y potasio, los oxalatos u otras sales insolubles de estos pueden originar un aspecto lechoso u oscurecimiento y causas biológicas, como los daños mecánicos o una madurez excesiva causan el pardeamiento de un gran número de variedades de fruta.

2.3.4. Cristalización

Causado por: Elevada cantidad de azúcar; Acidez demasiado elevada que ocasiona la alta inversión de los azúcares, dando lugar a la granulación de la mermelada; Acidez demasiado baja que origina la cristalización de la sacarosa; Exceso de cocción que da una inversión excesiva y la permanencia de la mermelada en las pailas de cocción u ollas, después del haberse hervido también da a lugar a una inversión excesiva.

2.3.5. Crecimiento de hongos y levaduras en la superficie

Causado por: Humedad excesiva en el almacenamiento; Contaminación anterior al cierre de los envases; Envases poco herméticos; Bajo contenido de sólidos solubles del producto, debajo del 63%; Contaminación debido a la mala esterilización de envases y de las tapas utilizadas; Sinéresis de la mermelada y llenado de los envases a temperatura demasiado baja, menor a 85°C y el llenado de los envases a temperatura demasiada alta, mayor a 90 °C.

2.4. Materias primas e insumos

2.4.1. Frutas

Se debe considerar frutas frescas, con frecuencia se utiliza una mezcla de fruta madura con fruta que recién ha iniciado su maduración y los resultados son bastantes satisfactorios. La fruta demasiado madura no resulta apropiada para preparar mermeladas, ya que no gelifica bien (KHAN y KALNE, 2018).

Las características de la fruta a considerar son: sanas, el color, la consistencia, el grado de descomposición y el grado de madurez. El estado de madurez de las frutas, es importante para obtener un producto con las características deseadas (BARBIERI *et al.*, 2018).

Entre las frutas más usadas para la elaboración de mermeladas son: la papaya, piña, fresa, naranja, ciruela, pera, mora, albaricoque, durazno, entre otras. En el Perú existen diversas especies nativas a partir del cual se pueden preparar mermeladas de calidad, uno de ellos es el camu camu (*Myrciaria dubia* HBK McVaugh) (SHINWARI y RAO, 2018).

2.4.2. Azúcar

El azúcar es un ingrediente esencial, desempeña un papel vital en la gelificación de la mermelada al combinarse con la pectina (CORONADO y ROSALES, 2001). El azúcar es uno de los componentes de las mermeladas, siendo que sus cantidades, juntamente con la pectina y el ácido, determinan la formación de gel. Además, acciona como conservante, es decir, en altas concentraciones inhibe el crecimiento de microorganismos. La adición del azúcar mejora la apariencia, el sabor y el rendimiento del producto final (MEYER, 2007).

El tipo de azúcar y el método de adición durante la cocción también afectan la calidad de la mermelada (JACKIX, 1988).

El azúcar a utilizarse debe ser de preferencia azúcar blanca, porque permite mantener las características propias de color y sabor de la fruta (CORONADO y ROSALES, 2001). La sacarosa, durante la cocción, puede sufrir cambios químicos, logrando convertirse en una mezcla de partes iguales de glucosa y fructosa, conocido como azúcar invertido (GAVA *et al.*, 2008). La ventaja de la presencia del azúcar invertido en la mermelada es que puede disminuir la cristalización. La mezcla de sacarosa, fructosa y glucosa poseen mejor solubilidad que la sacarosa pura (JACKIX, 1988).

2.4.3. Pectina

La pectina es uno de los polisacáridos más importantes en la industria de alimentos de frutas y hortalizas. El tipo de pectina usada influencia tanto en la calidad del producto obtenido cuanto en la economía del proceso de producción (SILVA, 2000).

Las pectinas comerciales son galacturonoglicanos con contenidos variables de grupos metiléster, es obtenida de cascara de frutas cítricas y de las manzanas. La pectina de las cascara de limón y lima, en general la más fácil de ser aislada y de más alta calidad. Las pectina tiene la propiedad única de formar geles extensibles en presencia de azúcar y ácido, como también en presencia de iones calcio, y se utilizan casi exclusivamente en este tipo de aplicaciones (FENNEMA *et al.*, 2010).

Las pectinas comerciales son clasificadas de acuerdo con su grado de metoxilación, es decir, la cantidad de grupos carboxílicos esterificados

presentes en la molécula (BOBBIO, 2003). Las pectinas de alta metoxilación presentan 50% o más de sus grupos carboxílicos esterificados, en cuanto que las pectinas de baja metoxilación poseen menos de 50% de estos grupos esterificados (SIGUEMOTO, 1993).

Las frutas contienen en las membranas de sus células una sustancia natural gelificante que viene hacer la pectina. La cantidad y calidad de pectina presente dependerá del tipo de fruta y su estado de madurez. La cantidad a usar es variable según el poder gelificante de esta y la fruta que se emplea en la elaboración de la mermelada (CORONADO y ROSALES, 2001). Las frutas ricas en pectina son la manzana, limón, naranja, pomelo, membrillo, entre otros. Las frutas pobres en pectina son: la fresa, melocotón, pera, piña, mora, encontramos el camu camu también dentro de esta clasificación.

2.4.4. Ácido

El ácido también es un ingrediente indispensable para la formación del gel, cuando está ausente en la fruta o se encuentra en cantidades insuficientes, puede ser añadido, obedeciendo los límites permitidos por la normativa vigente (SILVA, 2000). Si todas las frutas tuviesen idéntico contenido de pectina y ácido cítrico, la preparación de mermeladas sería una labor simple, con poco riesgo de incurrir en fallas o defectos del producto, sin embargo el contenido de ácido difiere entre las distintas clases de frutas. A parte de gelificar, el ácido confiere brillo al color de la mermelada, mejora el sabor, ayuda a evitar la cristalización del azúcar y prolonga su tiempo de vida útil (CORONADO y ROSALES, 2001).

La acidez total de la mermelada debe estar alrededor de 0,5 a 0,8%, pues encima del 1,0% puede ocurrir sinéresis, es decir, exudación del líquido de la mermelada (TORREZAN, 1998).

2.5. Reología de alimentos

La reología es la ciencia que se dedica al estudio de la deformación y flujo de la materia, bajo la influencia de fuerzas mecánicas. Su objetivo está restringido a la observación del comportamiento de materiales sometidos a deformaciones muy sencillas, desarrollando posteriormente un modelo matemático que permita obtener las propiedades reológicas del material. Como ejemplos cotidianos de interés para la reología se encuentran la mayonesa, yogur, pinturas, sangre, entre otros (IBARZ *et al.*, 2005; RAO, 2014).

El campo de la reología se extiende, desde la mecánica de fluidos newtonianos, por una parte, hasta la elasticidad de Hooke por otra. La región comprendida entre ellas corresponde a la deformación y flujo de todos los tipos de materiales pastosos y suspensiones (IBARZ *et al.*, 2006).

La mayoría de los productos líquidos o semilíquidos obtenidos a través del procesamiento de frutas son comercializadas como purés o jugos, pudiéndose encontrar estos últimos como concentrados, clarificados, despectinizados o no despectinizados. La determinación de las pruebas reológicas de los jugos de fruta es de gran importancia para generar los cálculos adecuados para su calentamiento, enfriamiento y transporte por bombeo dentro de las plantas procesadoras de alimentos (AHMED *et al.*, 2017; BERK, 2018). Asimismo, dichas propiedades son de gran relevancia para el control de calidad

de productos como jugos, purés, mermeladas, jaleas, entre otros. Existe una correlación que las relaciona con la aceptabilidad por parte del consumidor.

2.5.1. Tipos de fluidos

RAMIREZ NAVAS (2006) afirma que existen diferentes tipos de comportamientos reológicos para los fluidos alimenticios, los cuales se pueden clasificar en dos grandes grupos.

Fluido newtoniano y no newtoniano, el primero es aquel fluido que presenta una viscosidad constante dependiente de la temperatura, pero independiente de la velocidad de deformación que le sea aplicada y el segundo es un tipo de fluido no tiene una sola viscosidad a una temperatura dada, se dice que son dependientes tanto la temperatura como la velocidad de deformación y pueden ser también independientes del tiempo. Con base en esta última condición los fluidos no newtonianos pueden clasificarse en:

Pseudoplástico: Para este tipo de fluido la viscosidad decrece conforme se incrementa la velocidad de deformación, la razón por la cual se da este comportamiento, es que al haber mayor velocidad de deformación las partículas de este tipo de fluido se reacomodan de tal modo que existe una menor resistencia al flujo y por lo tanto una menor viscosidad. Como por ejemplo algunos tipos de ketchup, mostaza, algunas clases de pinturas y suspensiones acuosas de arcilla.

Dilatante: La viscosidad de estos fluidos incrementa al mismo tiempo que la velocidad de deformación incrementa, este tipo de comportamiento es común en suspensiones de muy alta concentración. Como por Ejemplos de este

tipo de fluidos son: la harina de maíz, las disoluciones de almidón muy concentradas, etc.

Plásticos y plásticos de Bingham: Estos fluidos requieren la aplicación de una fuerza antes de que el material comience a fluir. A dicha fuerza se le conoce como esfuerzo de cedencia. Como por ejemplo son el chocolate, la arcilla, la mantequilla, la mayonesa, la pasta de dientes, las emulsiones y las espumas.

El objetivo es identificar el comportamiento reológico de un fluido cotidiano mediante una metodología adecuada para la operación de un viscosímetro rotacional y obtengan así mediciones reológicas óptimas que lleven a la interpretación de algún modelo matemático expuesto (BERK, 2018; CARMONA, 2008).

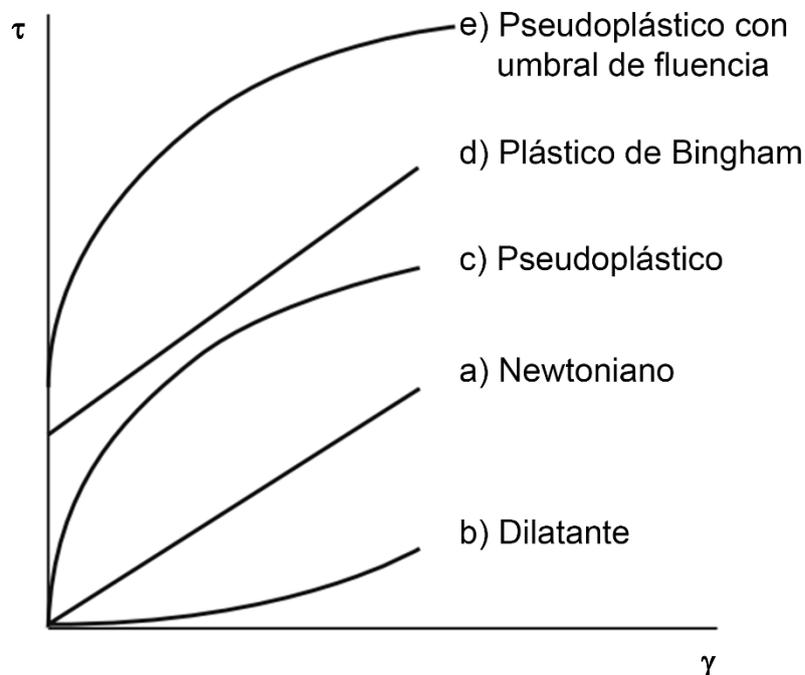


Figura 2. Tipos de fluidos independientes del tiempo

Fuente: STEFFE (1996).

2.5.2. Modelos matemáticos de reología de alimentos

STEFFE (1996) explica que es posible modelar matemáticamente datos experimentales de esfuerzo cortante y de velocidad de deformación, entre los más conocidos destacan los siguientes modelos matemáticos:

- Ley de Newton: $\tau = \eta\dot{\gamma}$
- Ley de Potencia: $\tau = m\dot{\gamma}^n$
- Modelo de Bingham: $\tau = \tau_0 + \eta\dot{\gamma}$
- Modelo de Herschel – Bulkley: $\tau = \tau_0 + m\dot{\gamma}^n$

En donde: τ = es el esfuerzo cortante (Pa); η = es la viscosidad aparente (Pa s); $\dot{\gamma}$ = Es la velocidad de deformación (1/s); m = es el coeficiente o índice de consistencia de flujo (Pa sⁿ); τ_0 = es el umbral de fluencia (Pa) y n = es el índice de flujo.

2.5.3. Factores que afectan la viscosidad

Durante algunas operaciones de la industria alimentaria la viscosidad puede variar considerablemente. Esto ocurre en particular en aquellos procesos que implican calentamiento, enfriamiento, homogenización y concentración, así como durante muchas fermentaciones industriales (LEWIS, 1993).

Efecto de la temperatura: La temperatura tiene un marcado efecto sobre la viscosidad; las ecuaciones que correlacionan la viscosidad y la temperatura para fluidos viscosos son:

Fluidos newtonianos

$$\mu = Ae^{Ea/RT}$$

Fluidos no newtonianos

$$K = K_T e^{Ea/RT}$$

En donde: μ = Viscosidad; T = Temperatura absoluta; A y K_T = Constantes experimentales; K = Viscosidad aparente; E_a = Energía de Activación y $R = 1,987$ cal/g mol.K.

Según CARMONA (2008) menciona que la viscosidad de un alimento líquido disminuye con la temperatura. Existen varias fórmulas que permiten evaluar la variación de la viscosidad de un líquido al cambiar la temperatura. Las temperaturas deben controlarse con un error máximo de 0,1 °C durante las determinaciones experimentales de viscosidad (LEWIS, 1993).

Efecto de la estructura y composición: La viscosidad depende de la naturaleza de las fases continua y dispersa, las interacciones partícula - partícula, partícula - solvente, la concentración de partícula, su forma, tamaño y composición química. Las moléculas de cadena larga y sustancias poliméricas no fluyen como una que tenga segmentos y ramificaciones, ya que la viscosidad depende de la longitud de la cadena (IBARZ y BARBOSA-CÁNOVAS, 2005; LEWIS, 1993).

Efecto de la concentración: La viscosidad de una solución es afectada por la concentración de soluto, aumentando conforme esta se incrementa. En la concentración de proteínas mediante ultrafiltración, es la viscosidad quien determina el grado de concentración obtenido (IBARZ *et al.*, 2006; LEWIS, 1993; RAO, 2014).

Se han descrito dos tipos de correlaciones o modelos matemáticos para considerar el efecto de la concentración en la viscosidad, una según un modelo potencial:

$$0 = K_1 C A_1$$

Y otra según un modelo exponencial

$$0 = K_2 \exp(A_2 C)$$

En estas ecuaciones K_1 , K_2 , A_1 y A_2 son constantes y C es el contenido en sólidos solubles del fluido expresado en °Brix.

Estas ecuaciones también son válidas para estudiar el efecto de la concentración en el índice de consistencia. El modelo potencial da resultados satisfactorios en purés de frutas y hortalizas altamente viscosos. Sin embargo, los mismos autores encontraron que para zumos de fruta concentrados el modelo exponencial proporcionaba mejores ajustes (CARMONA, 2008).

Otros factores: En jugos, purés de frutas y verdura, la viscosidad es afectada por la composición de la fruta, la variedad, la época de la cosecha, el grado de maduración, el manejo pos cosecha y las condiciones del proceso de transformación (RAO, 2014).

2.6. Estabilidad en el almacenamiento

2.6.1. Pruebas aceleradas

El objetivo básico de las pruebas aceleradas es realizar estudios a temperaturas elevadas para luego poder predecir el deterioro a temperaturas de almacenamiento menores (TOLEDO *et al.*, 2016). Estas predicciones se darán en un periodo de tiempo mucho más corto que con los métodos tradicionales (LABUZA *et al.*, 1985).

Para poder extrapolar los resultados obtenidos a temperaturas elevadas a temperaturas más bajas, será necesario aplicar la ecuación de Arrhenius cuyo parámetro clave es la energía de activación (LABUZA, 2000).

Los alimentos están generalmente sujetos a condiciones de deterioro extremas para acelerar la reacción y reducir el tiempo requerido para el estudio. Lo más usado es almacenar el producto a altas temperaturas.

2.6.2. Orden de reacción

(LABUZA, 2000) menciona que es sumamente complejo reconocer un sistema alimentario con respecto a las pérdidas de la calidad, lo cual es representado por la pérdida de un factor de calidad o el aumento de un factor indeseable.

Las velocidades de pérdida son representadas por la ecuación:

$$\begin{array}{l} + \frac{dA}{dt} \\ - \frac{dB}{dt} \end{array} = K \cdot A^n$$

Obteniéndose las siguientes ecuaciones para diferentes órdenes de reacción (n):

$$n = 0: \quad A_0 - A = K \cdot t$$

$$n = 1: \quad \ln\left(\frac{A_0}{A}\right) = K \cdot t$$

$$n > 1: \quad \frac{1}{A^{n-1}} - \frac{1}{A_0^{n-1}} = (n-1)K \cdot t$$

Por regresión de los datos experimentales se puede obtener la constante de velocidad de reacción (K) a una determinada temperatura.

Los órdenes de reacciones se aplican para los siguientes casos:

- **Reacciones de orden cero:** Degradación enzimática en frutas frescas y vegetales, alimentos congelados y pastas refrigeradas, también en el pardeamiento no enzimático en cereales y en productos lácteos deshidratados; y en oxidación de lípidos en alimentos congelados y deshidratados.

- **Reacciones de primer orden:** Rancidez en aceites o en alimentos deshidratados. Crecimiento de microorganismos y sus defectos. Pérdida de vitaminas en alimentos enlatados y deshidratados y pérdida en calidad de proteínas en alimentos deshidratados. Generalmente la velocidad de reacción se incrementa conforme la temperatura aumenta. El más prevaeciente y ampliamente usado es la relación de Arrhenius.

