





ARTÍCULO ORIGINAL

Elaboración y evaluación de las propiedades reológicas, sensorial y estabilidad en el almacenamiento de mermelada de camu-camu

Preparation and evaluation of rheological properties, sensory and storage stability of camu-camu jam

Ronel Joel Bazán-Colque ^{1,2a*}, Fiorella Ivette Ruiz-Barreto ^{1,2b}, Caleb Leandro Laguna ^{3c}, Jaime Eduardo Basilio Atencio ^{1d}

¹ Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Huánuco, Perú

² Programa de Pós-graduação em Ciência y Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil

³ Facultad de Ciencias e Ingeniería. Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía, Yarinacocha, Ucayali, Perú

^a rjoelbazanc@ufrj.br, ^b fiorellaruiz@ufrj.br, ^c cleandrol@unia.edu.pe, ^d jaime.basilio@unas.edu.pe

* Autor de correspondencia

| Recibido: 18/10/22 |

| Arbitrado por pares |

| Aceptado: 26/01/23 |

Resumen

El camu-camu es una de las especies más importantes de la Amazonía peruana y su consumo *in natura* es una restricción, debido a su alta acidez. Sin embargo, su uso es posible en productos alimenticios como la mermelada. Así, el objetivo de este estudio fue elaborar seis (6) formulaciones de mermeladas de camu-camu por medio de un diseño factorial 2×3 para evaluar sus parámetros reológicas y aceptación sensorial. Además, se evaluó la estabilidad de la consistencia en el almacenamiento mediante pruebas aceleradas de la mejor formulación. Las formulaciones fueron: T1 (50:50:0,5),

T2 (50:50:1), T3 (50:50:1,5), T4 (60:40:0,5), T5 (60:40:1) y T6 (60:40:1,5), que contenían pulpa:azúcar:pectina (%:%:%), respectivamente. Las mediciones reológicas se realizaron en un viscosímetro de Brookfield, que ayudaron a calcular el índice de consistencia (K : 12,60 a 51,48 Pa·sⁿ) y el índice de flujo (n : 0,22 a 0,73) mediante el modelo reológico de Ley de la potencia ($R^2 > 0,9$), revelando fluidos con comportamiento pseudoplástico. La evaluación sensorial se realizó mediante la prueba de aceptación con 15 panelistas y una escala hedónica de 9 puntos. La formulación T2 mostró los mejores resultados entre los parámetros reológicos (mayor K) y aceptación sensorial. La estabilidad de K en el almacenamiento presentó un orden de reacción de cero, una velocidad de reacción lineal y una energía de activación de 2,5495 kcal.mol⁻¹. Los resultados obtenidos aportan información relevante para el dimensionamiento de máquinas y equipos, control de calidad y desarrollo de nuevos productos alimenticios en la región amazónica.

Palabras claves: *Myrciaria dubia*; Comportamiento reológico; Textura; Índice de consistencia; Energía de activación

Abstract

Camu-camu is one of the most important species in the Peruvian Amazon, and its consumption *in natura* is restricted, due to its high acidity. However, its use is possible in food products such as jams. Thus, the objective of this study was to elaborate six (6) formulations of camu-camu jams utilizing a 2×3 factorial design to evaluate their rheological parameters and sensory acceptance. Besides, consistency stability on storage was evaluated by accelerated testing of the best formulation. The formulations were T1 (50:50:0.5); T2 (50:50:1); T3 (50:50:1.5); T4 (60:40:0.5); T5 (60:40:1), and T6 (60:40:1.5), which contained pulp:sugar:pectin (%:%:%), respectively. Rheological measurements were determined in a Brookfield viscometer, that helped to calculate the consistency index (K : 12.60 to 51.48 Pa·sⁿ), and the flow index (n : 0.22 to 0.73) using the Power Law rheological model ($R^2 > 0.9$), revealing fluids with pseudoplastic behavior. Sensory evaluation was carried out through the acceptance test with 15 panelists and a 9-point hedonic scale. The T2 formulation showed the best results between the rheological parameters (higher K) and sensory acceptance. K stability on storage presented a reaction order of zero, a linear reaction rate, and an activation energy of 2.55 kcal.mol⁻¹. The results obtained contribute relevant information for the sizing of machines and equipment, quality control, and new food product development in the Amazon region.

Keywords: *Myrciaria dubia*; Rheological behavior; Texture; Consistency index; Activation energy

Introducción

El camu-camu (*Myrciaria dubia* HBK McVaugh) es una de las especies frutales nativas más importantes de la Amazonia Peruana, que crece en forma de arbusto en suelos aluviales inundables, orillas de ríos y lagos en toda la cuenca del Amazonas (Cunha-Santos et al., 2019). Esta especie pertenece a la familia *Myrtaceae*, y sus frutos maduros tienen características globulares de color rojo intenso, con un tamaño aproximado de 1,0 a 4,0 cm de diámetro y 8,4 g de peso en promedio (Castro et al., 2018). Además, los frutos de camu-camu se caracterizan por ser altamente ácidos, esto se debe a su alto contenido de ácido ascórbico (2010 ± 65 mg/100 g) y ha creado una mayor demanda en el mercado de productos naturales (Chirinos et al., 2010). La comercialización del camu-camu fresco está limitada por su corta vida útil (Zillo et al., 2019) y su consumo *in natura* es una restricción, debido a su alta acidez. Sin embargo, su uso es posible en diversos productos alimenticios, como las mermeladas (Castro et al., 2018; dos Santos et al., 2018; Fracassetti et al., 2013).

La mermelada es un producto alimenticio de consistencia pastosa y altamente calórica, con una concentración de sólidos solubles de 65 a 68 °Brix. De acuerdo a la norma técnica peruana (NTP 203.047), la pulpa de frutas y el azúcar son los ingredientes comunes para la elaboración de mermeladas (INACAL, 2017) y pasan por un proceso de gelificación debido a la presencia de pectinas. Algunas frutas son más ricas en pectinas que otras (Tiwari et al., 2016). Sin embargo, el contenido de pectina en los frutos de camu-camu es limitado y su adición es necesaria para la elaboración de mermeladas. Se elaboraron diversas mermeladas a partir de pulpas de frutas, como mango, frambuesa, fresa, ciruela pasa, durazno y albaricoque (Álvarez et al., 2006; Basu & Shivhare, 2013).

La producción de mermeladas requiere diversos equipos, como bombas, dosificadoras, mezcladoras y tuberías. Por lo tanto, es necesario conocer los parámetros reológicos para su diseño (Shinwari & Rao, 2020). Además, las propiedades reológicas de las mermeladas han sido ampliamente estudiadas (Álvarez et al., 2006; Basu & Shivhare, 2013; Tiwari et al., 2016). Sin embargo, no existe suficiente literatura sobre las propiedades reológicas de la mermelada de camu-camu.

La evaluación sensorial en combinación con la textura y el flujo (reológico) representa la calidad de la mermelada con mayor precisión. Estas propiedades determinan la funcionalidad de los ingredientes en la producción, el control de calidad y la correlación de la textura de la mermelada con los atributos sensoriales (Basu &

Shivhare, 2013). Además, características como el color intenso, sabor a fruta característico, consistencia y textura intermedia describen una mermelada de buena calidad. Sin embargo, estas características de calidad pueden verse afectadas durante el almacenamiento (de Oliveira et al., 2014; Vukoja et al., 2019). La temperatura es uno de los factores más importantes que influyen en la estabilidad de las mermeladas. Por lo tanto, es necesaria su evaluación durante el almacenamiento.

A la luz de esta información, el presente trabajo tuvo como objetivo producir mermeladas a partir de pulpa de camu-camu para evaluar sus propiedades reológicas, aceptación sensorial y estabilidad de la consistencia durante el almacenamiento mediante pruebas aceleradas.

Materiales y métodos

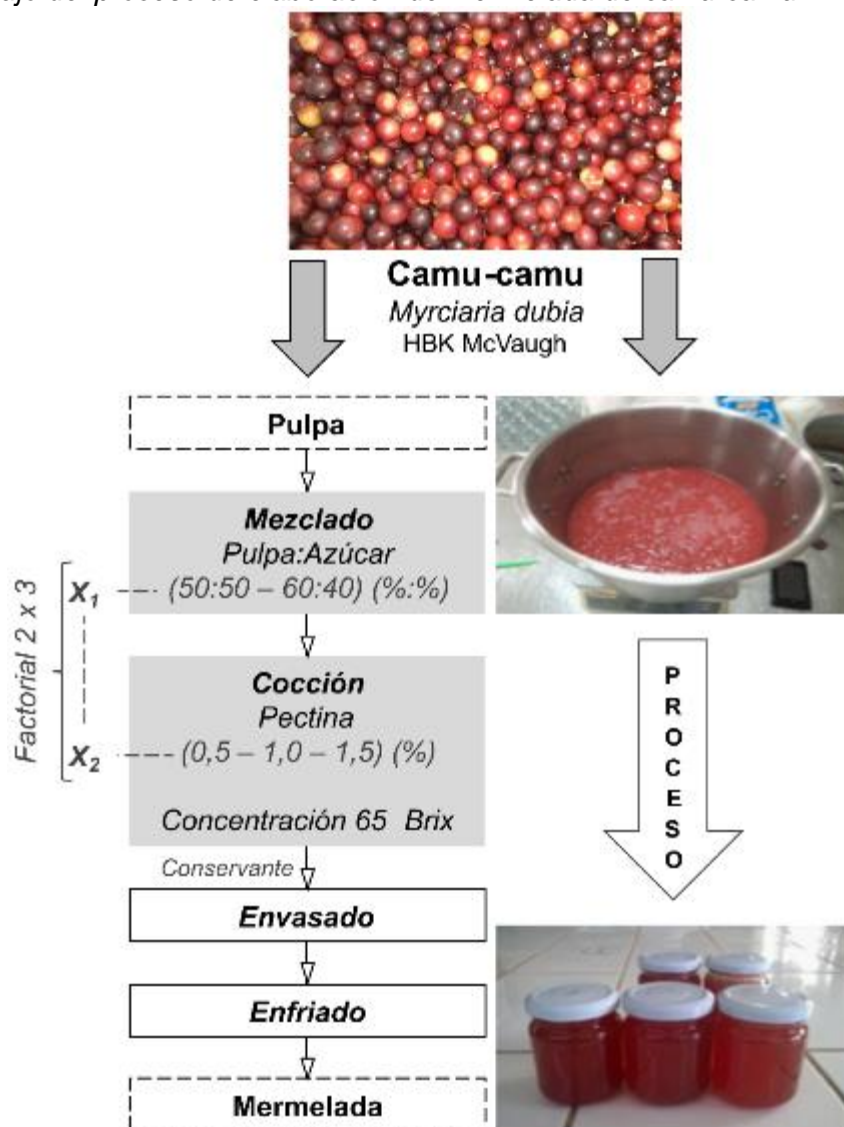
Los frutos de camu-camu (*Myrciaria dubia* HBK McVaugh) fueron adquiridos en los centros de abastecimiento de la ciudad de Puerto Callao (coordenadas del área urbana: 8°21'10,5" S 74°34'34,0" O, altitud 154 m), ubicado en el distrito de Yarinacocha (Ucayali, Perú) y fueron transportados a la Planta Piloto de Frutas y Hortalizas de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS, Huánuco, Perú). Los frutos fueron seleccionados de acuerdo al estado de madurez. Los frutos que presentaron lesiones mecánicas o podredumbre fueron descartados, luego lavados con agua corriente y sanitizados (50 ppm de hipoclorito de sodio) por 15 minutos. La pulpa se obtuvo utilizando una despulpadora Kamplex (EP-9, Hungría) de velocidad única acoplada a un tamiz de 1 mm de apertura. La pulpa de camu-camu (pH ~2.7 y 6°Brix) se mantuvo a 4°C hasta su procesamiento.