La ecuación de Arrhenius, desarrollada teóricamente para las reacciones químicas moleculares reversibles, ha demostrado experimentalmente sostener empíricamente varios complejos fenómenos físico-químicos. También se ha demostrado la reacción de pérdida de calidad de alimentos descritas por modelos cinéticos mencionados para seguir un comportamiento de Arrhenius con la temperatura.

2.6.3. Efecto de la temperatura en la velocidad de deterioro

La temperatura es importante en las velocidades de reacción, es decir, la velocidad de reacción se incrementa conforme la temperatura aumenta. El más prevaeciente y ampliamente usado es la relación de Arrhenius. La ecuación de Arrhenius, desarrollada teóricamente para las reacciones químicas moleculares reversibles, ha demostrado experimentalmente sostener empíricamente varios y complejos fenómenos físico-químicos como, por ejemplo: viscosidad, difusión (LABUZA, 2000).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

Para la elaboración de la mermelada se realizó en el área de procesamiento mínimo de la planta piloto de frutas y hortalizas, para el análisis sensorial en el laboratorio de Análisis sensorial de alimentos y para los análisis reológicos en el laboratorio de Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, ubicado en el campus de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicado en la ciudad de Tingo María, provincia de Leoncio Prado, Región Huánuco. A una altitud de 660 m.s.n.m., clima tropical húmedo, temperatura promedio de 27 °C y con 84% de Humedad Relativa.

3.2. Materia prima e insumos

3.2.1. Materia prima

El camu camu (*Myrciaria dubia* H.B.K. VcVaugh) fue adquirido en los centros de acopio de Yarinacocha (S 8° 21' 8,838" O 74° 34' 33,862"), provincia de Coronel Portillo, región Ucayali, una altitud de 153 msnm, clima húmedo, Humedad relativa de 84% y temperatura anual de 26,4 °C. Las frutas fueron lavadas para retirar restos de impurezas, después fueron pulpeadas utilizando un pulpeador con tamiz de 1 mm y se mantuvieron a 4°C hasta la preparación de la mermelada.

3.2.2. Insumos

Para la formulación de la mermelada fueron utilizados los siguientes insumos: azúcar blanca (Palo gordo), pectina cítrica 150° (Fratello), citrato de sodio (Grupo ICR) y sorbato de potasio (Fratello).

3.3. Materiales y equipos

3.3.1. Materiales y/o instrumentos de vidrio

Vasos precipitados de 50, 100 y 500 mL marca Kimax, termómetro de capacidad de 0 a 100 °C, frasco de vidrio incoloro de 212 mL (Con tapa Twist metálica de color blanco de 63 mm).

3.3.2. Materiales de acero, plástico y madera

Jarras medidoras de 1 L, baldes de 10 a 20 L, pisceta y paleta de madera. Ollas de 5 a 8 L, cucharon y cuchara bocona.

3.3.3. Equipos y máquinas para procesamiento

Balanza gramera, marca AEADA, modelo CFC-660a, de 0 a 300 kg. de capacidad. Balanza analítica, marca OHAUS, modelo AP210S, de 0 a 210 g de capacidad (USA). pH-metro de marca Orion Research, modelo 301-USA. Refractómetro de marca ATAGO Rango de 60 a 90 °Brix. Pulpeadora de una velocidad.

3.3.4. Equipos para la determinación reológica y estabilidad en el almacenamiento

Viscosímetro Brookfield RV DV-III Ultra con Spindle N° 21, 06, 05 y 04. Estufa TOMOS ODHG-9076 Heating Drying Oven. Baño María.

3.4. Métodos de análisis

3.4.1. Análisis sensorial

Fue realizado por la prueba de aceptación descrita por BASU *et al.* (2011), utilizando una escala hedónica estructurada de nueve puntos.

3.4.2. Análisis reológico

Se determinó la viscosidad utilizando el viscosímetro de Brookfield RV DV-III Ultra, cada tres repeticiones de cada tratamiento, a diferentes velocidades de rotación (RAO, 2014).

3.5. Metodología experimental

3.5.1. Elaboración de la mermelada de camu camu

La mermelada de camu camu fue elaborada a diferentes niveles de pulpa/azúcar (50:50 y 60:40 respectivamente), pectina (0,5%; 1,0%; 1,5%), como se detalla en la Figura 3, luego cada nivel obtenido fue sometido a evaluación sensorial y evaluación reológica para la determinación del mejor tratamiento.

Recepción de la materia prima: Se realizó el control visual sanitario de la materia prima, luego se pesó la materia prima.

Selección y clasificación: Se seleccionó la variedad *Myrciaria dubia* HBK McVaugh, con una clasificación de frutos maduros (color rojo), sanos y enteros.

Lavado: Se realizó por inmersión utilizando agua corriente, con el fin de reducir la carga microbiana, restos de tierra y otras impurezas.

Pulpeado: Se usó una pulpeadora a escala de planta piloto, con abertura de tamiz de 1,0 cm y 0,4 cm; obteniéndose pulpa fina y homogénea.

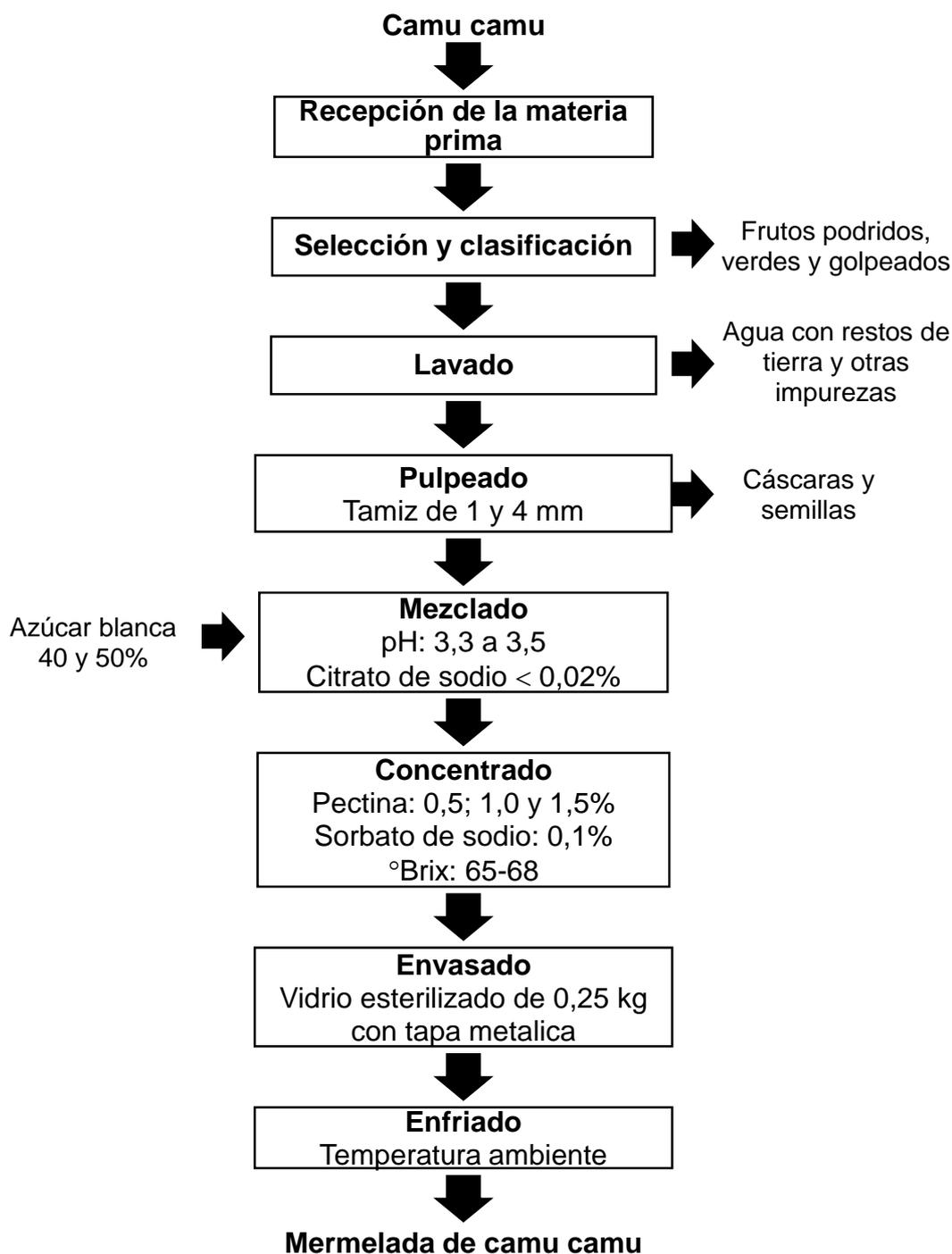


Figura 3. Flujograma de elaboración de la mermelada de camu camu.

Mezclado: Se realizó la mezcla pulpa/azúcar de acuerdo a los porcentajes establecidos en el diseño experimental (Anexo A-1) con un pH de 3,3 a 3,5.

Concentrado: Se realizó a temperatura de ebullición con la finalidad de reducir agua a través de la evaporación. Se adicionó la pectina (0,5%; 1,0% y 1,5%) y sorbato de potasio al 0,1% hasta conseguir la concentración de 65 a 68 °Brix.

Envasado/ Enfriado: Se llenó en envases de vidrio previamente esterilizados de 0,25 kg y se enfrió a temperatura ambiente para conservar su calidad.

Evaluación sensorial: el panel estaba conformado por 15 participantes, incluidos hombres y mujeres (estudiantes de la FIIA). Todas las muestras se presentaron a los panelistas a temperatura ambiente (25°C) en condiciones de iluminación normal en platos codificados con números aleatorios de tres dígitos. Se proporcionó galletas y cucharas a los panelistas, como también agua potable para el enjuague bucal. Cada panelista evaluó seis tipos de mermeladas. Los valores obtenidos del análisis sensorial (apariencia general, sabor, textura, color y aroma) fueron utilizados para el análisis estadístico no paramétrico de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

Evaluación reológica: se calculó el esfuerzo de corte (τ) y la velocidad de deformación ($\dot{\gamma}$) a través de las lecturas de la viscosidad obtenida a diferentes velocidades de rotación (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 RPM). Luego se determinó a través de cálculos matemáticos el índice de flujo (n) e índice de consistencia (m), para ello se usó el modelo matemático de la ley de la potencia. Los valores obtenidos fueron utilizados para el análisis de varianza de dos factores y la prueba de comparación de promedios Tukey ($p < 0,05$). Se utilizó el programa estadístico Statgraphics Centurion versión 15. El tratamiento con

mayor puntuación obtenida de la relación de los análisis sensorial y reológico, fue elaborada para la siguiente evaluación.

3.5.2. Evaluación en el almacenamiento

De los análisis sensorial y reológico, la mermelada de camu camu T2 (50% de pulpa, 50% de azúcar y 1,0 de pectina) fue el que mayor puntuación obtuvo. La evaluación en el almacenamiento por pruebas aceleradas tiene como finalidad determinar su estabilidad como parámetro de calidad mediante el índice de consistencia (m). Las temperaturas utilizadas fueron 30, 40 y 50 °C y el análisis reológico (Ítem 3.4.2.) se realizó cada 6 días durante 30 días. Se calculó el esfuerzo de corte (τ) y la velocidad de deformación ($\dot{\gamma}$). Luego se determinó a través de cálculos matemáticos el índice de flujo (n) e índice de consistencia (m), para ello se usó el modelo matemático de la ley de la potencia (Anexo A-2). El orden de reacción y la constante de velocidad de reacción (k) obtenidos de los resultados fueron relacionadas con las diferentes temperaturas (LABUZA, 2000). Los valores obtenidos permitieron predecir el comportamiento reológico a temperaturas reales de almacenamiento a través de la ecuación de Arrhenius para la obtención de la energía de activación (E_a).

$$K = K_0 \cdot e^{E_a/RT}$$

Dónde la constante R equivale a 1,98717 cal.mol⁻¹K⁻¹.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Elaboración de la mermelada de camu camu

Según ITINTEC (1991) describe a las mermeladas de consistencia buena, aquella que presente frutas enteras, trozos, tiras o partículas finas de la misma, dispersos uniformemente en todo el producto y este puede ser firme pero no duro, o puede presentarse viscoso sin llegar a ser líquido.

Se elaboraron 6 niveles de mermeladas de acuerdo al diseño experimental propuesto (Anexo A-1), después fueron sometidos a evaluación sensorial para diferentes atributos como textura, sabor y apariencia general, con mayor relevancia el de textura. Los productos elaborados se encuentran clasificados como una mermelada de tipo I, porque ha sido preparada con frutas de una sola especie (ITINTEC, 1991), en este caso la fruta de camu camu especie *Myrciaria dubia* HBK McVaugh, también se encuentra clasificada como mermelada de clase 2 porque contiene la fruta en forma de partículas finas (ITINTEC, 1991), es decir, la materia prima fue sometida a la operación del pulpeado, con el fin de homogenizar y reducir el tamaño de partículas para el proceso de elaboración.

La consistencia/textura de los productos elaborados con niveles de 60/40 de pulpa/azúcar, respectivamente presentaron una consistencia débil, muy próxima a una jalea, esto se debe por el alto contenido de pulpa, presenta mayor

grado de acidez, como también una posible hidrólisis de la pectina de una cocción prolongada (RAUCH, 1987), uso de pectina comercial implica desconocer algunas características de grado pureza, dando como resultado un producto con apariencia de jarabe. Por el contrario, los productos con niveles de 50/50 de pulpa/azúcar, respectivamente presentaron mejores características de consistencia/textura, es decir, fueron los que mayor puntaje resaltaron en la evaluación sensorial.



Figura 4. Mermeladas 50/50 de pulpa/azúcar.

La mermelada de buena consistencia irá depender de la calidad de los elementos usados y de su combinación adecuada, la cantidad de pectina depende mucho de su calidad, generalmente 1,0% es suficiente para producir una mermelada firme (TORREZAN, 1998).

Las mermeladas no deberán usar por encima de 0,125% e sorbato de sodio o potasio, no deberá exceder de 0,5% de ácido ascórbico y no deberá exceder 0,2% de sustancias amortiguadoras como el citrato de sodio, tartrato de sodio y/o potasio (ITINTEC, 1991).

4.2. Análisis sensorial

El resultado del análisis estadístico por la prueba no paramétrica de la evaluación sensorial de los diferentes tratamientos se muestra en los cuadros de los Anexos B-2, B-4 y B-6.

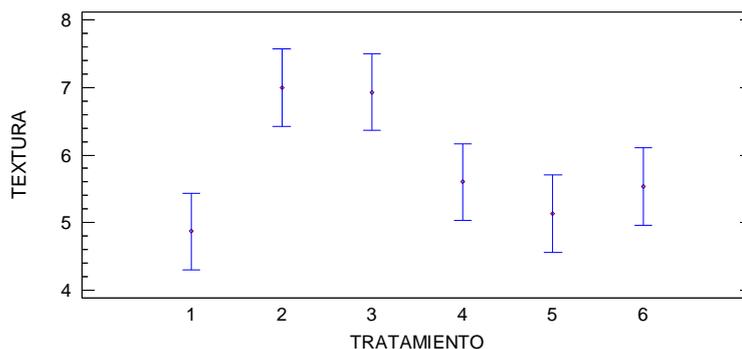


Figura 5. Comparación de media de los tratamientos contra la textura.

El valor-p es menor que el 5% de significancia en la prueba de Kruskal-Wallis, esto indica que existe diferencia significativa en la apreciación de los panelistas con el atributo consistencia/textura. Los mejores tratamientos fueron de los niveles 50/50 de pulpa/azúcar al 1,0% de pectina y 50/50 de pulpa/azúcar al 1,5% de pectina, de acuerdo a la prueba de aceptación, atributo consistencia/textura (Figura 5).

También existe diferencia significativa con el atributo sabor (Valor- $p < 5\%$), tal como se muestra en la prueba Kruskal-Wallis (Anexo B-4), indicando que los mejores tratamientos fueron de los niveles 50/50 de pulpa/azúcar al 1,0% de pectina y 50/50 de pulpa/azúcar al 1,5% de pectina, de acuerdo a la prueba de aceptación, atributo sabor (Figura 6).

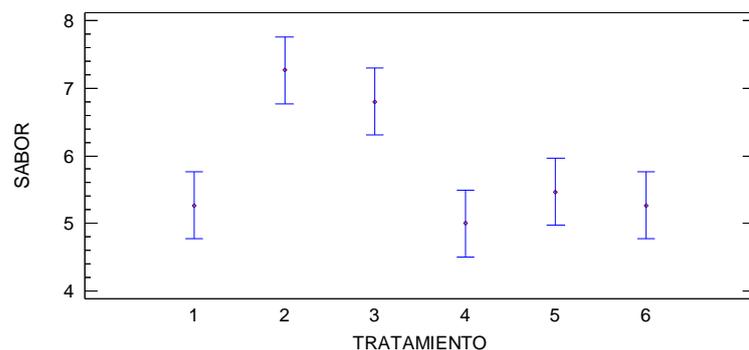


Figura 6. Comparación de media de los tratamientos contra el sabor.

Para el atributo de apariencia general, el valor-p es menor que el 5% de significancia, esto indica que existe diferencia significativa en la apreciación de los panelistas con la apariencia general de la mermelada, tal como se muestra la prueba de Kruskal-Wallis (Anexo B-6). Indicando que los mejores tratamientos fueron las mermeladas de los niveles 50/50 de pulpa/azúcar al 1,0% de pectina y 50/50 de pulpa/azúcar al 1,5% de pectina (Figura 7).

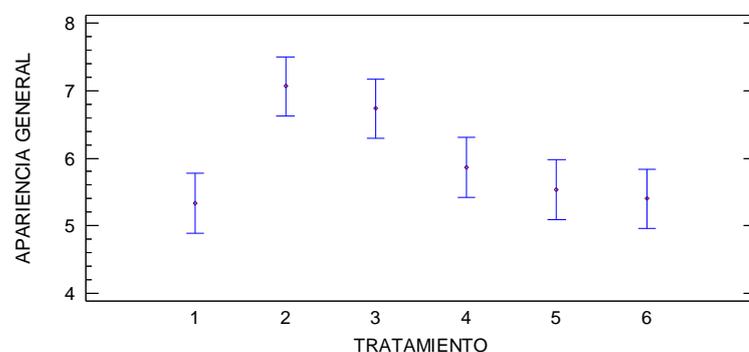


Figura 7. Comparación de media de los tratamientos contra la apariencia general.

Fue considerado como el mejor tratamiento de la mermelada el de la relación 50/50 de pulpa/azúcar respectivamente y al 1,0% de pectina, ya que obtuvo mayor promedio en el análisis estadístico. Generalmente 1,0% es suficiente para producir una mermelada firme (TORREZAN, 1998), con 65 a 68

°Brix, con un máximo de 0,2% de citrato de sodio y con pH entre 3,3 a 3,5 (ITINTEC, 1991). Para los atributos de color y aroma obtuvieron como resultado $p = 0.0132226$ y $p = 0.523699$.

4.3. Evaluación reológica

Los resultados de las lecturas de viscosidad aparente (cP) obtenidos a diferentes velocidades de rotación (RPM), se muestran en los anexos (Anexo C-1 hasta Anexo C-6), donde se detalla los datos de viscosidad promedio, esfuerzo de corte (τ) y velocidad de deformación ($\dot{\gamma}$) para cada relación.

Cuadro 3. Parámetros reológicos de los tratamientos

Proporción (Pulpa/azúcar)	Pectina (%)		
	0,5	1,0	1,5
	<i>Índice de consistencia (m)</i>		
50/ 50	25,3378 ± 1,1842 ^{aC}	51,4809 ± 1,2678 ^{aA}	38,3316 ± 1,3909 ^{aB}
60/ 40	19,6656 ± 1,2048 ^{aA}	19,9386 ± 0,3646 ^{bA}	12,6029 ± 0,7997 ^{bB}
	<i>Índice de flujo (n)</i>		
50/ 50	0,3049 ± 0,0212 ^{aA}	0,2802 ± 0,0099 ^{aA}	0,2219 ± 0,0048 ^{aB}
60/ 40	0,6484 ± 0,0101 ^{bB}	0,7333 ± 0,0422 ^{bA}	0,7188 ± 0,0235 ^{bA}

Los datos representan (Promedio ± Desviación estándar), n=3 observaciones. Letras minúsculas diferentes en la misma columna representan diferencia significativa y letras mayúsculas diferentes en la misma fila representan diferencia significativa por la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Los valores determinados por la ley de la potencia, como el índice de flujo (n) e índice de consistencia (m), se muestran y se resume en el Cuadro 3. El índice de consistencia (m) varía desde 12,603 Pa-Sⁿ hasta 51,481 Pa-Sⁿ para los diferentes tratamientos en función al porcentaje pectina, esta variación se debe a la cantidad de pectina solidificada y contenido de pulpa, teniendo influencia en la viscosidad (TINEO, 2002) y el índice de flujo (n) se encuentra entre los valores de 0,2599 a 0,7333. IBARZ (2005) realizó un estudio en mermelada de manzana, reportando un índice de consistencia (m) de 222,90 Pa-

s^n y un índice flujo (n) de $0,1450 s^{-1}$, los valores obtenidos de la mermelada de camu camu se encuentran lejos, esto se debe a la composición de la fruta, porque posee un bajo contenido de sólidos en la pulpa y bajo contenido de pectina de la misma fruta.

JULCA SALVADOR (2014), reportó en su evaluación reológica de la mermelada de mango variedad Kenth (*Mangifera indica* L.) un índice de consistencia que varía de 47,731 a 75,365 Pa-sⁿ. JAVIER DAZA (2014) también reportó 59,496 a 90,986 Pa-sⁿ evaluado en la mermelada de piña (*Ananas comosus*). Estos resultados se asemejan a T₂ del nivel de 50/50 de pulpa/azúcar con 1,0% de pectina con un índice de consistencia de 51,481 Pa-sⁿ (Figura 8), indicando como el mejor tratamiento en la evaluación. La viscosidad depende de la concentración de la pectina (RAO, 2014).

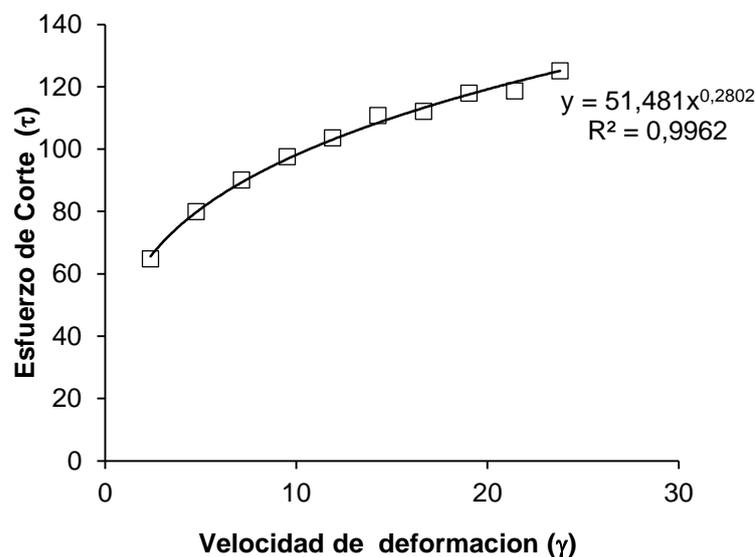


Figura 8. Reograma del mejor tratamiento (50/50 de pulpa/azúcar al 1,0% de pectina).

De la Figura 8 se observa el reograma de la mermelada 50/50 de pulpa/azúcar respectivamente al 1,0 % de pectina como mejor tratamiento

teniendo como índice de consistencia (m) de 51,481 Pa-sⁿ y un índice de flujo (n) de 0,2802 s⁻¹.

STEFFE (1996) describe el comportamiento del fluido como no newtoniano del tipo Herschel-Bulkley cuya fórmula es:

$$\tau = K\dot{\gamma}^n + \tau_0$$

Y el comportamiento del fluido como no newtoniano del tipo ley de potencia cuya fórmula es:

$$\tau = K\dot{\gamma}^n$$

De acuerdo a los modelos matemáticos que se muestran en el Anexo C-8, el que más se ajusta al modelo con coeficiente de correlación (R^2) mayor es el de la Ley de potencia ($R^2=0,9962$), después está el modelo de Casson ($R^2=0,9723$), después está el modelo de Herschel-Bulkley ($R^2=0,9717$) y ultimo el modelo de Bingham ($R^2=0,9315$). Por lo tanto, la mermelada elaborada presenta un comportamiento no newtoniano del tipo pseudoplástico que se adecua al modelo de la ley de potencia.

YARANGA (2011) reportó el comportamiento pseudoplástico para la mermelada de tuna, indicando valores similares de índice reológico que varía de 0,2450 a 0,3899 s⁻¹. También, fue reportado como fluido pseudoplástico a la mermelada de mango con ajuste de modelo tipo Herschel-Bulkley, donde presenta los valores del índice de flujo (n) de 0,2524 a 0,4385 s⁻¹ (JULCA SALVADOR, 2014). También fue reportado el comportamiento pseudoplástico a la mermelada de naranjilla, ya que su índice reológico es menor de 1 para todos sus tratamientos (OTINIANO, 2017).

4.3.1. Relación de la evaluación sensorial y reológica

La relación entre los valores del índice de consistencia (m) y la evaluación sensorial, con respecto al atributo textura se muestran en el Cuadro 4 y la Figura 9.

Cuadro 4. Relación entre el índice de consistencia y la evaluación sensorial.

Tratamientos	Pulpa (%)	Azúcar (%)	Pectina (%)	Índice de consistencia (m)	Evaluación sensorial (Textura)
T ₁	50	50	0,5	25,328	4,867 ^a
T ₂	50	50	1,0	51,481	7,000 ^b
T ₃	50	50	1,5	38,332	6,933 ^b
T ₄	60	40	0,5	19,666	5,600 ^a
T ₅	60	40	1,0	13,939	5,133 ^a
T ₆	60	40	1,5	12,603	5,533 ^a

Del Cuadro 4 se puede observar que el T₂ y T₃ son los mejores tratamientos en cuanto a los análisis sometidos. De acuerdo al análisis sensorial se aprecia que el T₂ y T₃ son los puntajes mayores en lo cual indica que los panelistas percibieron diferencia en la textura de la mermelada de camu camu. De la Figura 9 se puede observar que el puntaje mayor de la evaluación sensorial fue en el T₂ y T₃, esto se debe a que los panelistas percibieron la diferencia en la textura de las mermeladas elaboradas.

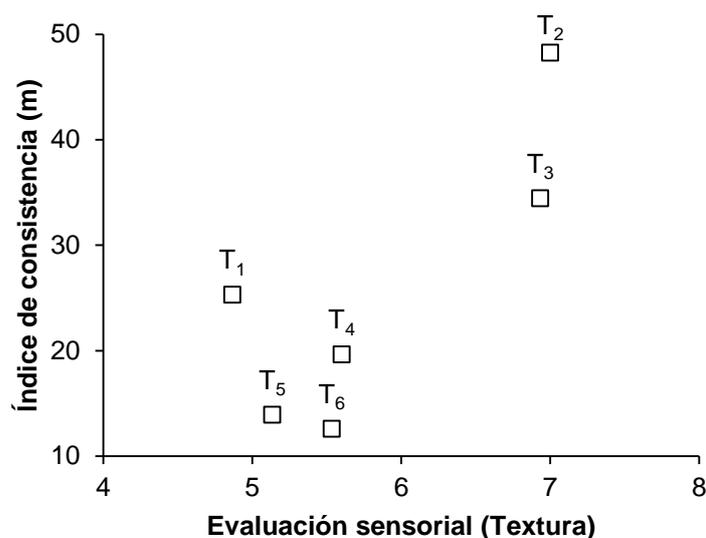


Figura 9. Relación entre índice de consistencia con la evaluación sensorial para los diferentes tratamientos.

4.4. Evaluación en el almacenamiento

Los datos de las lecturas de viscosidad a diferente velocidad de los tratamientos se muestran en los anexos D-1 al D-16. Los promedios de viscosidad, esfuerzo de corte y velocidad de deformación en el almacenamiento y los cálculos de los resultados del ajuste al modelo de ley de la potencia que se muestran en los anexos E-1 al E-16, se determinaron el índice de consistencia (m) y el índice de flujo (n).

Como se observa en las figuras las curvas presentan un esfuerzo de corte que corresponde a un comportamiento pseudoplástico ya que los valores del índice de flujo son menores a uno. RAO (2014) menciona que la mayoría de fluidos alimentarios son no newtonianos con un comportamiento pseudoplástico ($0 < n < 1$). De las figuras (Anexo F-1 al F-16) se obtiene la variación de los parámetros reológicos durante el almacenamiento y se muestra en el cuadro 5.

Cuadro 5. Variación de parámetros reológicos durante el almacenamiento.

Tiempo (Días)	30 °C		40 °C		50 °C	
	(m)	(n)	(m)	(n)	(m)	(n)
0	64,802	0,115	64,802	0,115	64,802	0,115
6	59,531	0,135	52,093	0,143	26,495	0,131
12	53,755	0,192	49,227	0,191	19,579	0,211
18	51,851	0,199	45,834	0,198	17,499	0,202
24	47,887	0,226	40,665	0,221	11,884	0,236
30	44,557	0,227	35,935	0,232	7,068	0,179

Durante el almacenamiento expuesto a temperaturas de 30, 40 y 50 °C, las muestras presentaron una coloración parda oscura lo que indica que la temperatura acelero el proceso de deterioro de la mermelada con respecto a la coloración, esto se debería a un pardeamiento no enzimático debido al contenidos de azucares en el producto (RAUCH, 1950).

Del cuadro 5 se puede observar que el índice de consistencia (m) disminuye durante el almacenamiento, esto se debe al proceso de deterioro de las sustancias pécticas, la disminución de la viscosidad es mayor a 50 °C, esto se debe a que la temperatura acelera el proceso de deterioro por lo tanto tiene comportamiento pseudoplástico (LABUZA y SCHMILD, 1985).

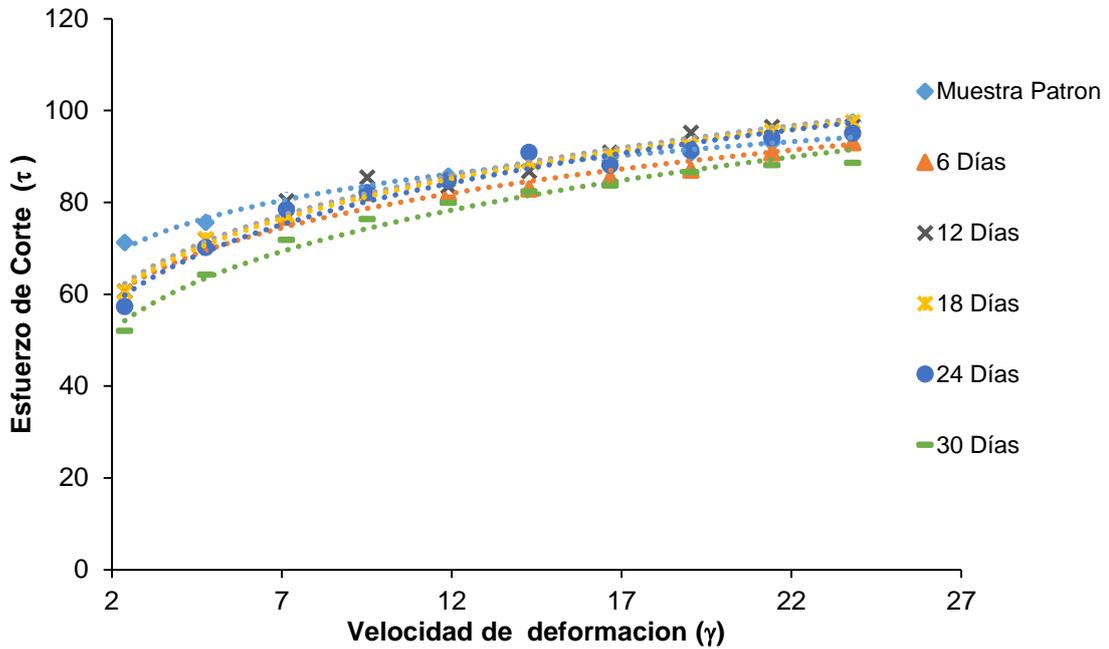


Figura 10. Reogramas de la mermelada de camu camu durante el almacenamiento a 30°C.

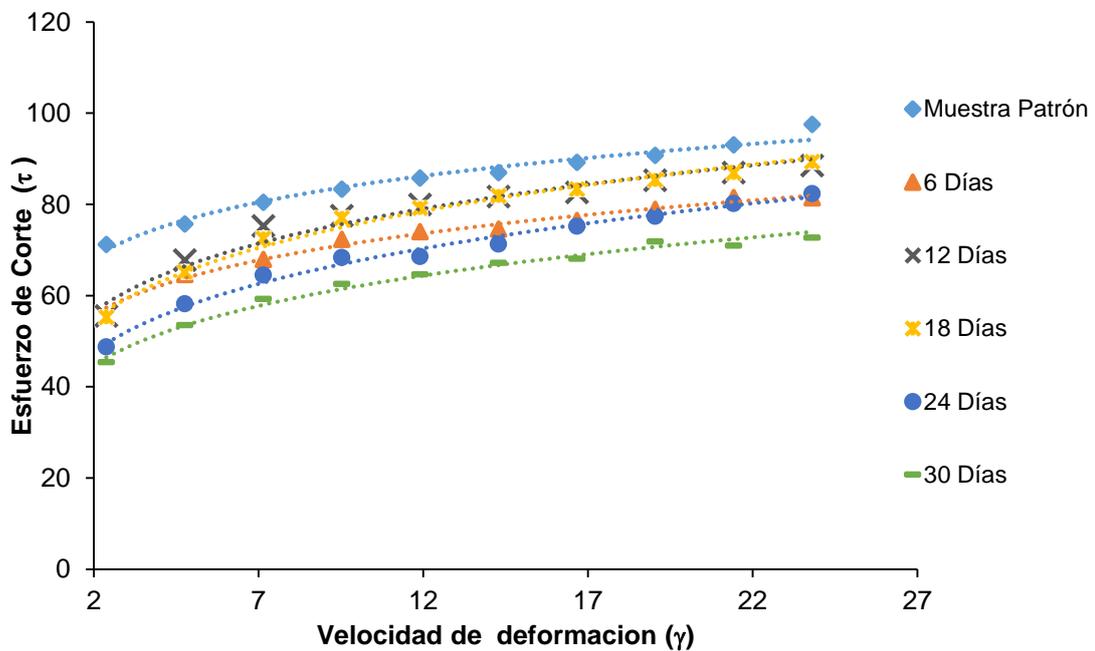


Figura 11. Reogramas de la mermelada de camu camu durante el almacenamiento a 40°C.