Los ingredientes utilizados para la elaboración de la mermelada fueron: azúcar blanca (Palo gordo SA, Guatemala), pectina cítrica grado 150 (Fratello SAC, Perú), citrato de sodio (ICR SA, México) y sorbato de potasio (Fratello SAC, Perú).

El pH de la pulpa se corrigió con citrato de sodio (hasta un pH = 3,3). Esta acción ayudó en la gelificación de la mermelada. Se elaboraron seis formulaciones de mermelada con diferentes cantidades de pulpa, azúcar y pectina de acuerdo al diagrama de flujo de elaboración que se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Diagrama de flujo del proceso de elaboración de mermelada de camu-camu.



Para cada formulación, se mezcló el 75% del azúcar total y la pulpa en una charola de acero inoxidable con agitación manual continua. La pectina se añadió junto con el azúcar restante (25% del total) al final de la cocción (~60 °Brix) junto con el conservante y se agitó continuamente durante la ebullición. Después de alcanzar los 65 °Brix, la mermelada se envasó en frascos de vidrio esterilizados (250 g) a una temperatura de ~94 °C. Luego fueron selladas herméticamente, enfriadas y almacenadas a temperatura ambiente.

Las propiedades reológicas fueron determinadas en triplicado con un reómetro de

Brookfield (RV DV-III Ultra, USA). El procedimiento consiste en el cálculo del esfuerzo cortante (τ) y la velocidad de deformación ($\dot{\gamma}$), por medio de las lecturas de viscosidades obtenidas a diferentes velocidades de rotación del reómetro. El torque de las lecturas de viscosidad debe encontrarse entre el 10 – 90%, para la confiabilidad de las respuestas. Los modelos reológicos de Ostwald de Weale (Ley de Potencia) y Herschel-Bulkley fueron calculados según las ecuaciones (1) y (2), respectivamente.

$$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n \quad (1)$$

$$\tau = \tau_0 + K \cdot \dot{\gamma}^n \quad (2)$$

Donde, τ es el esfuerzo cortante (Pa), $\dot{\gamma}$ es la tasa de deformación ($s^{-1} \times$ factor de rotación del *spindle*), K es el índice de consistencia ($Pa \cdot s^n$), n es el índice de flujo (adimensional) y τ_0 es el umbral de fluencia (Pa).

La evaluación sensorial se determinó mediante la prueba de aceptación, utilizando una escala hedónica estructurada de 9 puntos (1 = no me gusta mucho a 9 = me gusta mucho) (Basu & Shivhare, 2013). La puntuación más alta indicó un atributo de buena calidad con mayor aceptación. En la evaluación sensorial participaron 15 panelistas de ambos sexos (estudiantes de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la UNAS). Las muestras de mermelada se codificaron con números de tres dígitos aleatorios y se sirvieron en platos de plástico. Se proporcionaron galletas de soda para limpiar el paladar. Todas las muestras se presentaron a los panelistas a temperatura ambiente en condiciones normales de iluminación.

Para la selección del mejor producto se realizó una correlación de los parámetros reológicos y los atributos sensoriales: la muestra con las mejores puntuaciones fue seleccionada. La evaluación de la estabilidad del almacenamiento se realizó mediante pruebas aceleradas a la muestra seleccionada. El propósito fue determinar la estabilidad de la mermelada como parámetro de calidad a través del deterioro del índice de consistencia (K) a diferentes temperaturas. Las temperaturas utilizadas fueron 30, 40 y 50 °C. El valor de K se determinó mediante la ecuación (1) Ley de la Potencia y se realizó cada 6 días durante 30 días. El orden de reacción y la constante de velocidad de reacción obtenidos a partir de los resultados se relacionaron con diferentes temperaturas (Labuza, 2000). Los resultados del experimento permitieron predecir el comportamiento reológico a temperaturas de almacenamiento mediante pruebas aceleradas utilizando la ecuación de Arrhenius presentada en la ecuación (3).

$$k = A \cdot e^{Ea/RT} \quad (3)$$

Donde, k es la constante de velocidad, A es la constante de Arrhenius, E_a es la energía de activación, R coeficiente 1,987 cal/g mol-K y T es la temperatura absoluta (K).

Se utilizó un diseño con esquema factorial 2×3 , con tres repeticiones. Las variables de estudio fueron: proporción de pulpa/azúcar (X_1 , 50/50 y 60/40, %/%, respectivamente) y cantidad de pectina (X_2 , 0,5; 1 y 1,5%, respectivamente) (Figura 1). Para el análisis estadístico, las respuestas se informaron como valores promedios, medidos en triplicado ($n = 3$). Se realizó un análisis de varianza (ANVA) de un factor seguido de la prueba de Tukey ($p < 0,05$) para comparar las medias de los tratamientos. Para los resultados sensoriales se utilizó un análisis estadístico no paramétrico de Kruskal-Wallis junto con la comparación entre las medias de los tratamientos ($p < 0,05$). Todos los análisis se realizaron utilizando el software Statistica versión 13.0 (StatSoft, Tulsa, USA).