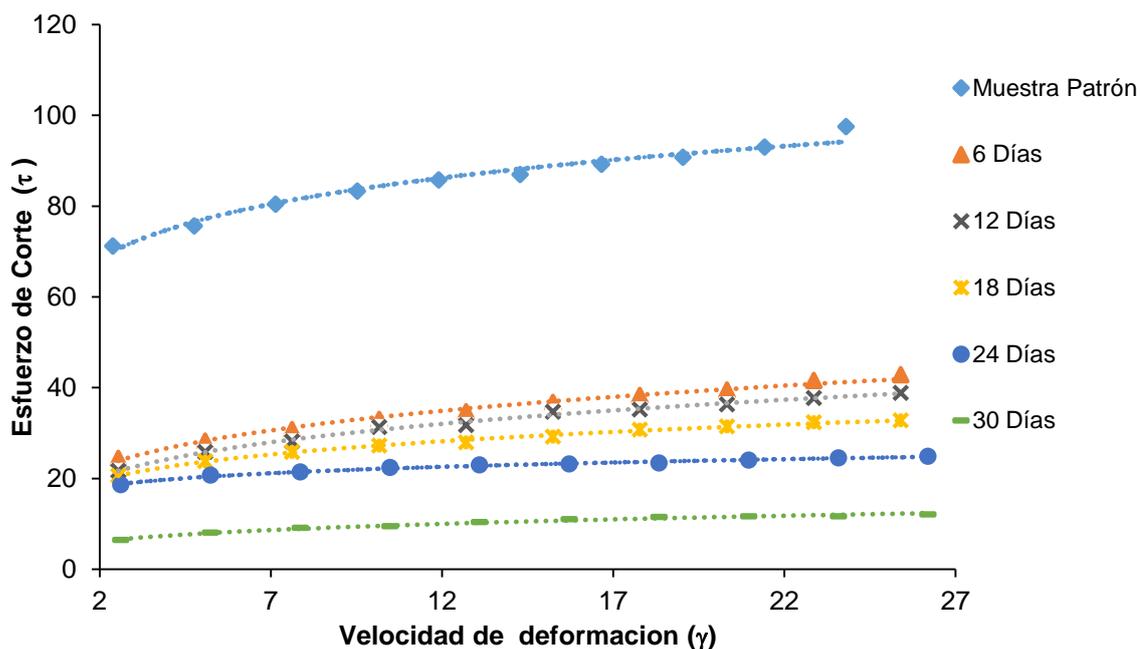


Figura 12. Reogramas de la mermelada de camu camu durante el almacenamiento a 50°C.

Por lo tanto, cuanto mayor temperatura de almacenamiento el alimento se deteriora más rápido, tanto viscosidad, nutrientes y coloración, esto se debe al deterioro de las antocianinas presente en la fruta (Figura 13).

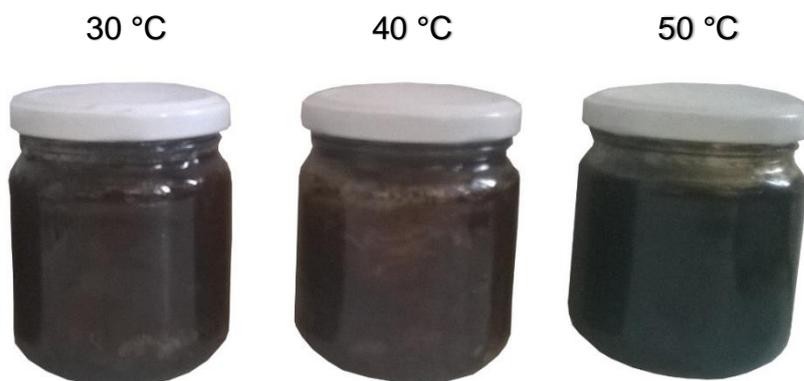


Figura 13. Mermelada durante el almacenamiento a 30 días a diferentes temperaturas.

4.4.1. Velocidad y orden de reacción

La determinación de la constante de velocidad y orden de reacción se calculó por el método de integración descrito por LABUZA (2000), para ello se ajustó los datos del índice de consistencia (m) a la cinética de orden 0 y orden 1, tal como se muestra en las Figuras 14 y 15. La constante de velocidad (k) de reacción a diferentes órdenes de reacción con sus respectivos coeficientes de correlación se muestra en el cuadro 6.

Cuadro 6. Constantes de velocidad de reacción (k) y coeficientes de correlación (R^2) a diferentes órdenes de reacción.

	Orden cero		Orden uno	
	K	R^2	k	R^2
30 °C	0,597	0,980	0,012	0,985
40 °C	0,681	0,986	0,016	0,972
50 °C	0,776	0,982	0,052	0,950

Del Cuadro 6, se ha observado que los coeficientes de correlación (R^2) que se acercan a 1 o valores mayores, son aquellos de la reacción de orden cero, por lo que la mermelada de camu camu corresponde de una cinética de reacción de orden cero.

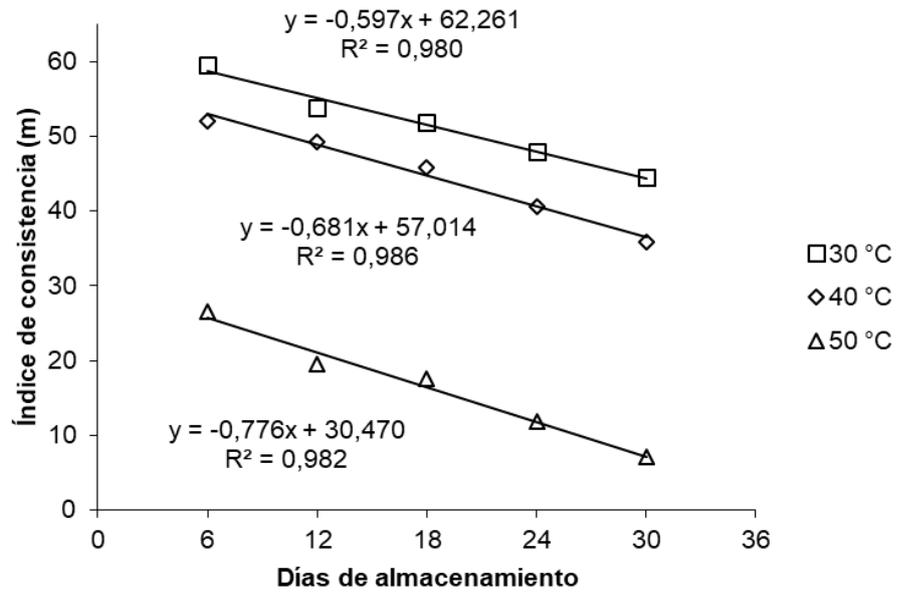


Figura 14. Variación de índice de consistencia con los días de almacenamiento ajustada en el orden cero.

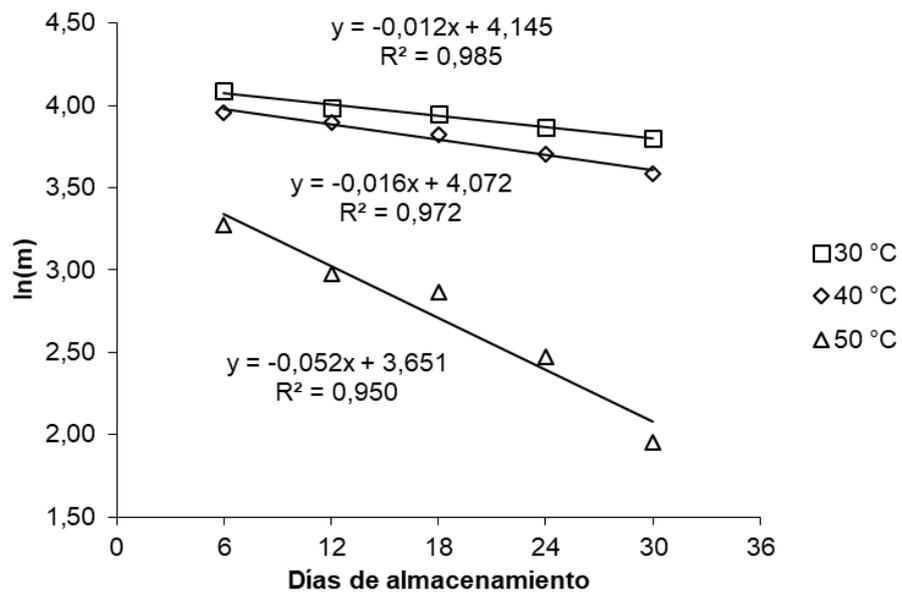


Figura 15. Variación de índice de consistencia con los días de almacenamiento ajustada en el orden uno.

4.4.2. Energía de activación

Las constantes de velocidad de reacción (k) de ambas órdenes a diferentes temperaturas de almacenamiento se muestran en el Cuadro 7 y 8 y los ajustes a la ecuación de Arrhenius en las siguientes Figuras 13 y 14.

Cuadro 7. Constantes de velocidad de reacción (k) a diferentes temperaturas de almacenamiento de orden cero.

Temperatura		Orden cero K
K	1/K	
303	0,0033	0,597
313	0,0032	0,681
323	0,0031	0,776

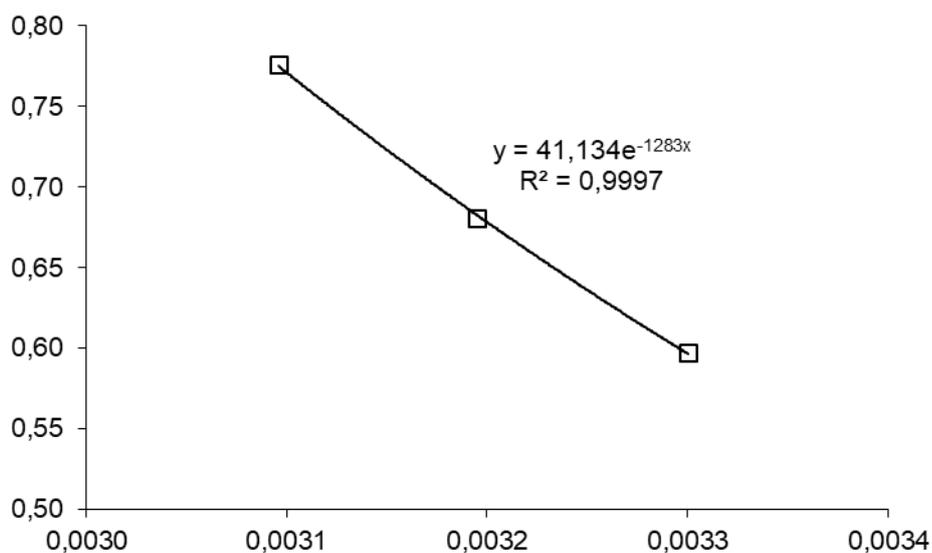


Figura 16. Relación de coeficiente de velocidad de reacción con la temperatura ajustada en el orden cero.

Con la ecuación de la figura 13, se puede calcular la energía de activación:

$$K = K_0 \cdot e^{Ea/RT}$$

$$\frac{Ea}{1,98717 \text{ Cal. mol}^{-1}\text{K}^{-1}} = 1283$$

$$Ea = 2,5495 \text{ Kcal. mol}^{-1}$$

Cuadro 8. Constantes de velocidad de reacción (k) a diferentes temperaturas de almacenamiento en el orden cero.

Temperatura		Orden uno
°K	1/°K	k
303	0,0033	0,012
313	0,0032	0,013
323	0,0031	0,052

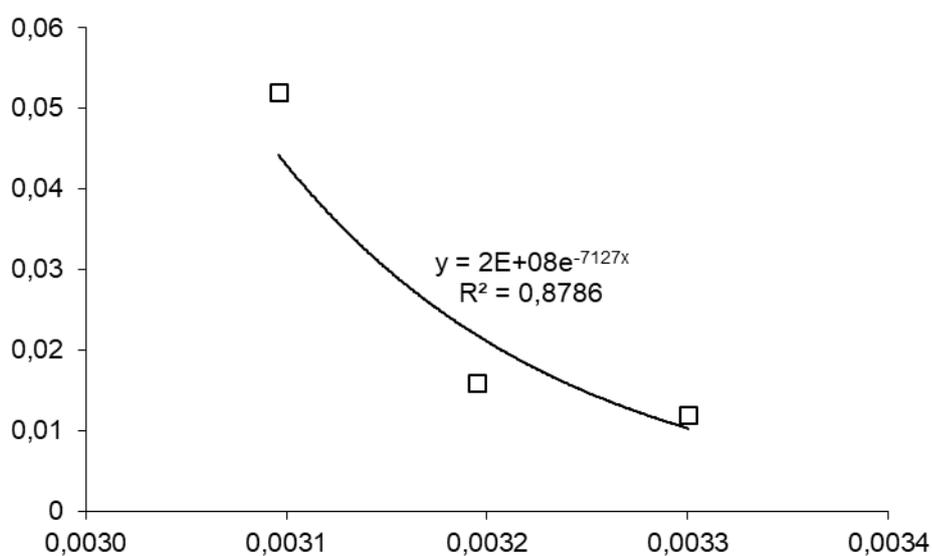


Figura 17. Relación de coeficiente de velocidad de reacción con la temperatura ajustada en el orden uno.

$$K = K_0 \cdot e^{Ea/RT}$$

$$\frac{Ea}{1,98717 \text{ Cal. mol}^{-1}\text{K}^{-1}} = 7127$$

$$Ea = 14,1626 \text{ Kcal. mol}^{-1}$$

Los resultados obtenidos se ajustan adecuadamente a la cinética de orden cero con un coeficiente de correlación ($R^2=0,9997$). JAVIER DAZA (2014) reportó que la mermelada de piña se adecua a la cinética de orden cero y uno, determinando su energía de activación entre 6,748 a 6,973 Kcal.mol⁻¹. JULCA SALVADOR (2014) reportó que la mermelada de mango se adecua a una cinética de reacción de orden uno. Y OTINIANO (2017) reportó que la energía de activación es de 3,696 Kcal.mol⁻¹. Estos valores reportados se aproximan al valor obtenido con la mermelada de camu camu con una adecuada cinética de reacción de orden cero porque presento mayor ajuste en el coeficiente de regresión ($R^2=0,9997$) como se muestra en la Figura 16.

V. CONCLUSIONES

- Se determinó los parámetros óptimos para la elaboración de la mermelada de camu camu, el mejor tratamiento del análisis sensorial fue el del nivel 50/50 de pulpa/azúcar, al 1,0% de pectina, pH 3,3 ajustado con citrato de sodio al 0,2% (p/v) y concentración de sólidos solubles a 65 °Brix.
- Todos los tratamientos evaluados, corresponden a un fluido de tipo pseudoplástico que se adecuan al modelo de la Ley de potencia y presentan los siguientes valores: Índice de flujo (n) entre 0,2219 a 0,7333 s^{-1} e índice de consistencia (m) entre 12,603 a 51,481 $Pa \cdot s^n$. El mejor tratamiento presenta los valores reológicos de: $m = 51,481 Pa \cdot s^n$ y $n = 0,2802 s^{-1}$.
- La relación es indirecta entre el índice de consistencia y la apreciación sensorial, debido a que el incremento de pectina incrementa la viscosidad en el caso del nivel 50: 50 de pulpa: azúcar y en el caso de 60:40 no es percibido por los panelistas por que presentan viscosidad homogénea.
- La estabilidad del índice de consistencia (m) se vio afectada por el efecto de la temperatura durante el almacenamiento. La cinética de degradación de la mermelada de camu camu fue de orden de reacción cero, con una energía de activación de 2,5495 $Kcal \cdot mol^{-1}$ ($R^2=0,9997$), este valor representa el más bajo de otras mermeladas reportadas, lo cual indica ser más sensible a cambios de temperatura.

VI. RECOMENDACIONES

- Evaluar la variación de la viscosidad de la mermelada de camu camu con la concentración de sólidos solubles.
- Realizar la simulación de la pérdida de color en mermeladas como índice de calidad durante el almacenamiento.
- Usar los parámetros 50% de pulpa, 50% de azúcar, 1% de pectina y usar citrato de potasio para ajustar a un pH de 3,3 a 3,5 para la mermelada de camu camu.
- Evaluar el contenido de ácido ascórbico antes, durante y después de la elaboración de mermelada de camu camu.
- Realizar un estudio de polifenoles y capacidad antioxidante de la pulpa y mermelada de camu camu silvestre y doméstico.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMED, J., PTASZEK, P., BASU, S. 2017. Advances in food rheology and its applications. Cambridge, USA, Woodhead Publishing, Elsevier. p. 497.
- AKTER, M. S., OH, S., EUN, J. B., AHMED, M. 2011. Nutritional compositions and health promoting phytochemicals of camu-camu (*Myrciaria dubia*) fruit: A review. Journal Food Research International, Gwangju. 44(7):1728-1732.
- AGUIAR, J. P. L. y DO AMARAL SOUZA, F. D. C. (2015). Camu-Camu (*Myrciaria dubia* HBK): Yogurt Processing, Formulation and Sensory Assessment. American Journal of Analytical Chemistry, 6(05), 377.
- ALVARADO VERTIZ, M. A. (1969). Posibilidades del cultivo del camu camu en el Perú, *Myrciaria dubia*. (Monografía de graduación), Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. 51p.
- ALVARADO, Z. R., PANDURO, L. G. y PANDURO, M. P. (2002). Evaluación de factores de procesamiento y conservación de pulpa de *Myrciaria dubia* HBK (Camu-camu) que reducen el contenido de vitamina C (ácido ascórbico). Alimentaria, 2(2), 89-99.
- ANDRADE, J. D. C. (1991). Curvas de maturação e características nutricionais do camu camu (*Myrciaria dubia* HBK McVaugh) cultivado em terra firme da Amazônia central. Tesis. UMICAMP. 177p.

- BARBIERI, S. F., DE OLIVEIRA P., C. L., DE GODOY R. C. B., DE AZEREDO, H. C. M., FRANCO, C. R. C., SILVEIRA, J. L. M. 2018. Pulp and jam of gabioba (*Campomanesia xanthocarpa* Berg): Characterization and rheological properties. Journal Food chemistry, Curitiba. 263:292-299.
- BERK, Z. 2018. Food process engineering and technology. Cambridge, USA. 3era ed. Academic press, Elsevier. 744 p.
- BOBBIO, F. O. B., P.A. . (2003). Introdução à química de alimentos. 3ª ed. São Paulo, Livraria Varela.
- CARMONA, A. R. (2008). Reología de los alimentos. Ediciones UNAS. Tingo María. 123p.
- CASTRO, J., MADDOX, J., IMÁN, S. 2018. Camu-camu-*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh. *In: Exotic Fruits*. London, United Kingdom, Ed. Academic Press, Elsevier. p. 97-105.
- CORONADO T., M. y H. ROSALES, R. (2001). Elaboración de mermeladas. Procesamiento de alimentos para pequeñas y microempresas agroindustriales. Lima. Perú. p. 36
- CHIRINOS, R., GALARZA, J., BETALLELUZ-PALLARDEL, I., PEDRESCHI, R. y CAMPOS, D. (2010). Antioxidant compounds and antioxidant capacity of Peruvian camu camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh) fruit at different maturity stages. Food Chemistry, 120(4), 1019-1024pp.
- FEATHERSTONE, S. 2016. Jams, jellies, and related products. *In: A Complete Course in Canning and Related Processes*. 4ta ed. Cambridge, USA, Woodhead Publishing, Elsevier. p. 313-349.

- FENNEMA, O. R., DAMODARAN, S. y PARKIN, K. L. (2010). Química de Alimentos. 4ª ed. Porto Alegre: Artmed.
- GAVA, A. J., SILVA, C. A. B. y FRIAS, J. R. G. (2008). Tecnología de alimentos - Principios e Aplicações. São Paulo: Nobel, 2008. 511 p.
- HERNÁNDEZ, M. S., CARRILLO, M., BARRERA, J., FERNÁNDEZ-TRUJILLO, J. P. 2011. 16 - Camu-camu (*Myrciaria dubia* Kunth McVaugh). In: Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits. Woodhead Publishing. Cambridge, USA, Elsevier. p. 352-375.
- HU, M. (2016). Oxidate stability and shelf life of foods containing oils and fats. AOCS Press. USA. 582p.
- IBARZ, A., BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. 2005. Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos. Madrid, España, Ediciones Mundi-Prensa. 874 p.
- IBARZ, A., PAGÁN, J., GARZA, S. 2006. Aspectos reológicos de zumos y purés de frutas. Alimentaria: Revista de tecnología e higiene de los alimentos, Catalunya. 370:81-91.
- ITINTEC. 1991. Mermelada de Frutas INDECOPI. vol. 203.047. p. 10.
- JACKIX, M. H. (1988). Doces, geléias e frutas em calda. Campinas: UNICAMP/SP. 172p.
- JAVIER D., N. R. 2014. Evaluación reológica de la mermelada de piña (*Ananas comosus*). Tesis Ing. en Industrias Alimentarias. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 70 p.
- JULCA S., A. 2014. Evaluación reológica de la mermelada de mango (*Mangifera indica* L.), variedad Kent y estabilidad en el almacenamiento. Tesis Ing.

en Industrias Alimentarias. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 54 p.

JUSTI, K. C., VISENTAINER, J. V. y EVELAZIO, D. S. N. 2000. Nutritional composition and vitamin C stability in stored camu-camu (*Myrciaria dubia*) pulp. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. pp 405 – 408.

KHAN, K. A., KALNE, A. A. 2018. Worldwide Status and Scope of Processing of Fruits and Vegetables. *In: Technological Interventions in the Processing of Fruits and Vegetables*. London, United Kingdom, Academic press. p. 49-60.

LABUZA, T., SCHMIDL, M. 1985. Accelerated shelf-life testing of foods. *Journal Food Technology*, New York. 39 (9):57-64.

LABUZA, T. P. 2000. The search for shelf life: an update on continued efforts in understanding practical strategies for determining and testing the shelf life of food products. *Food Testing and Analysis*, New York. 6(2):26-36.

LEWIS, M. J. (1993). *Propiedades Físicas de los Alimentos y de los Sistemas de Procesado*. España: Editorial Acribia. 494 p.

MAEDA, R. N. y DE SOUZA ANDRADE, J. (2003). Aproveitamento do camu-camu (*Myrciaria dubia*) para produção de bebida alcoólica fermentada.

MEYER, M., PALTRINIERI, G. 2007. *Elaboración de frutas y hortalizas. Manual para educación agropecuaria*. 3era ed. Editorial Trillas. México. 131 p.

OTINIANO, J. 2017. *Elaboración y evaluación reológica de mermelada de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.)*. Tesis Ing. en Industrias Alimentarias. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 96 p.

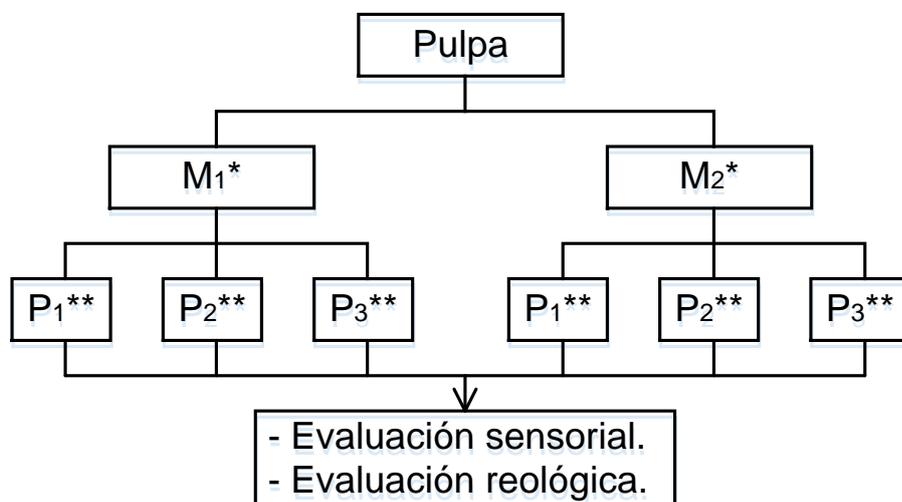
- RABABAH, T. M., MUHAMMAD H. A., BREWER, S. 2015. Jam processing and impact on composition of active compounds. *In: Processing and impact on active components in food*. London, United Kingdom, Academic Press. p. 681-687.
- RAMIREZ NAVAS, J. (2006). Fundamentos de reología de alimentos. JSR. Cali. Valle. Colombia.
- RAO, A. M. 2014. Rheology of fluid, semisolid, and solid foods. Food Engineering. 3era ed. New York, USA, Springer. 461 p.
- RAUCH, G. H. 1987. Fabricación de mermelada. E. Acribia. Zaragoza. España. 199 p.
- RIVA, R. (2001). Diagnóstico del cultivo del camu-camu (*Myrciaria dubia* HBK McVaugh.) en la región Ucayali. Ministerio de Agricultura. Dirección Regional Agraria–Ucayali.
- RODRIGUES, R., MARX, F. 2006. Camu camu [*Myrciaria dúbia* (H.B.K.) Mc Vaugh]: a promising fruit from the Amazon Basin. Nutrition, Campinas 30(9):376-381.
- RODRIGUES, R. B., MENEZES, H. C., CABRAL, L. M. C., DORNIER, M., RIOS, G. M. y REYNES, M. (2004). Evaluation of reverse osmosis and osmotic evaporation to concentrate camu–camu juice (*Myrciaria dubia*). Journal of Food Engineering, 63(1), pp. 97-102.
- RORIZ, V. (2010). Nutrição em foco. Disponible en la página web: <http://www.nutricaoemfoco.com.br/ptbr/site.php?secao=alimentos-F-H&pub=5504>

- SHINWARI, K. J., RAO, P. S. 2018. Stability of bioactive compounds in fruit jam and jelly during processing and storage: a review. *Trends in Food Science & Technology, West Bengal.* 75:181-193.
- SIGUEMOTO, A. T. (1993). Propriedades de pectina – Braspectina. Anais do Simposio sobre Hidrocoloides, 24 a 25 de abril de 1991 – Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos.
- SILVA, J. A. (2000). Tópicos da tecnologia dos alimentos. São Paulo. 227p.
- SOUZA, A. G. C. E. A. (1996). Fruteiras da Amazônia *Biblioteca Botânica Brasileira.* Brasília - Embrapa. p. 75-77
- SOUZA, A. L. R., PAGANI, M. M., DORNIER, M., GOMES, F. S., TONON, R. V. y CABRAL, L. M. C. (2013). Concentration of camu–camu juice by the coupling of reverse osmosis and osmotic evaporation processes. *Journal of Food Engineering*, 119 (1), pp. 7-12.
- STEFFE, J. F. (1996). Rheological methods in food process engineering. 2da ed. Freeman Press. Michigan. USA. 418p.
- TAYLOR, L. 2003. Herbal secrets of the rainforest. 2da edición. Sage Press Incorporated. Rocklin: Prima Publishing. 254 p.
- TOLEDO, R. T., SINGH, R. K., KONG, F. 2018. Fundamentals of food process engineering. 4ta ed. New York, USA. Springer. 449 p.
- TORREZAN, R. (1998). Manual para a produção de geléias de frutas em escala industrial EMBRAPA - CTA. p. 27 p

- VELAZCO, E. y VEGA, R. (2003). Estabilidad del ácido ascórbico en productos elaborados de camu camu (*Myrciaria dubia*) (HBK) Mc Vaugh. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana–Ucayali.
- VILLACHICA, H. (1996). El cultivo del camu camu (*Myrciaria dubia* HBK McVaugh) en la amazona' peruana. Tratado de Cooperación Amazónica.
- YARANGA, M. 2011. Elaboración y evaluación reológica de mermelada de tuna (*Opuntia flicus indica*). Tesis Ing. en Industrias Alimentarias. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 97 p.

ANEXOS

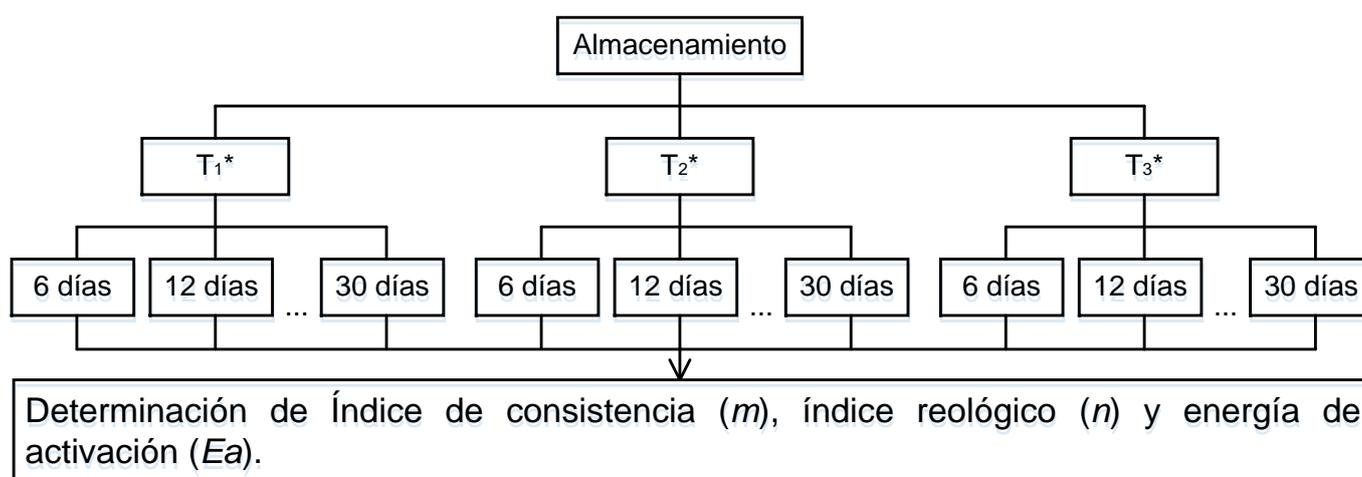
Anexo A-1. Diseño experimental de los parámetros para la elaboración de la mermelada de camu camu.



* M1: 50% de pulpa e 50% de azúcar y M2: 60% de pulpa e 40% de azúcar

** P1: 0.5% de pectina, P2: 1.0% de pectina y P3: 1.5% de pectina

Anexo A-2. Diseño experimental para la evaluación de la estabilidad en el almacenamiento.



* Temperaturas de almacenamiento a T₁ (30°C), T₂ (40°C) y T₃ (50°C).

Anexo B-1. Datos de la evaluación sensorial, atributo consistencia/textura de las mermeladas a diferentes niveles.

Panelistas	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆
1	8	6	8	7	8	6
2	6	9	9	6	8	8
3	5	5	4	8	6	6
4	4	7	4	6	4	6
5	3	8	8	8	6	7
6	4	6	7	5	5	5
7	3	8	7	5	5	6
8	4	5	6	4	3	3
9	5	8	9	4	3	5
10	5	8	6	2	4	3
11	2	5	7	4	2	4
12	7	9	7	6	8	5
13	6	7	7	6	5	6
14	6	7	7	7	4	6
15	5	7	8	6	6	7
Promedio	4,867	7,000	6,933	5,600	5,133	5,533

M₁; mermelada al 50/50 de pulpa/azúcar al 0,5% de pectina.

M₂; mermelada al 50/50 de pulpa/azúcar al 1,0% de pectina.

M₃; mermelada al 50/50 de pulpa/azúcar al 1,5% de pectina.

M₄; mermelada al 60/40 de pulpa/azúcar al 0,5% de pectina.

M₅; mermelada al 60/40 de pulpa/azúcar al 1,0% de pectina.

M₆; mermelada al 60/40 de pulpa/azúcar al 1,5% de pectina.

Anexo B-2. Prueba Kruskal-Wallis de la evaluación sensorial, atributo textura para los diferentes tratamientos.

Tratamientos	Pulpa (%)	Azúcar (%)	Pectina (%)	Tamaño Muestra	Rango Promedio
T1	50	50	0,5	15	30,8667
T2	50	50	1,0	15	62,4000
T3	50	50	1,5	15	62,0300
T4	60	40	0,5	15	42,0300
T5	60	40	1,0	15	35,2000
T6	60	40	1,5	15	40,4667

Estadístico = 20,7325 Valor-P = 0,00090996

Anexo B-3. Datos de la evaluación sensorial, atributo sabor de las mermeladas a diferentes niveles.

Panelistas	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆
1	8	7	8	4	8	6
2	6	9	7	6	8	6
3	4	6	4	7	5	6
4	4	7	7	4	4	7
5	6	8	7	6	6	6
6	4	7	7	4	5	6
7	3	8	7	4	6	6
8	4	7	7	6	5	6
9	6	7	8	6	6	6
10	5	8	7	2	4	3
11	2	7	6	4	3	1
12	6	8	7	7	6	6
13	7	7	7	7	6	6
14	7	6	6	4	4	4
15	7	7	7	4	6	4
Promedio	5,267	7,267	6,800	5,000	5,467	5,267

M₁; mermelada al 50/50 de pulpa/azúcar al 0,5% de pectina.

M₂; mermelada al 50/50 de pulpa/azúcar al 1,0% de pectina.

M₃; mermelada al 50/50 de pulpa/azúcar al 1,5% de pectina.

M₄; mermelada al 60/40 de pulpa/azúcar al 0,5% de pectina.

M₅; mermelada al 60/40 de pulpa/azúcar al 1,0% de pectina.

M₆; mermelada al 60/40 de pulpa/azúcar al 1,5% de pectina.

Anexo B-4. Prueba Kruskal-Wallis de la evaluación sensorial, atributo sabor para los diferentes tratamientos.

Tratamientos	Pulpa (%)	Azúcar (%)	Pectina (%)	Tamaño Muestra	Rango Promedio
T1	50	50	0,5	15	36,5333
T2	50	50	1,0	15	70,4667
T3	50	50	1,5	15	63,2000
T4	60	40	0,5	15	31,8333
T5	60	40	1,0	15	36,3667
T6	60	40	1,5	15	34,6000

Estadístico = 32,85 Valor-P = 0,0000040305

Anexo B-5. Datos de la evaluación sensorial, atributo apariencia general de las mermeladas a diferentes niveles.

Panelistas	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆
1	8	6	8	7	8	6
2	6	9	8	6	8	6
3	5	5	5	8	5	5
4	4	7	7	6	5	6
5	5	7	7	7	6	6
6	4	7	7	5	4	5
7	4	8	7	5	6	6
8	3	6	6	4	6	5
9	6	8	7	6	3	6
10	4	8	6	3	4	3
11	5	6	6	4	3	4
12	6	8	7	7	7	6
13	7	7	7	7	6	6
14	6	7	6	7	6	6
15	7	7	7	6	6	5
Promedio	5,333	7,067	6,733	5,867	5,533	5,400

M₁; mermelada al 50/50 de pulpa/azúcar al 0,5% de pectina.

M₂; mermelada al 50/50 de pulpa/azúcar al 1,0% de pectina.

M₃; mermelada al 50/50 de pulpa/azúcar al 1,5% de pectina.

M₄; mermelada al 60/40 de pulpa/azúcar al 0,5% de pectina.

M₅; mermelada al 60/40 de pulpa/azúcar al 1,0% de pectina.

M₆; mermelada al 60/40 de pulpa/azúcar al 1,5% de pectina.

Anexo B-6. Prueba Kruskal-Wallis de la evaluación sensorial, atributo apariencia general para los diferentes tratamientos.

Tratamientos	Pulpa (%)	Azúcar (%)	Pectina (%)	Tamaño Muestra	Rango Promedio
T1	50	50	0,5	15	33,1667
T2	50	50	1,0	15	65,8333
T3	50	50	1,5	15	60,5333
T4	60	40	0,5	15	44,1333
T5	60	40	1,0	15	37,3667
T6	60	40	1,5	15	31,9667

Estadístico = 24,3045 Valor-P = 0,00189729

Anexo C-1. Viscosidades de las mermeladas al 50/50 de pulpa/azúcar al 0,5% de pectina.

Velocidad (RPM)	Viscosidad (cP)		
	R1	R2	R3
10	14800	11600	14600
20	9400	6500	9950
30	6133	5167	7667
40	5250	4475	6850
50	4220	4000	5400
60	3683	3550	5000
70	3243	3157	4286
80	2938	2850	3950
90	2800	2656	3478
100	2590	2490	3180

R1, R2 y R3; Replicatos

Anexo C-2. Viscosidades de las mermeladas al 50/50 de pulpa/azúcar al 1,0% de pectina.