Resultados

Se determinaron los parámetros reológicos de las formulaciones de mermeladas mediante los modelos matemáticos de Ley de la Potencia y Herschel-Bulkley. Estos parámetros reológicos se resumen en la Tabla 1, mostrando excelentes coeficientes de determinación ($R^2 > 0,9$), que podrían usarse con fines predictivos, bajo las condiciones del experimento estudiado.

Tabla 1

Variables independientes aplicados al procesamiento de la mermelada de camu-camu y sus parámetros reológicos.

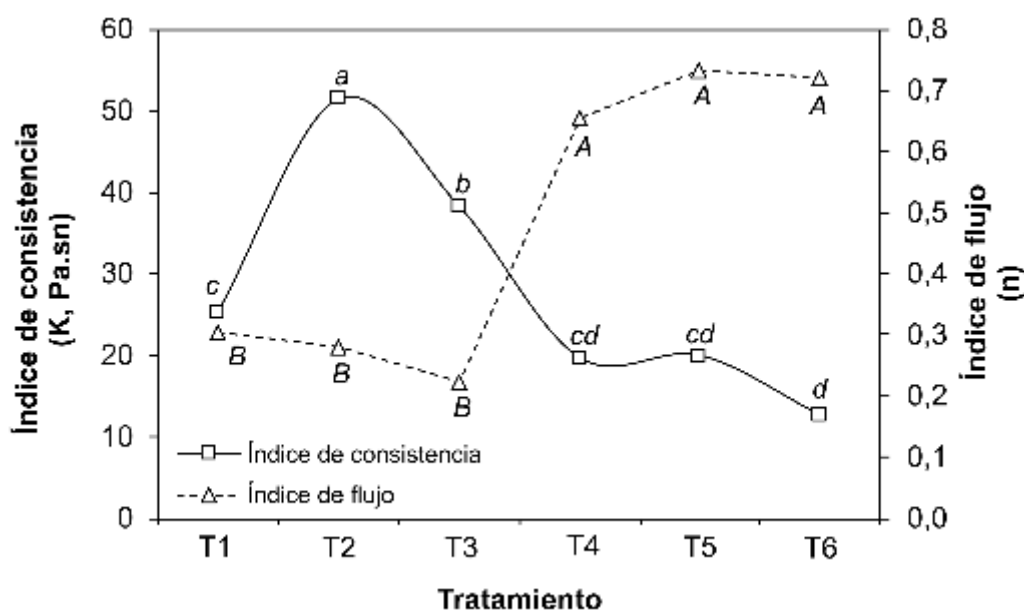
Tratamiento	Pulpa:Azúcar	Pectina	Modelos reológicos ^a							
			Ley de Potencia			Herschel-Bulkley				
			K	n	R^2	τ_0	K	n	R^2	
T1	50:50	0,5	25,34	0,30	0,991	6,50	20,24	0,34	0,989	
T2	50:50	1,0	51,48	0,28	0,994	3,06	48,76	0,29	0,993	
T3	50:50	1,5	38,33	0,22	0,992	6,72	31,65	0,25	0,993	
T4	60:40	0,5	19,67	0,65	0,999	2,17	19,55	0,65	0,999	
T5	60:40	1,0	19,94	0,73	0,999	0,00	14,26	0,73	0,999	
T6	60:40	1,5	12,60	0,72	0,999	0,00	12,25	0,73	0,999	

K : índice de consistencia ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$); n : índice de flujo (adimensional); τ_0 : umbral de fluencia (Pa); R^2 : coeficiente de determinación. ^a Realizado en tres repeticiones ($n = 3$).

A través del modelo de Ley de la Potencia, se pudo calcular el índice de consistencia (K) e índice de flujo (n) de las mermeladas de camu-camu. Los valores de K variaron de 12,60 a 51,48 Pa·sⁿ y los valores de n variaron de 0,22 a 0,73 (adimensional). Por otro lado, el modelo de Herschel-Bulkley nos permitió calcular los valores de K (12,25 a 48,76 Pa·sⁿ), n (0,25 a 0,73) y el umbral de fluencia (τ_0 : 2,17 a 6,72 Pa), que son mostrados en la Tabla 1. A partir de estos parámetros, la mermelada de camu-camu fue caracterizada como un fluido no newtoniano del tipo pseudoplástico ($0 < n < 1$) y el modelo de Ley de la Potencia fue seleccionado como el modelo reológico que mejor representa los datos del estudio, mostrando buenos ajustes de regresión (R^2), que variaron entre 0,991 a 0,999. Posteriormente, se desarrolló el análisis de variancia (ANVA) seguido de la prueba de Tukey, para demostrar diferencias significativas entre los tratamientos analizados, se realizó una prueba por cada parámetro reológico del modelo de Ley de la Potencia. Los resultados de la prueba de Tukey se muestran en la Figura 2. Para el parámetro de K hubo diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$), y la formulación T2 mostró el valor máximo de K (51,48 Pa·sⁿ), seguida de la T3 (38,33 Pa·sⁿ). Para el parámetro de n también hubo diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$), y mostró que las formulaciones T4, T5 y T6 (apariencia líquida) eran superiores a las formulaciones T1, T2 y T3 (apariencia de gel). De los análisis estadísticos realizados, se consideró que la mermelada T2 representa la mejor formulación en base a los parámetros reológicos obtenido del modelo de Ley de la Potencia (Figura 2).