Velocidad (RPM)	Viscosidad (cP)		
	R1	R2	R3
10	26200	29900	25600
20	16300	18800	15250
30	11967	15200	10667
40	9550	12450	8725
50	8120	10450	7540
60	6883	9940	6450
70	6229	8267	5686
80	5775	7500	5300
90	5300	6500	4811
100	5040	2490	3180

R1, R2 y R3; Replicatos

Anexo C-3. Viscosidades de las mermeladas al 50/50 de pulpa/azúcar al 1,5% de pectina.

Velocidad (RPM)	Viscosidad (cP)		
	R1	R2	R3
10	19500	21300	19400
20	11650	10650	11050
30	8767	7633	8045
40	7175	6050	6610
50	6100	5180	5640
60	4850	4483	5060
70	4357	4229	4293
80	3912	3787	3849
90	3589	3522	3550
100	3390	3240	3315

R1, R2 y R3; Replicatos

Anexo C-4. Viscosidades de las mermeladas al 60/40 de pulpa/azúcar al 0,5% de pectina.

Velocidad (RPM)	Viscosidad (cP)		
	R1	R2	R3
10	1115,0	840,0	740,0
20	872,0	645,0	577,5
30	753,3	563,3	505,0
40	695,0	512,5	461,3
50	629,0	453,0	431,0
60	575,8	451,7	409,2
70	552,9	430,0	390,0
80	512,5	409,4	375,0
90	488,3	392,2	361,1
100	463,5	369,0	350,0

R1, R2 y R3; Replicatos

Anexo C-5. Viscosidades de las mermeladas al 60/40 de pulpa/azúcar al 1,0% de pectina.

Velocidad (RPM)	Viscosidad (cP)		
	R1	R2	R3
10	905,0	720,0	675,0
20	735,0	605,0	572,5
30	651,7	548,3	521,7
40	600,0	512,5	587,5
50	550,0	486,0	464,0
60	525,8	465,0	445,8
70	497,1	447,1	430,7
80	474,4	432,5	417,5
90	453,9	419,4	406,1
100	436,5	407,5	396,0

R1, R2 y R3; Replicatos

Anexo C-6. Viscosidades de las mermeladas al 60/40 de pulpa/azúcar al 1,5% de pectina.

Velocidad (RPM)	Viscosidad (cP)		
	R1	R2	R3
10	835,0	635,0	585,0
20	640,0	520,0	482,5
30	565,0	463,3	433,3
40	521,3	428,7	403,7
50	497,0	404,0	382,0
60	471,7	385,0	365,8
70	455,0	370,0	352,1
80	438,7	355,6	340,0
90	415,0	344,4	330,6
100	403,5	333,0	321,5

R1, R2 y R3; Replicatos

Anexo C-7. Evaluación reológica del mejor tratamiento, mermelada al 50/50 de pulpa/azúcar al 1,0% de pectina.

Velocidad (RPM)	Viscosidad promedio (cP)	Pa-s	γ	τ (Pa)
10	25233,33	25,2	2,380	60,055
20	16783,33	16,8	4,760	79,889
30	12611,33	12,6	7,140	90,045
40	10241,67	10,2	9,520	97,501
50	8703,33	8,7	11,900	103,570
60	7757,67	7,8	14,280	110,779
70	6727,33	6,7	16,660	112,077
80	6191,67	6,2	19,040	117,889
90	5537,00	5,5	21,420	118,603
100	5257,00	5,3	23,800	125,117

Anexo C-8. Características reológicas según los modelos matemáticos.

Modelo	Índice de flujo (n)	Índice de consistencia (m)	Umbral de fluencia (σ_0)	Coefficiente de correlación (R^2)
Ley de potencia	0,2802	51,481	0	0,9962
Herschel-Bulkley	0,6399	10,736	48,623	0,9717
Casson	No aplica	No aplica	48,623	0,9723
Bingham	1	2,5563	68,566	0,9315

Anexo D-1. Lectura de la viscosidad a 0 días

Velocidad (RPM)	Viscosidad (cP)		
	R1	R2	R3
10	31400	30600	29700
20	16300	15900	15500
30	12000	12067	10733
40	9275	8750	8225
50	7720	7120	6780
60	6417	5933	5867
70	5557	5214	5214
80	4925	4688	4688
90	4440	4289	4300
100	3930	4090	3960

R1, R2 y R3; Replicatos

Anexo D-2. Lectura de la viscosidad a 30 °C/ 6 días

Velocidad (RPM)	Viscosidad (cP)		
	R1	R2	R3
10	28100	27700	27400
20	15900	15300	15750
30	11467	10767	10933
40	9000	8410	8475
50	7120	6720	6820
60	6000	5817	5817
70	5243	5114	5114
80	4668	4488	4563
90	4267	4200	4256
100	3990	3840	3900

R1, R2 y R3; Replicatos

Anexo D-3. Lectura de la viscosidad a 30 °C/ 12 días

Velocidad (RPM)	Viscosidad (cP)		
	R1	R2	R3
10	26100	25850	25700
20	15300	14950	15100
30	11810	11000	11933
40	9375	8475	9050
50	7500	6960	7400
60	6450	5733	6450
70	5671	5114	5575
80	5113	4688	5200
90	4578	4367	4560
100	4090	3990	4100

R1, R2 y R3; Replicatos

Anexo D-4. Lectura de la viscosidad a 30 °C/ 18 días

Velocidad (RPM)	Viscosidad (cP)		
	R1	R2	R3
10	26800	25500	24100
20	16000	14650	14750
30	10833	10367	11067
40	8525	8650	8575
50	6900	7300	7200
60	6150	6317	6317
70	5271	5400	5571
80	4613	4850	5075
90	4067	4467	4733
100	3760	4230	4310

R1, R2 y R3; Replicatos

Anexo D-5. Lectura de la viscosidad a 30 °C/ 24 días

Velocidad (RPM)	Viscosidad (cP)		
	R1	R2	R3
10	23000	23300	22650
20	15150	14300	14750
30	11000	10667	11300
40	8725	8500	8650
50	7140	7120	7100
60	6383	6317	6387
70	5329	5343	5186
80	4790	4775	4825
90	4378	4311	4489
100	4050	4020	3910

R1, R2 y R3; Replicatos

Anexo D-6. Lectura de la viscosidad a 30 °C/ 30 días

Velocidad (RPM)	Viscosidad (cP)		
	R1	R2	R3
10	21600	22300	21700
20	13123	13300	14080
30	9580	9900	10700
40	7575	7925	8550
50	6320	6560	7260
60	5317	5733	6267
70	4657	4886	5514
80	4213	4425	5000
90	3798	3978	4567
100	3520	3680	3965

R1, R2 y R3; Replicatos

Anexo D-7. Lectura de la viscosidad a 40 °C/ 6 días

Velocidad (RPM)	Viscosidad (cP)		
	R1	R2	R3
10	26200	23700	23000
20	14600	13200	13250
30	10400	9600	9733
40	7800	7550	7975
50	6220	6200	6340
60	5233	5050	5383
70	4586	4443	4743
80	4150	4012	4275
90	3756	3733	3922
100	3360	3330	3570

R1, R2 y R3; Replicatos

Anexo D-8. Lectura de la viscosidad a 40 °C/ 12 días

Velocidad (RPM)	Viscosidad (cP)		
	R1	R2	R3
10	23600	22900	23500
20	14700	13650	14350
30	10100	10420	9933
40	8025	8625	8175
50	6940	6840	6980
60	6067	5967	5600
70	5171	4700	4757
80	4613	4300	4438
90	4144	3900	4011
100	3700	3790	3750

R1, R2 y R3; Replicatos

Anexo D-9. Lectura de la viscosidad a 40 °C/ 18 días

Velocidad (RPM)	Viscosidad (cP)		
	R1	R2	R3
10	22800	21600	22200
20	13700	13550	13850
30	10100	10167	9900
40	8025	8450	8275
50	6580	6600	6780
60	5717	5667	5817
70	5129	4914	4957
80	4488	4512	4450
90	4156	4011	4000
100	3830	3690	3740

R1, R2 y R3; Replicatos

Anexo D-10. Lectura de la viscosidad a 40 °C/ 24 días

Velocidad (RPM)	Viscosidad (cP)		
	R1	R2	R3
10	19800	20500	19600
20	11600	11850	13200
30	8833	9533	9733
40	7225	7005	7350
50	5600	5500	6180
60	4783	4650	5533
70	4214	4189	5043
80	4025	3840	4325
90	3756	3350	4122
100	3480	3150	3750

R1, R2 y R3; Replicatos

Anexo D-11. Lectura de la viscosidad a 40 °C/ 30 días

Velocidad (RPM)	Viscosidad (cP)		
	R1	R2	R3
10	17600	17800	16850
20	10800	11780	11150
30	8313	8415	8167
40	6350	6586	6575
50	5494	5360	5440
60	4600	4717	4783
70	4107	4043	4100
80	3750	3720	3850
90	3353	3285	3298
100	3103	3025	3110

R1, R2 y R3; Replicatos

Anexo D-12. Lectura de la viscosidad a 50 °C/ 6 días

Velocidad (RPM)	Viscosidad (cP)		
	R1	R2	R3
10	11960	11750	10950
20	6750	6320	6780
30	5260	4507	4053
40	3910	3530	3160
50	2920	2936	2744
60	2493	2500	2440
70	2017	2251	2189
80	1845	2025	1960
90	1724	1693	1844
100	1580	1632	1552

R1, R2 y R3; Replicatos

Anexo D-13. Lectura de la viscosidad a 50 °C/ 12 días

Velocidad (RPM)	Viscosidad (cP)		
	R1	R2	R3
10	9360	9480	9580
20	5220	5080	5220
30	3893	4373	3927
40	3200	3090	3270
50	2556	2804	2644
60	2347	2273	2413
70	2003	1829	2114
80	1820	1675	1870
90	1691	1542	1720
100	1556	1452	1580

R1, R2 y R3; Replicatos

Anexo D-14. Lectura de la viscosidad a 50 °C/ 18 días

Velocidad (RPM)	Viscosidad (cP)		
	R1	R2	R3
10	8100	8260	8000
20	4520	4620	4940
30	3307	3300	3560
40	2620	2660	2760
50	2152	2176	2284
60	1900	1893	1960
70	1703	1720	1766
80	1505	1545	1600
90	1415	1402	1435
100	1268	1272	1340

R1, R2 y R3; Replicatos

Anexo D-15. Lectura de la viscosidad a 50 °C/ 24 días

Velocidad (RPM)	Viscosidad (cP)		
	R1	R2	R3
10	5380	5180	5520
20	3460	3240	3780
30	2763	2415	2600
40	1950	1962	2065
50	1772	1474	1794
60	1473	1495	1453
70	1289	1286	1253
80	1150	1150	1138
90	1057	1055	1005
100	972	992	935

R1, R2 y R3; Replicatos

Anexo D-16. Lectura de la viscosidad a 50 °C/ 30 días

Velocidad (RPM)	Viscosidad (cP)		
	R1	R2	R3
10	3050	3150	3090
20	1850	1810	1815
30	1400	1243	1305
40	910	1108	1170
50	782	950	915
60	700	720	818
70	633	652	648
80	575	580	555
90	505	510	520
100	476	495	460

R1, R2 y R3; Replicatos

Anexo E-1. Evaluación reológica a 0 días.

Velocidad (RPM)	Viscosidad promedio (cP)	Pa-s	γ	τ (Pa)
10	30566,667	30,567	2,380	72,749
20	15900,000	15,900	4,760	75,684
30	11600,000	11,600	7,140	82,824
40	8750,000	8,750	9,520	83,300
50	7206,667	7,207	11,900	85,759
60	6072,333	6,072	14,280	86,713
70	5328,333	5,328	16,660	88,770
80	4767,000	4,767	19,040	90,764
90	4343,000	4,343	21,420	93,027
100	3993,333	3,993	23,800	95,041

Anexo E-2. Evaluación reológica a 30 °C/ 6 días.

Velocidad (RPM)	Viscosidad promedio (cP)	Pa-s	γ	τ (Pa)
10	27733,333	27,733	2,38	66,005
20	15650,000	15,650	4,76	74,494
30	11055,667	11,056	7,14	78,937
40	8628,333	8,628	9,52	82,142
50	6886,667	6,887	11,90	81,951
60	5878,000	5,878	14,28	83,938
70	5157,000	5,157	16,66	85,916
80	4573,000	4,573	19,04	87,070
90	4241,000	4,241	21,42	90,842
100	3910,000	3,910	23,80	93,058

Anexo E-3. Evaluación reológica a 30 °C/ 12 días.

Velocidad (RPM)	Viscosidad promedio (cP)	Pa-s	γ	τ (Pa)
10	25883,333	25,883	2,38	61,602
20	15116,667	15,117	4,76	71,955
30	11581,000	11,581	7,14	82,688
40	8966,667	8,967	9,52	85,363
50	7286,667	7,287	11,90	86,711
60	6211,000	6,211	14,28	88,693
70	5453,333	5,453	16,66	90,853
80	5000,333	5,000	19,04	95,206
90	4501,667	4,502	21,42	96,426
100	4060,000	4,060	23,80	96,628

Anexo E-4. Evaluación reológica a 30 °C/ 18 días.

Velocidad (RPM)	Viscosidad promedio (cP)	Pa-s	γ	τ (Pa)
10	25466,667	25,467	2,38	60,611
20	15133,333	15,133	4,76	72,035
30	10755,667	10,756	7,14	76,795
40	8583,333	8,583	9,52	81,713
50	7133,333	7,133	11,90	84,887
60	6261,333	6,261	14,28	89,412
70	5414,000	5,414	16,66	90,197
80	4846,000	4,846	19,04	92,268
90	4422,333	4,422	21,42	94,726
100	4100,000	4,100	23,80	97,580

Anexo E-5. Evaluación reológica a 30 °C/ 24 días.

Velocidad (RPM)	Viscosidad promedio (cP)	Pa-s	γ	τ (Pa)
10	22983,333	22,983	2,38	54,700
20	14733,333	14,733	4,76	70,131
30	10989,000	10,989	7,14	78,461
40	8625,000	8,625	9,52	82,110
50	7120,000	7,120	11,90	84,728
60	6362,333	6,362	14,28	90,854
70	5286,000	5,286	16,66	88,065
80	4796,667	4,797	19,04	91,329
90	4392,667	4,393	21,42	94,091
100	3993,333	3,993	23,80	95,041

Anexo E-6. Evaluación reológica a 30 °C/ 30 días.

Velocidad (RPM)	Viscosidad promedio (cP)	Pa-s	γ	τ (Pa)
10	21866,667	21,867	2,38	52,043
20	13501,000	13,501	4,76	64,265
30	10060,000	10,060	7,14	71,828
40	8016,667	8,017	9,52	76,319
50	6713,333	6,713	11,90	79,889
60	5772,333	5,772	14,28	82,429
70	5019,000	5,019	16,66	83,617
80	4546,000	4,546	19,04	86,556
90	4114,333	4,114	21,42	88,129
100	3721,667	3,722	23,80	88,576

Anexo E-7. Evaluación reológica a 40 °C/ 6 días.

Velocidad (RPM)	Viscosidad promedio (cP)	Pa-s	γ	τ (Pa)
10	24300,000	24,300	2,38	57,834
20	13683,333	13,683	4,76	65,133
30	9911,000	9,911	7,14	70,765
40	7775,000	7,775	9,52	74,018
50	6253,333	6,253	11,90	74,415
60	5222,000	5,222	14,28	74,570
70	4590,667	4,591	16,66	76,481
80	4145,667	4,146	19,04	78,933
90	3803,667	3,804	21,42	81,475
100	3420,000	3,420	23,80	81,396

Anexo E-8. Evaluación reológica a 40 °C/ 12 días.

Velocidad (RPM)	Viscosidad promedio (cP)	Pa-s	γ	τ (Pa)
10	23333,333	23,333	2,38	55,533
20	14233,333	14,233	4,76	67,751
30	10151,000	10,151	7,14	72,478
40	8275,000	8,275	9,52	78,778
50	6920,000	6,920	11,90	82,348
60	5878,000	5,878	14,28	83,938
70	4876,000	4,876	16,66	81,234
80	4450,333	4,450	19,04	84,734
90	4018,333	4,018	21,42	86,073
100	3746,667	3,747	23,80	89,171

Anexo E-9. Evaluación reológica a 40 °C/ 18 días.

Velocidad (RPM)	Viscosidad promedio (cP)	Pa-s	γ	τ (Pa)
10	22200,000	22,200	2,38	52,836
20	13700,000	13,700	4,76	65,212
30	10055,667	10,056	7,14	71,797
40	8250,000	8,250	9,52	78,540
50	6653,333	6,653	11,90	79,175
60	5733,667	5,734	14,28	81,877
70	5000,000	5,000	16,66	83,300
80	4483,333	4,483	19,04	85,363
90	4055,667	4,056	21,42	86,872
100	3753,333	3,753	23,80	89,329

Anexo E-10. Evaluación reológica a 40 °C/ 24 días.

Velocidad (RPM)	Viscosidad promedio (cP)	Pa-s	γ	τ (Pa)
10	19966,667	19,967	2,38	47,521
20	12216,667	12,217	4,76	58,151
30	9366,333	9,366	7,14	66,876
40	7193,333	7,193	9,52	68,481
50	5760,000	5,760	11,90	68,544
60	4988,667	4,989	14,28	71,238
70	4482,000	4,482	16,66	74,670
80	4063,333	4,063	19,04	77,366
90	3742,667	3,743	21,42	80,168
100	3460,000	3,460	23,80	82,348

Anexo E-11. Evaluación reológica a 40 °C/ 30 días.

Velocidad (RPM)	Viscosidad promedio (cP)	Pa-s	γ	τ (Pa)
10	17416,667	17,417	2,38	41,452
20	11243,333	11,243	4,76	53,518
30	8298,333	8,298	7,14	59,250
40	6503,667	6,504	9,52	61,915
50	5431,333	5,431	11,90	64,633
60	4700,000	4,700	14,28	67,116
70	4083,333	4,083	16,66	68,028
80	3773,333	3,773	19,04	71,844
90	3312,000	3,312	21,42	70,943
100	3079,333	3,079	23,80	73,288

Anexo E-12. Evaluación reológica a 50 °C/ 6 días.

Velocidad (RPM)	Viscosidad promedio (cP)	Pa-s	γ	τ (Pa)
10	11553,333	11,553	2,54	29,345
20	6616,667	6,617	5,08	33,613
30	4606,667	4,607	7,62	35,103
40	3533,333	3,533	10,16	35,899
50	2866,667	2,867	12,70	36,407
60	2477,667	2,478	15,24	37,760
70	2152,333	2,152	17,78	38,268
80	1943,333	1,943	20,32	39,489
90	1753,667	1,754	22,86	40,089
100	1588,000	1,588	25,40	40,335

Anexo E-13. Evaluación reológica a 50 °C/ 12 días.

Velocidad (RPM)	Viscosidad promedio (cP)	Pa-s	γ	τ (Pa)
10	9473,333	9,473	2,54	24,062
20	5173,333	5,173	5,08	26,281
30	4064,333	4,064	7,62	30,970
40	3186,667	3,187	10,16	32,377
50	2668,000	2,668	12,70	33,884
60	2344,333	2,344	15,24	35,728
70	1982,000	1,982	17,78	35,240
80	1788,333	1,788	20,32	36,339
90	1651,000	1,651	22,86	37,742
100	1529,333	1,529	25,40	38,845

Anexo E-14. Evaluación reológica a 50 °C/ 18 días.

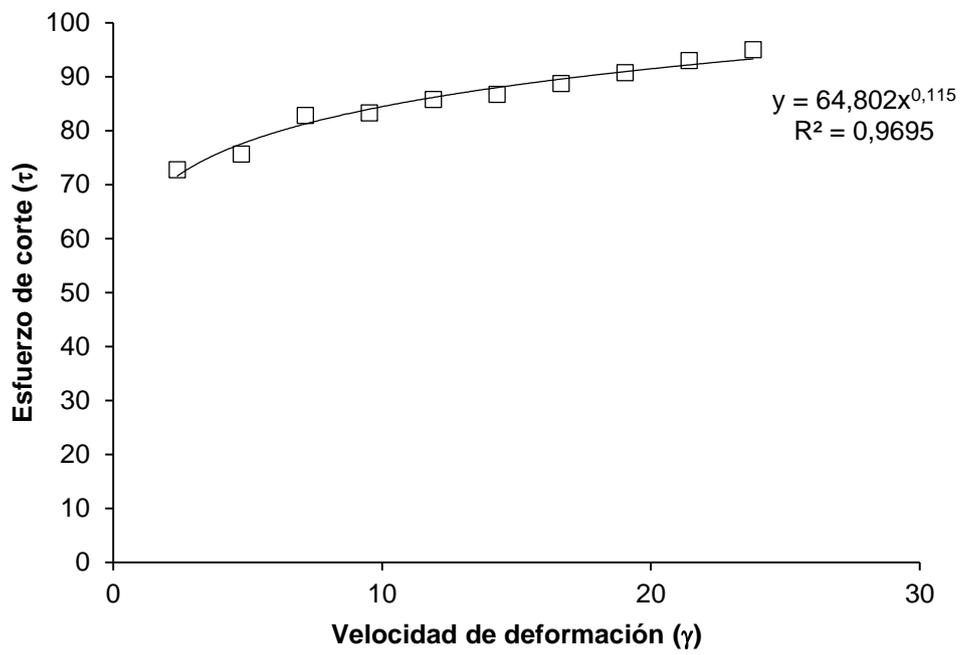
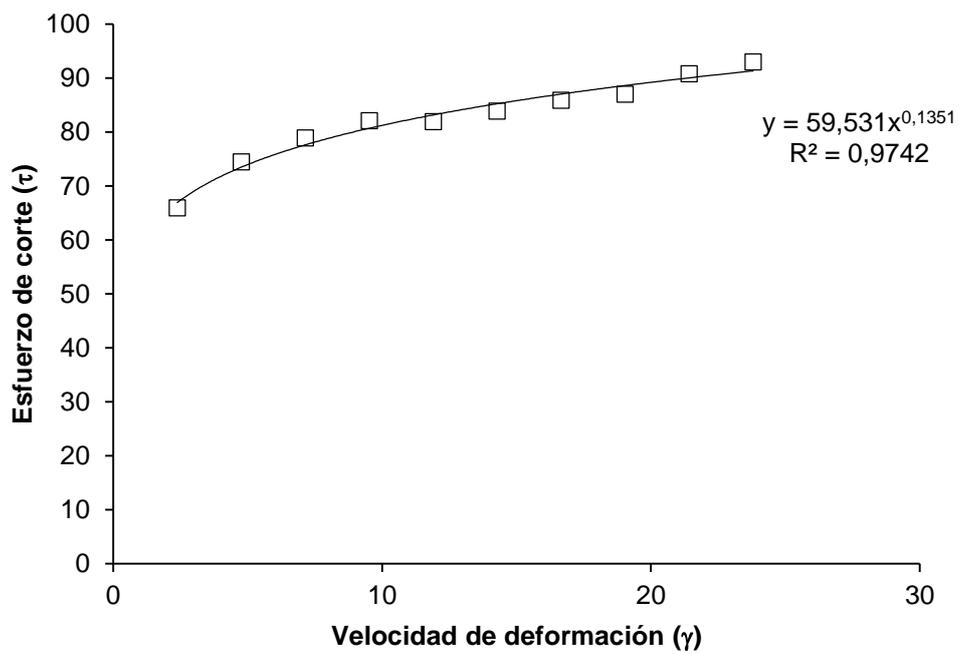
Velocidad (RPM)	Viscosidad promedio (cP)	Pa-s	γ	τ (Pa)
10	8120,000	8,120	2,62	21,274
20	4693,333	4,693	5,24	24,593
30	3389,000	3,389	7,86	26,638
40	2680,000	2,680	10,48	28,086
50	2204,000	2,204	13,10	28,872
60	1917,667	1,918	15,72	30,146
70	1729,667	1,730	18,34	31,722
80	1550,000	1,550	20,96	32,488
90	1417,333	1,417	23,58	33,421
100	1293,333	1,293	26,20	33,885

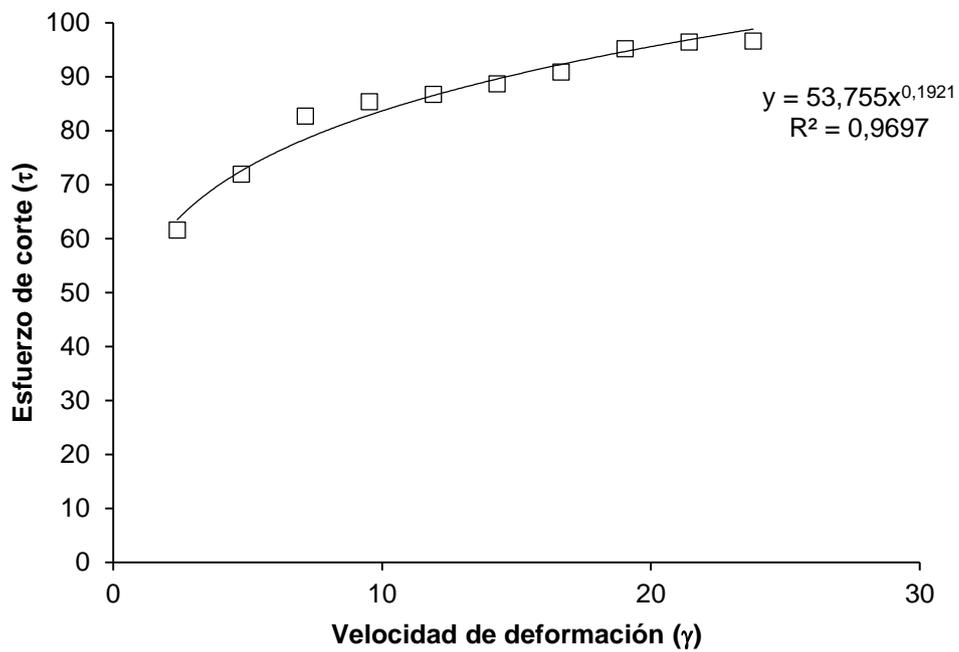
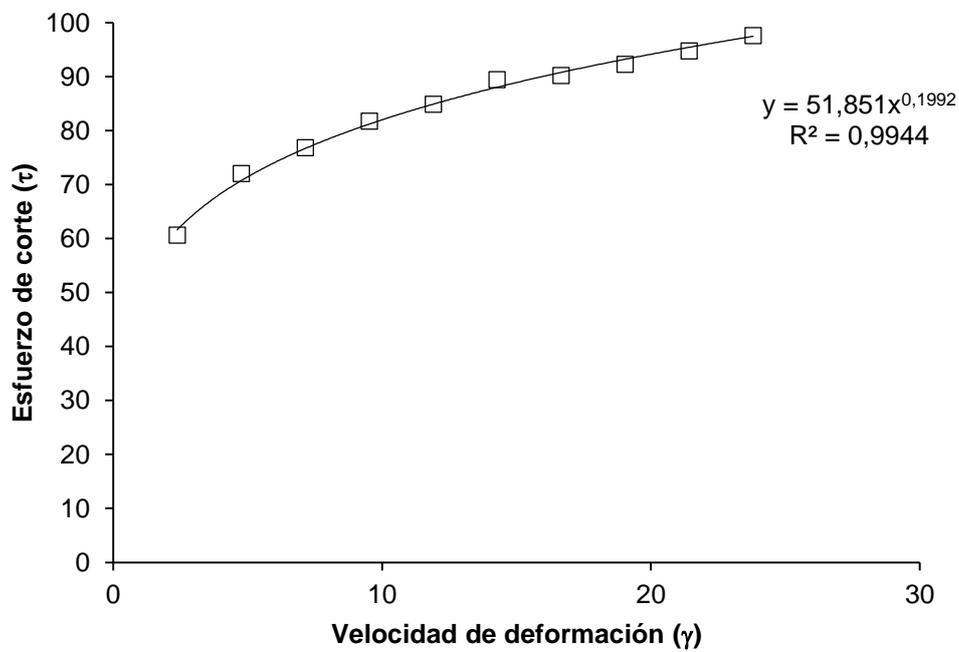
Anexo E-15. Evaluación reológica a 50 °C/ 24 días.

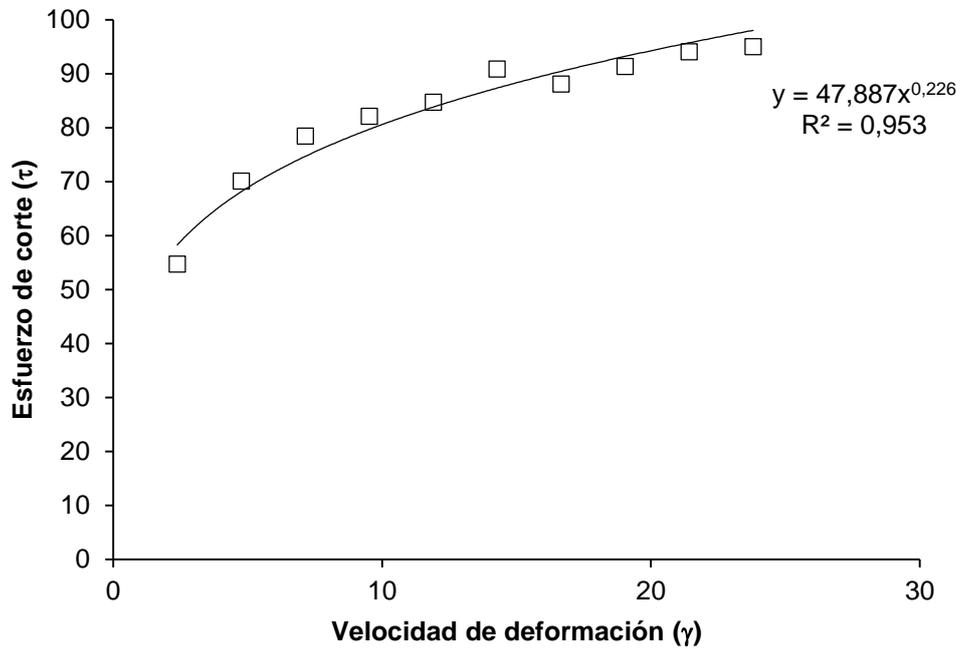
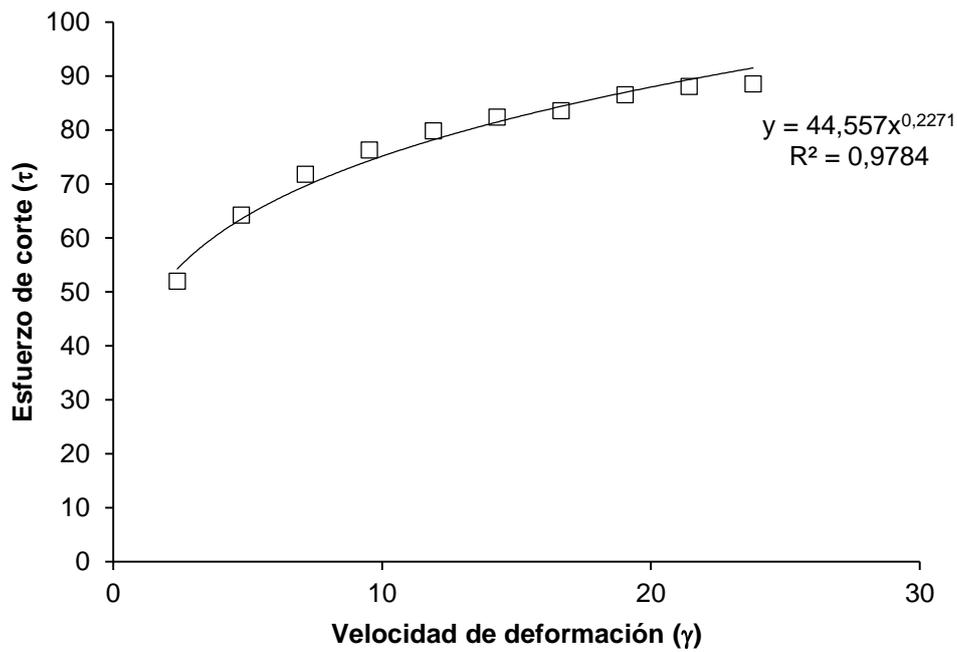
Velocidad (RPM)	Viscosidad promedio (cP)	Pa-s	γ	τ (Pa)
10	5360,000	5,360	2,62	14,043
20	3493,333	3,493	5,24	18,305
30	2592,667	2,593	7,86	20,378
40	1992,333	1,992	10,48	20,880
50	1680,000	1,680	13,10	22,008
60	1473,667	1,474	15,72	23,166
70	1276,000	1,276	18,34	23,402
80	1146,000	1,146	20,96	24,020
90	1039,000	1,039	23,58	24,500
100	966,333	0,966	26,20	25,318

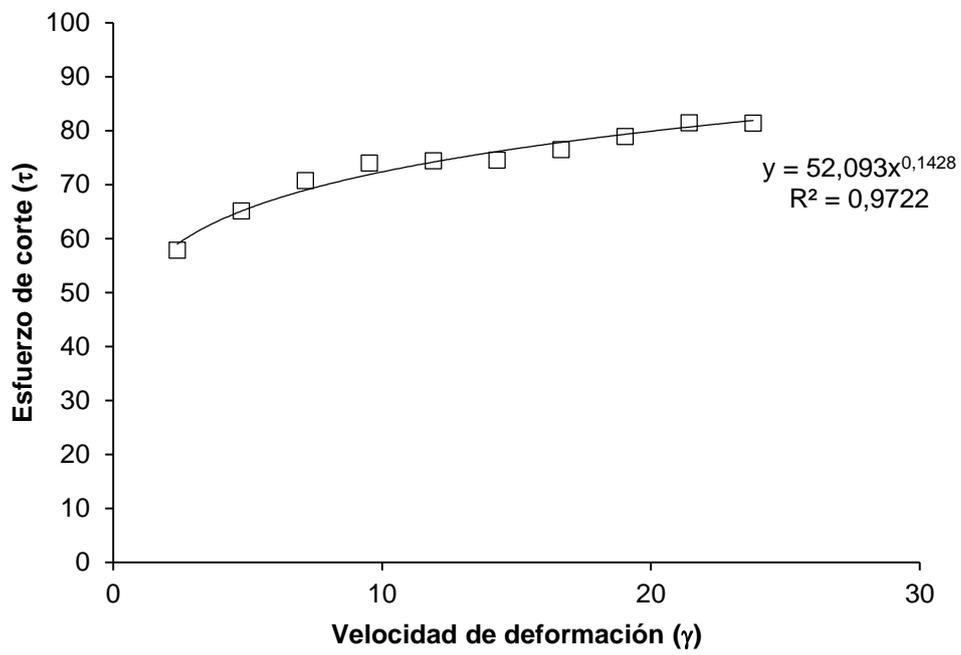
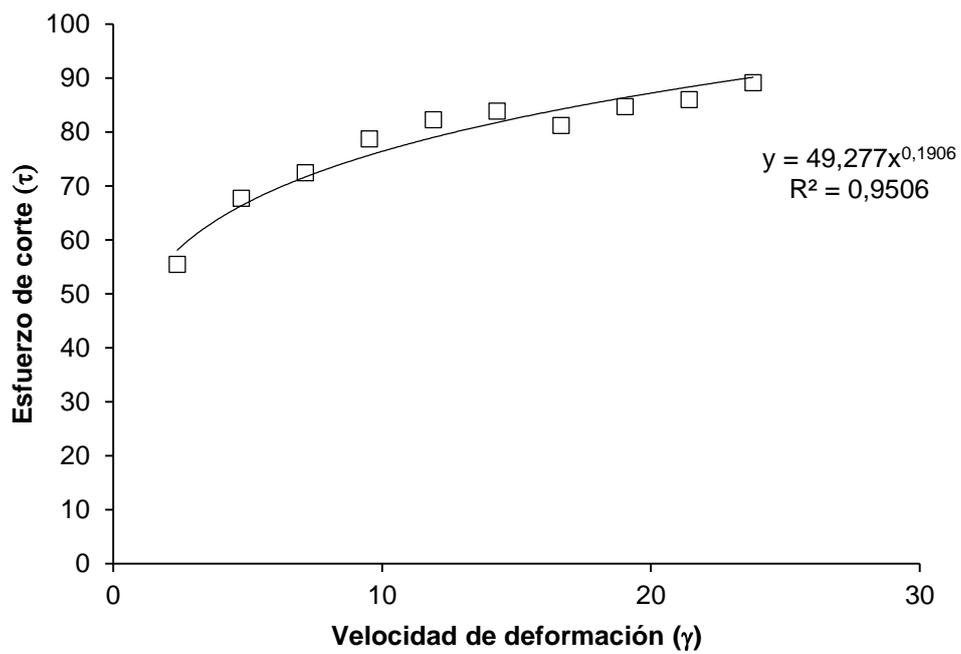
Anexo E-16. Evaluación reológica a 50 °C/ 30 días.