Figura 2

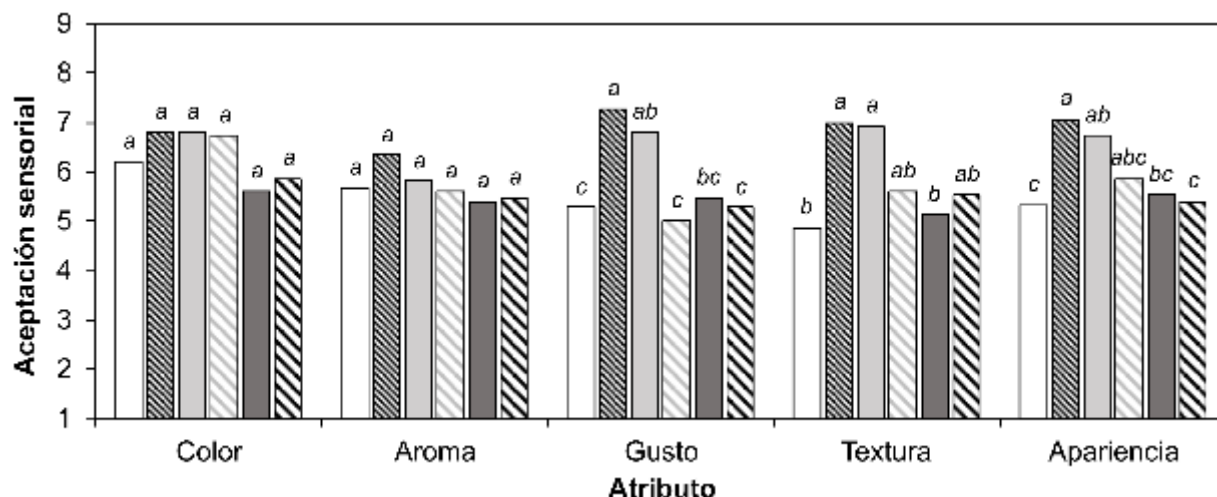
Parámetros reológicos de mermeladas de camu-camu. Descripción de los tratamientos: 50:50:0,5 (T1); 50:50:1 (T2); 50:50:1,5 (T3); 60:40:0,5 (T4); 60:40:1 (T5) y 60:40:1,5 (T6) de pulpa:azúcar:pectina, respectivamente, expresados en porcentajes (%). Las medias con letras mayúsculas y minúsculas diferentes representan diferencias significativas según la prueba de Tukey al 5% de significancia ($p < 0,05$)



Para la evaluación sensorial, todas las mermeladas obtuvieron puntajes superiores al promedio para cada atributo evaluado (Figura 3). Los atributos sensoriales evaluados fueron color, aroma, gusto, textura y apariencia. Posteriormente, fue desarrollada la prueba de Kruskal-Wallis para demostrar diferencias significativas entre los tratamientos. Esta prueba fue realizada porque los datos de la evaluación sensorial fueron no paramétricos en la prueba de normalidad, se realizó una prueba por cada atributo. El color y aroma, de acuerdo a la evaluación de los consumidores, fueron estadísticamente iguales en todos los tratamientos, sin diferencia significativa entre las mermeladas ($p > 0,05$). Por otro lado, los atributos de sabor, textura y apariencia mostraron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), siendo el puntaje más alto de 6,8 para el color; de 6,33 para el aroma, de 6,8 para el sabor; de 7,0 para la textura, y de 7,07 para la apariencia. De los valores obtenidos, se puede observar que las mermeladas de camu-camu con 50% de pulpa y 50% de azúcar blanca (T1, T2 y T3) tuvieron los mejores puntajes en la evaluación sensorial en comparación con las mermeladas de camu-camu con 60% de pulpa y 40% de azúcar (T4, T5 y T6). Por tanto, la mermelada de camu-camu T2 con 50% de pulpa, 50% de azúcar blanca y 1% de pectina, fue la formulación con mayor puntuación en la evaluación sensorial.

Figura 3

Diagrama de barras de la evaluación sensorial de las mermeladas de camu-camu. Descripción de tratamientos: T1: 50:50:0,5 (□); T2: 50:50:1 (▨); T3: 50:50:1,5 (▩); T4: 60:40:0,5 (▧); T5: 60:40:1 (■) y T6: 60:40:1,5 (▤), porcentaje de pulpa:azúcar:pectina, respectivamente. Los valores promedios seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes ($p < 0,05$)



La correlación positiva entre la textura y el valor de K en la mermelada de camu-camu (Correlación de Pearson) indica que están directamente relacionados ($+0.819$, $p < 0,05$). Por lo tanto, de la evaluación reológica y aceptación sensorial, la mermelada T2 con 50% de pulpa, 50% de azúcar blanca y 1% de pectina fue la muestra seleccionada para la evaluación de estabilidad en el almacenamiento por pruebas aceleradas.

Durante el almacenamiento, se observó una disminución en el índice de consistencia (K) a diferentes temperaturas de estudio (Tabla 2). Según los datos experimentales, las mermeladas de camu-camu almacenadas a 50 °C mostraron una pérdida considerable en el parámetro de consistencia (valores de K), representando un deterioro del 89,11% en comparación con las mermeladas de camu-camu almacenadas a 40 °C (44,54%) y 30 °C (31,18%). Por tanto, la estabilidad de K se vio afectada por el efecto de la temperatura durante el almacenamiento. A partir de la pérdida de consistencia, los valores de K ayudaron a calcular la constante de velocidad de reacción (k_R) mediante regresión lineal. Los valores de k_R se ajustaron a los modelos cinéticos de orden cero y de primer orden (Tabla 2). Sin embargo, los valores de k_R de orden cero presentaron un mayor ajuste del modelo ($R^2 = 0.999$) en relación a los valores de primer orden ($R^2 = 0.879$). Por tanto, los valores de k_R de orden cero representaron mejor la pérdida de consistencia de las mermeladas de camu-camu, que ayudó a calcular la energía de activación (E_a) mediante el modelo matemático de Arrhenius (ecuación 3), en el cual se correlacionó los valores de k_R y la inversa de la temperatura absoluta ($1/K$).

En la Tabla 2 se puede mostrar el valor de E_a que fue de 2,55 Kcal. mol⁻¹.

Tabla 2

Perdida del índice de consistencia (K) a diferentes temperaturas de almacenamiento durante 30 días

Temp. (K)	Índice de consistencia (K, Pa.s ⁿ)						Orden cero			Primer orden		
	00 días	06 días	12 días	18 días	24 días	30 días	k_R	E_a	R^2	k_R	E_a	R^2
303	64,82	59,53	53,76	52,20	47,88	44,61	0,597	2,55	0,99	0,012	14,16	0,88
313	64,82	52,21	49,27	45,84	40,77	35,95	0,681			0,016		
323	64,82	26,53	19,61	17,49	11,91	7,06	0,776			0,052		

Abreviaciones: Temp., temperatura; k_R , constante de velocidad de reacción; E_a , energía de activación (Kcal.mol⁻¹); R^2 , coeficiente de regresión.

Discusión

De acuerdo con los resultados presentados en este estudio, se evidencia que el porcentaje de adición de pulpa de camu-camu, azúcar blanca y pectina afectaron las propiedades reológicas de las mermeladas. Estas propiedades son importantes para la fabricación de mermeladas, porque nos permiten caracterizar el fluido bajo un estrés de deformación y ver su estabilidad física (Zheng, 2019). Además, los modelos matemáticos como Ley de la Potencia y Herschel-Bulkley describen mejor las propiedades reológicas con comportamientos pseudoplásticos en los fluidos no newtonianos, como productos elaborados a partir de frutas, como las mermeladas (Álvarez et al., 2006; Sorour et al., 2015). Los valores de consistencia (K) en las mermeladas con 50% de pulpa de camu-camu y 50% de azúcar blanca (tratamientos T1, T2 y T3) fueron superiores a las mermeladas con 60% de pulpa y 40% de azúcar (T4, T5 y T6). Sin embargo, los valores n fueron menores a la unidad ($n < 1$) en todas las formulaciones del estudio, describiendo al fluido con un comportamiento pseudoplástico no newtoniano. Esta característica puede explicarse por la tendencia de los atascos a formar microestructuras en reposo, que se rompen por esfuerzos cortantes durante la evaluación (Pérez-Herrera et al., 2020). Además, los componentes presentes en las mermeladas son los principales factores que inciden en el comportamiento pseudoplástico del alimento y han sido ampliamente estudiadas en mermeladas de diversas frutas, como gabioba, mango, melocotón, manzana, arándano y tomate (Barbieri et al., 2018; Basu & Shivhare, 2013). Además, la viscosidad de la mermelada está en función de sus fuerzas intermoleculares,

estas fuerzas dependen de los espacios, los cuales determinan el volumen libre, siendo afectado por los cambios de temperatura (Del Águila et al., 2022). Consecuentemente, los valores de la viscosidad y la consistencia (K , Pa·sⁿ) varían significativamente, esto ocurre ampliamente en operaciones de calentamiento y enfriamiento. Los parámetros reológicos obtenidos (K y n) en el experimento fueron similares a los valores reportados en mermeladas de frutas, como ciruelas pasas, fresa, frambuesa, melocotón, albaricoque, mango y pomelo (Álvarez et al., 2006; Basu & Shivhare, 2013; Igual et al., 2014), cascaras de ciruela (Estaji et al., 2020) y pulpas concentradas (Del Águila et al., 2022; Salehi, 2020). El tratamiento térmico contribuye a aumentar la solubilización de la pectina, aumentando así la consistencia de las mermeladas (Igual et al., 2014).

Barbieri et al. (2018), señalan que la medición de las propiedades de corte en un producto estructurado, como la mermelada, es importante para establecer un método de control de calidad, para los cálculos de procesamiento y desarrollo del producto. Además, la evaluación sensorial juega un papel importante en el desarrollo de nuevos productos alimenticios (Aschemann-Witzel et al., 2019), y las mermeladas de frutas más consistentes influyen en la aceptación del producto por parte de los evaluadores (Igual et al., 2014). Por tanto, es necesario correlacionar los atributos de textura instrumental (índice de consistencia, K) y textura sensorial, que permite estimar su grado de relación, en el que las correlaciones por debajo de 0,5 generalmente se consideran débiles y las correlaciones por encima de 0,8 generalmente se consideran fuertes (Montgomery & Runger, 2018). Nuestro estudio reportó una correlación fuerte (+0.819) significativa ($p < 0,05$) entre el valor de K y el atributo de la textura. Esta correlación indica lo siguiente, cuanto más consistente es la mermelada (valor alto de K), mayor será la puntuación de la textura en la evaluación sensorial.