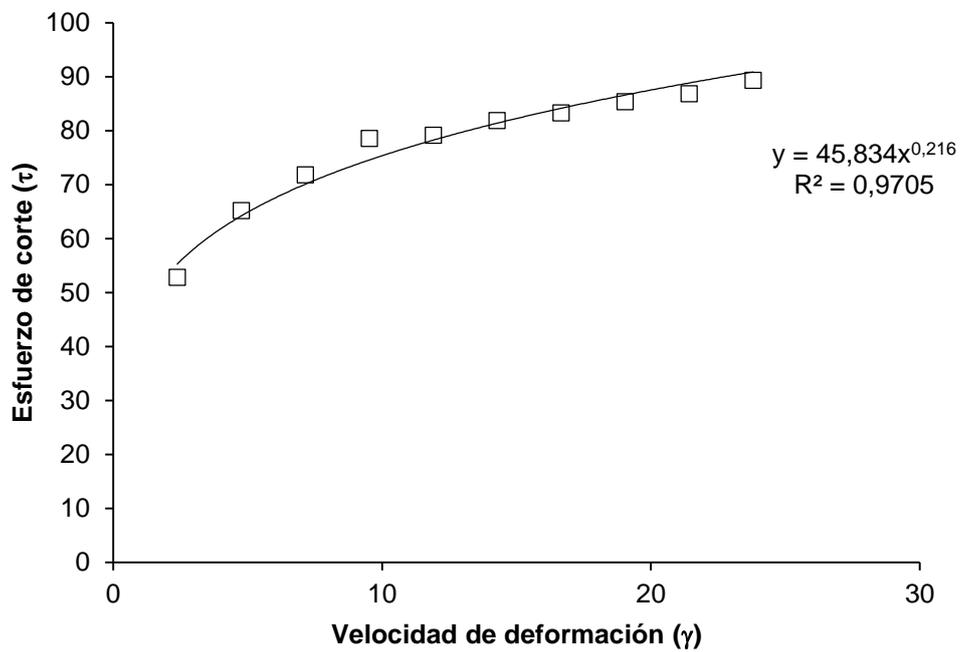
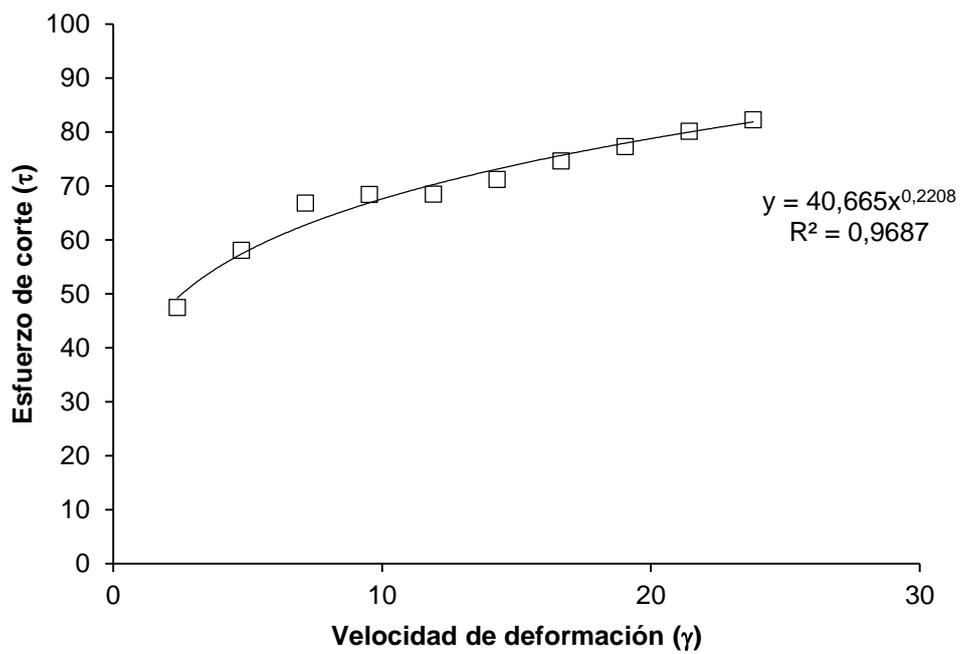
Velocidad (RPM)	Viscosidad promedio (cP)	Pa-s	γ	τ (Pa)
10	3096,667	3,097	2,62	8,113
20	1825,000	1,825	5,24	9,563
30	1316,000	1,316	7,86	10,344
40	1062,667	1,063	10,48	11,137
50	882,333	0,882	13,10	11,559
60	746,000	0,746	15,72	11,727
70	644,333	0,644	18,34	11,817
80	570,000	0,570	20,96	11,947
90	511,667	0,512	23,58	12,065
100	477,000	0,477	26,20	12,497

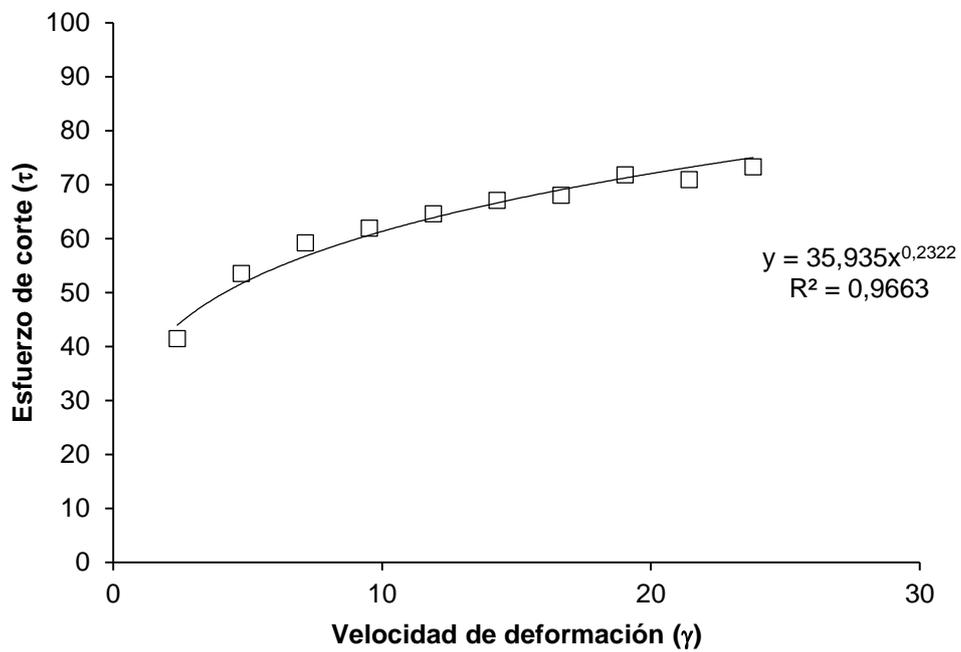
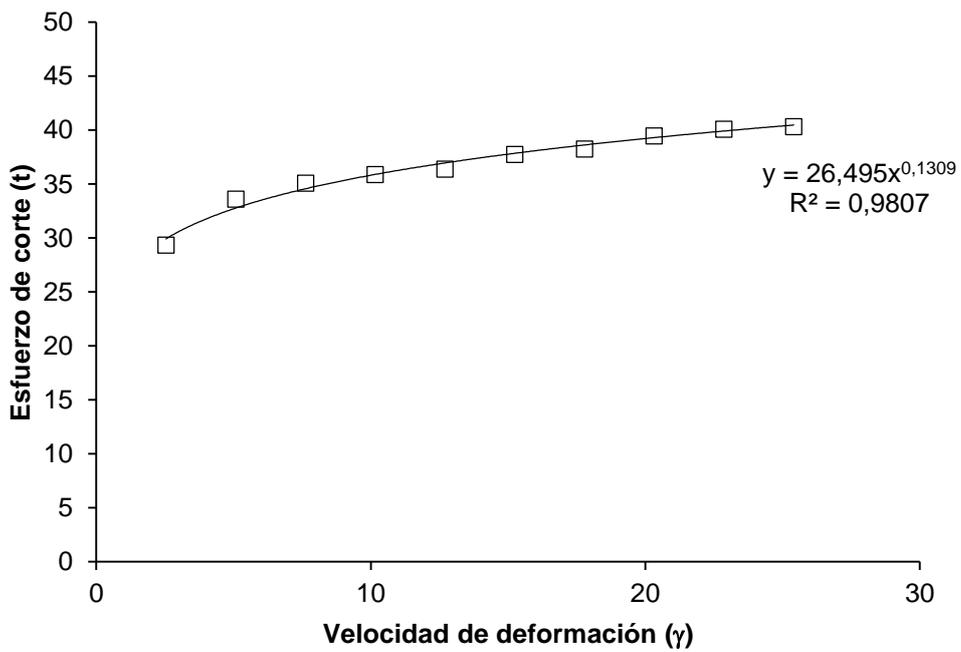
Anexo F-1. Reograma de la evaluación reológica a 0 días.**Anexo F-2.** Reograma de la evaluación reológica a 30 °C/ 6 días.

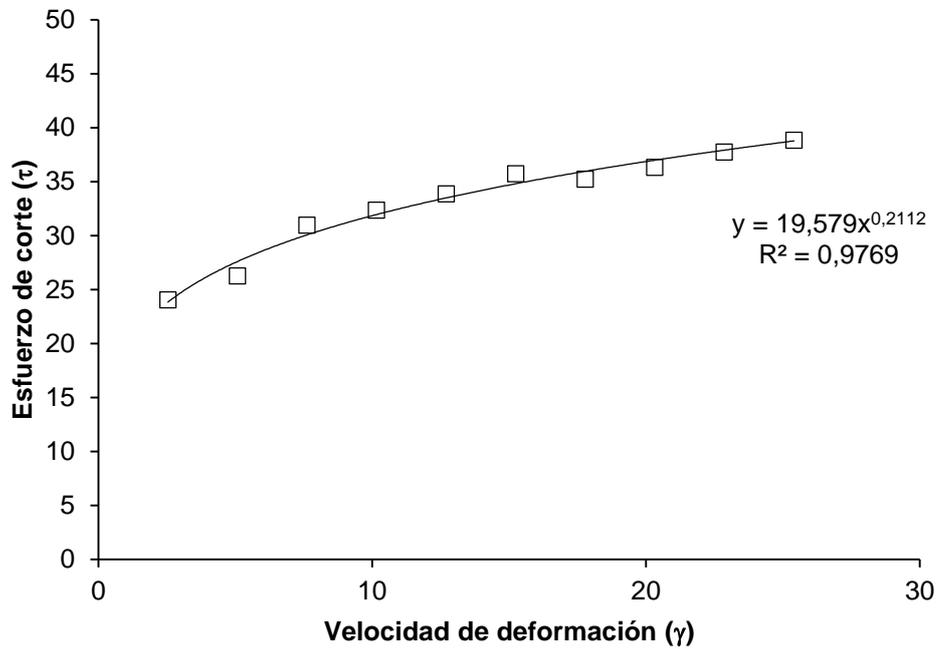
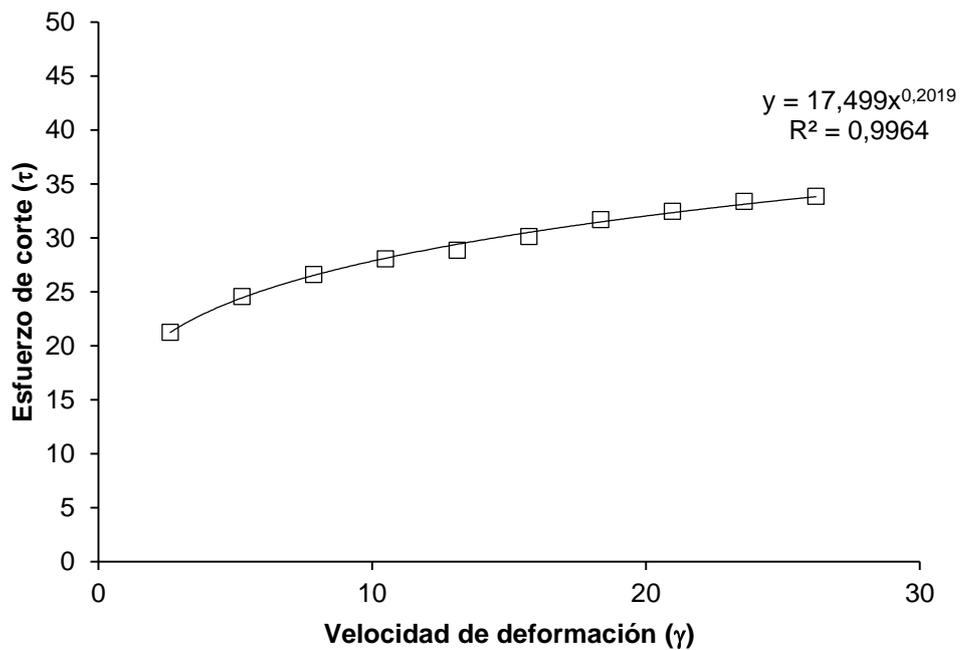
Anexo F-3. Reograma de la evaluación reológica a 30 °C/ 12 días.**Anexo F-4.** Reograma de la evaluación reológica a 30 °C/ 18 días.

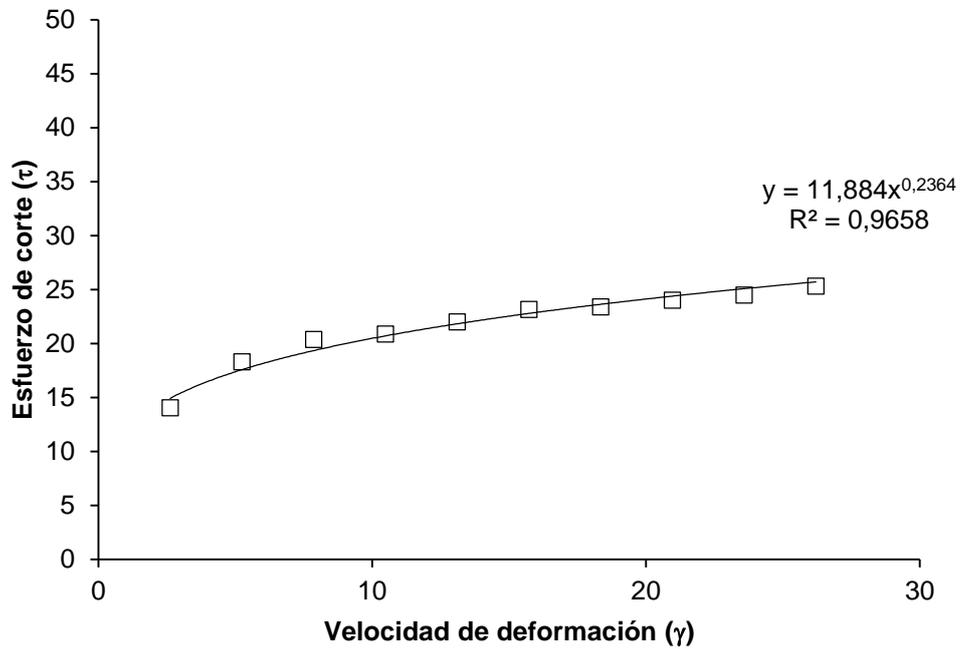
Anexo F-5. Reograma de la evaluación reológica a 30 °C/ 24 días.**Anexo F-6.** Reograma de la evaluación reológica a 30 °C/ 30 días.

Anexo F-7. Reograma de la evaluación reológica a 40 °C/ 6 días.**Anexo F-8.** Reograma de la evaluación reológica a 40 °C/ 12 días.

Anexo F-9. Reograma de la evaluación reológica a 40 °C/ 18 días.**Anexo F-10.** Reograma de la evaluación reológica a 40 °C/ 24 días.

Anexo F-11. Reograma de la evaluación reológica a 40 °C/ 30 días.**Anexo F-12.** Reograma de la evaluación reológica a 50 °C/ 6 días.

Anexo F-13. Reograma de la evaluación reológica a 50 °C/ 12 días.**Anexo F-14.** Reograma de la evaluación reológica a 50 °C/ 18 días.

Anexo F-15. Reograma de la evaluación reológica a 50 °C/ 24 días.**Anexo F-16.** Reograma de la evaluación reológica a 50 °C/ 30 días.