Durante el almacenamiento, la determinación de la constante de velocidad (k_R) y el orden de reacción se calculó por el método de integración. La reología es una técnica útil para pruebas de vida útil acelerada (Labuza, 2000). Pueden utilizarse para caracterizar alimentos, aditivos alimentarios, ingredientes y materiales de envasado. Muchos de ellos son reómetros de tensión controlados, que permiten la medición de características viscoelásticas importantes y proporcionan datos sobre la percepción de la textura, los efectos del procesamiento térmico y la estabilidad de almacenamiento. Del experimento, la estabilidad del índice de consistencia (K) se ve afectada por la temperatura a lo largo del tiempo, lo que resulta en su deterioro. Este deterioro puede deberse al proceso de hidrólisis de las sustancias pécticas presentes en el producto, promoviendo una disminución de la viscosidad, así como al deterioro de sus nutrientes (Sogi & Singh, 2001; Vibhakara & Bawa, 2012), como también los parámetros de calidad alimentaria. De Oliveira et al. (2014), informaron en su trabajo de mermelada de “umbu-

cajá” que, luego de 30 días de almacenamiento, el pH se mantuvo por encima de 3,2, lo que podría afectar la textura del producto, así como la degradación de la pectina. Dias et al. (2011), informaron sobre una disminución en las características de textura de las mermeladas de cáscara de plátano variedad “Prata” durante el almacenamiento, las diferentes temperaturas interfirieron significativamente con la estabilidad del producto. El valor de E_a obtenido en el experimento, fue similar a los concentrados de frutas reportados por Del Águila et al. (2022) y Salehi (2020). Estos valores de E_a significan que las viscosidades de los fluidos son relativamente sensibles al cambio de la temperatura.

Conclusiones

La mermelada de camu-camu fue elaborada con éxito con importantes parámetros estudiados. El porcentaje de adición de pulpa de camu-camu (50 – 60%), azúcar blanca (40 – 50%) y pectina (0,5 – 1,5%) afectaron las propiedades reológicas y aceptación sensorial de las mermeladas. Las mediciones reológicas han demostrado que las mermeladas tienen un comportamiento pseudoplástico no newtoniano ($n < 1$) y se adecuaron a los modelos matemáticos de Ley de la Potencia y Herschel-Bulkley ($R^2 > 0,9$). El modelo de Ley de la Potencia fue el mejor entre los evaluados para describir el comportamiento de las muestras. Los valores de K variaron de 12,60 a 51,48 Pa·sⁿ y los valores de n variaron de 0,22 a 0,73. Estos resultados pueden ser utilizados para futuros estudios, control de calidad y dimensionamiento de máquinas y equipos. Los resultados de la evaluación sensorial mostraron una amplia aceptación del producto. Mermeladas con mayor consistencia (altos valores de K) influyen positivamente en la aceptación del alimento por parte de los evaluadores. La mermelada T2 (50% de pulpa, 50% de azúcar y 1% de pectina) mostró los mejores resultados reológicos y sensoriales. Durante el almacenamiento, el incremento de la temperatura interfiere significativamente con la estabilidad de la consistencia de la mermelada seleccionada (muestra T2). La cinética de degradación fue del tipo lineal de orden cero. La ecuación de Arrhenius mostró un buen ajuste ($R^2 = 0,99$) para demostrar el efecto de la temperatura sobre el valor de K de la mermelada y permitió calcular la energía de activación (2,55 Kcal.mol⁻¹). Los resultados obtenidos contribuyen con importantes informaciones para el desarrollo de nuevos productos alimenticios en la región amazónica.

Agradecimientos e información de financiamiento

Los autores desean agradecer al señor Pedro Condori Miguel, personal técnico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien brindó el apoyo y las facilidades necesarias para llevar a cabo este trabajo de investigación.

Contribución de autoría

Ronel Joel Bazán Colque: análisis formal, investigación, metodología, redacción - borrador original.

Fiorella Ivette Ruiz Barreto: investigación, metodología, redacción - borrador original.

Caleb Leandro Laguna: revisión formal, corrección y edición.

Jaime Eduardo Basilio Atencio: conceptualización, supervisión, redacción - corrección y edición.

Conflictos de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

Referencias bibliográficas

Álvarez, E., Cancela, M. A., & Maceiras, R. (2006). Effect of Temperature on Rheological Properties of Different Jams. *International Journal of Food Properties*, 9(1), 135–146. <https://doi.org/10.1080/10942910500473996>

Aschemann-Witzel, J., Ares, G., Thøgersen, J., & Monteleone, E. (2019). A sense of sustainability? – How sensory consumer science can contribute to sustainable development of the food sector. *Trends in Food Science and Technology*, 90, 180–186. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.021>

Barbieri, S. F., de Oliveira Petkowicz, 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 Gabiroba (*Campomanesia xanthocarpa* Berg): Characterization and Rheological Properties. *Food Chemistry*, 263, 292–299. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.004>

Basu, S., & Shivhare, U. S. (2013). Rheological, Textural, Microstructural, and Sensory Properties of Sorbitol-Substituted Mango Jam. *Food and Bioprocess Technology*, 6(6), 1401–1413. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0795-8>

Castro, J. C., Maddox, J. D., & Imán, S. A. (2018). Camu-camu— *Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh. In S. Rodrigues, E. de Oliveira Silva & E. Sousa de Brito (Eds.), *Exotic Fruits* (pp. 97–105). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803138-4.00014-9>

- Chirinos, R., Galarza, J., Betalleluz-Pallardel, I., Pedreschi, R., & 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), 1019–1024. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.11.041>
- Cunha-Santos, E. C. E., Viganó, J., Neves, D. A., Martínez, J., & Godoy, H. T. (2019). Vitamin C in camu-camu [*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh]: evaluation of extraction and analytical methods. *Food Research International*, 115, 160–166. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2018.08.031>
- de Oliveira, E. N. A., Santos, D. da C., Rocha, A. P. T., Gomes, J. P., & da Silva, W. P. (2014). Stability of conventional umbu-caja jams during storage under ambient conditions. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(3), 329–337. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000300013>
- Del Águila Cifuentes, D., Laguna, C. L., Bazán-Colque, R. J. & Basilio, J. E. A. (2022). Effect of concentration and temperature on the rheological behavior of camu-camu pulp. *Agroindustrial Science*, 12(3), 245–251. <https://doi.org/10.17268/AGROIND.SCI.2022.03.02>
- Dias, C. S., Borges, S. V., Queiroz, F., & Pereira, P. A. P. (2011). Influência da temperatura sobre as alterações físicas, físico-químicas e químicas de geleia da casca de banana (*Musa* spp.) Cv. Prata durante o armazenamento. *Revista Do Instituto Adolfo Lutz*, 70(1), 28–34. http://periodicos.ses.sp.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0073-98552011000100005&lng=e&nrm=iso&tlng=pt
- dos Santos, R. M. B., Chagas, P. C., Vieira Rocha, J. H. de M., Chagas, E. A., Panduro, M. H. P., Lozano, R. M. B., & Rodriguez, C. A. (2018). CAMU-CAMU production chain (*Myrciaria dubia* (Kunth) Mc Vaugh): The case of the producing regions of loreto and Ucayali, Peruvian Amazon. *Interciencia*, 43(4), 261–268.
- Estaji, M., Mohammadi-Moghaddam, T., Gholizade-Eshan, L., Firoozzare, A., & Hooshmand-Dalir, M. A. R. (2020). Physicochemical characteristics, sensory attributes, and antioxidant activity of marmalade prepared from black plum peel. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 1979–1992. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1835954>
- Fracassetti, D., Costa, C., Moulay, L., & Tomás-Barberán, F. A. (2013). Ellagic acid derivatives, ellagitannins, proanthocyanidins and other phenolics, vitamin C <https://doi.org/10.54353/ritp.v3i2.e012>

and antioxidant capacity of two powder products from camu-camu fruit (*Myrciaria dubia*). *Food Chemistry*, 139(1–4), 578–588. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.121>

Igual, M., Contreras, C., & Martínez-Navarrete, N. (2014). Colour and rheological properties of non-conventional grapefruit jams: Instrumental and sensory measurement. *LWT - Food Science and Technology*, 56(1), 200–206. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.10.038>

INACAL. (2017). *NTP 203.047:1991. Mermelada de frutas*.

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*, 6(2), 26–36.

Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2018). *Applied statistics and probability for engineers* (7th ed.). John Wiley & Sons, Inc. Arizona State University, USA.

Pérez-Herrera, A., Martínez-Gutiérrez, G. A., León-Martínez, F. M., & Sánchez-Medina, M. A. (2020). The effect of the presence of seeds on the nutraceutical, sensory and rheological properties of *Physalis* spp. Fruits jam: A comparative analysis. *Food Chemistry*, 302, 125141. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.125141>

Salehi, F. (2020). Physicochemical characteristics and rheological behaviour of some fruit juices and their concentrates. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(5), 2472–2488. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00495-0>

Shinwari, K. J., & Rao, P. S. (2020). Development of a reduced-calorie high pressure processed sapodilla (*Manilkara zapota* L.) jam based on rheological, textural, and sensory properties. *Journal of Food Science*, 85(9), 2699–2710. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15364>

Sogi, D. S., & Singh, S. (2001). Studies on bitterness development in kinnow juice, Ready-to-Serve beverage, squash, jam and candy. *Journal of Food Science and Technology (Mysore)*, 38(5), 433-438.

Sorour, M. A., Rabie, S. M. H., & Asrar, Y. I. M. (2015). Rheological Properties of Some Fruit Spreads. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 5(1), 14–22. <https://doi.org/10.11648/j.ijnfs.s.2016050101.13>

Tiwari, A. K., Vidyarthi, A. S., Nigam, V. K., & Hassan, M. A. (2016). Study of rheological

properties and storage life of ripe jackfruit products: Jam and Jelly. *Biotech. Env. Sc*, 18(2), 475–482.
<https://www.researchgate.net/publication/317212434>

Vibhakara, H. S., & Bawa, A. S. (2012). Manufacturing Jams and Jellies. In *Handbook of Fruits and Fruit Processing: Second Edition* (pp. 229–243). Wiley-Blackwell.
<https://doi.org/10.1002/9781118352533.ch14>

Vukoja, Pichler, & Kopjar. (2019). Stability of Anthocyanins, Phenolics and Color of Tart Cherry Jams. *Foods*, 8(7), 255. <https://doi.org/10.3390/foods8070255>

Zheng, H. (2019). Introduction: Measuring Rheological Properties of Foods. In H. Joyner (Ed.) *Rheology of Semisolid Foods. Food Engineering Series* (pp. 3–30). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27134-3_1

Zillo, R. R., Da Silva, P. P. M., Spoto, M. H. F., & Martin, J. G. P. (2019). Camu-camu harvested with reddish-green peel preserves its physicochemical characteristics and antioxidant compounds during cold storage. *Brazilian Journal of Food Technology*, 22. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.06017>